Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz

Compiladores:
Rigoberto Zetina Lezama, Oscar Hugo Tosquy Valle, Marcos Ventura Vázquez Hernández, Ana Lid Del Angel Pérez, Valentín Alberto Esqueda Esquivel y Claudia Perdomo Montes

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

ISSN: 2954-4351

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Víctor Manuel Villalobos Arámbula
Secretario

Víctor Suárez Carrera
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

Salvador Fernández Rivera
Coordinador General de Desarrollo Rural

Oscar Javier Fernández Morales
Representante de la SADER en Veracruz

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Luis Ángel Rodríguez Del Bosque
Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes a la Dirección General

Alfredo Zamarripa Colmenero
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Luis Ortega Reyes
Coordinador de Planeación y Desarrollo

José Humberto Corona Mercado
Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional Golfo Centro

Rubén Santos Echeverría
Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes a la Dirección del CIR Golfo Centro

Sergio Uribe Gomez
Director de Investigación

David Leopoldo Guido Aguilar
Director de Administración

“Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz”

Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz. Año 1, No. 1, noviembre 2022, es una publicación anual, editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, calle Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán, C. P. 04010, Ciudad de México, México, Tel. 55 3871-8700, www.inifap.gob.mx. Editor responsable: Dr. Rubén Santos Echeverría. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-031810483200-102, ISSN: 2954-4351 on line, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de este número Dr. Sergio Uribe Gómez, Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Km 22.5 Carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, mpio., de Medellín de Bravo, Ver. CP. 94277, Teléfonos: 5538713700, ext. 87809.

https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=14432

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, por un comité científico interinstitucional que contó con el apoyo de evaluadores de diferentes instituciones y dependencias públicas; el contenido expresado en cada trabajo es responsabilidad del autor.

Compiladores: Rigoberto Zetina Lezama, Oscar Hugo Tosquy Valle, Marcos Ventura Vázquez Hernández, Ana Lid Del Angel Pérez, Valentín Alberto Esqueda Esquivel y Claudia Perdomo Montes.

Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz



AGRICULTURA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

VERACRUZ
GOBIERNO DEL ESTADO

SEDARPA
Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

FIRA

CONACYT

Universidad Veracruzana

COVEICYDET
CONSEJO VERACRUZANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

ITBOCA

UAGro
Universidad de Calidad con Inclusión Social

INAPESCA

DET
Dirección de Educación Tecnológica del Estado de Veracruz

INECOL
El Instituto de Ecología

INCA Rural

DGETAyCM

Uncoder 2

INEGI
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA

Prólogo

La **Trigésima Cuarta Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria de Veracruz 2022**, en el marco de las Reuniones Científicas Nacionales, organizada con el apoyo de instituciones y organismos del gobierno federal y estatal, representa un foro de gran importancia donde converge la participación de diferentes instituciones de investigación y enseñanza de áreas afines en un entorno estatal, nacional e internacional. Con la presentación de trabajos de alta calidad técnica y científica, esta reunión científica año con año se consolida, junto con las Reuniones Nacionales, como la reunión científica más importante del sur-sureste de México. Con los trabajos aceptados en esta reunión se elaboró el presente libro científico intitulado: **"Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz"** con número de registro ISSN: 2954-4351, que incluye 131 trabajos que fueron seleccionados a través de un detallado proceso de revisión técnica. Los trabajos se presentan en cuatro áreas temáticas: Agrícola, que incluye trabajos sobre agrometeorología y cambio climático, biotecnología y genómica, fertilidad de suelos y nutrición vegetal, manejo agronómico, recursos genéticos y mejoramiento, sanidad vegetal, validación y transferencia de tecnología, sanidad vegetal y socioeconomía; Pecuaria con temas de biotecnología, biología celular y genómica, endocrinología y reproducción, forrajes y manejo de pastizales, inocuidad de alimentos, mejoramiento y recursos genéticos, nutrición y alimentación animal, salud animal, diagnóstico, control y epidemiología, socioeconomía, validación y transferencia de tecnología; Forestal donde se incluyen las áreas de biotecnología, genética y genómica foresta, conservación y restauración forestal, manejo forestal sustentable y servicios ambientales, plantaciones forestales y sistemas agroforestales, protección, manejo del fuego y salud forestal; así como, tecnología y comercialización de productos forestales y, el área Acuícola-Pesquería con temas de acuacultura y pesquería.

El propósito de la reunión científica es difundir los resultados de investigación, validación y transferencia de tecnología, que se generan en las instituciones de investigación y enseñanza superior, en beneficio de los usuarios de las áreas y sectores antes mencionados. Para la revisión técnica y edición de esta publicación, se requirió del esfuerzo de investigadores, de diversas instituciones de investigación y enseñanza, así como de personal de apoyo técnico y administrativo del INIFAP. Esta publicación se pone a disposición de investigadores, académicos, profesionistas, técnicos y estudiantes, para servir como una referencia confiable de consulta y fortalecimiento de los vínculos interinstitucionales.

Dr. Rubén Santos Echeverría
Encargado del Despacho de los Asuntos Correspondientes
a la Dirección del CIR Golfo Centro

Índice

AGRÍCOLA 1

AGUA, SUELO, AGROMETEOROLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

SISTEMA AGROALIMENTARIO LOCALIZADO Y SEQUÍAS EN LA HUASTECA HIDALGUENSE, MÉXICO 2

Lorena Casanova Pérez, Florencia García Alonso, Emigdio de la Cruz de la Cruz y Alberta San Juan Martínez

VARIEDADES DE FRIJOL ECO-PRODUCTIVAS, PARA MITIGAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL GOLFO DE MÉXICO 15

Francisco Javier Ugalde Acosta, Gabriel Díaz Padilla, Rafael Guajardo Panes, Sabel Barrón Frayre, Arturo Guiris Guzmán, Simón Alvarado Mendoza, Flavio Aragón Cuevas, Ramón Garza García, Carmen A. Hernández Estrada, Agatha Teresa Rosado Calderón, Roberto Canales Cruz, Ernesto Díaz López, Humberto Rafael Bravo Delgado, Isidro López Sánchez, Arturo Olivar Hernández, Simón Leyva Vela y Luis Nieto Castillo

DETERMINACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) A PARTIR DE Kc DE CULTIVO 24

Antonio Martínez Ruiz, Genaro Pérez Jiménez, Cándido Mendoza Pérez, Agustín Ruiz García, J. Víctor Prado Hernández y Julio Torres Sandoval

TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES A PARTIR DE COAGULANTES NATURALES EN MARTÍNEZ DE LA TORRE 32

Miguel Ángel López Ramírez

RENDIMIENTO DE FORRAJE Y GRANO DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) TIPO *DESI* BAJO CONDICIONES DE RIEGO NORMAL Y LIMITADO 42

Raúl Avalos Castro, Álvaro A. Ortega Ibarra y Francisco H. Ruiz Espinoza

PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE MATERIA SECA DE PIÑA MD-2 EN FUNCIÓN DE DOSIS DE NITRÓGENO Y POTASIO 54

María Enriqueta López Vázquez, Nain Peralta Antonio, Gerardo Montiel Vicencio, Andrés Rebolledo Martínez, Rosa Laura Rebolledo García, Aurelio Pérez Báez y Laureano Rebolledo Martínez

BIOTECNOLOGÍA Y GENÓMICA

ORGANOGÉNESIS DIRECTA DE EXPLANTES DE HOJA DE *Laelia autumnalis* MEDIADAS POR ÁCIDO SALICÍLICO 65

Manuel Hernández Bello, Martha Elena Mora Herrera, Rómulo García Velasco y Sotero Aguilar Medel

CRECIMIENTO DE CAFÉ RESISTENTE Y SUSCEPTIBLE A LA ROYA POR EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN INVERNADERO 72

Anahí Morillón Navarrete, Karina Lizeth Arroyo González, Gabriel Rincón Enríquez, Nancy García Roa, Wilber Belén Aguilar Flores y Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar

TRATAMIENTOS NO QUÍMICOS PARA EL CONTROL *in vitro* DE *Neofusicoccum parvum* Y *Eschericha coli* (ATCC 8739) 81

Juan Antonio Herrera González, Porfirio Gutiérrez Martínez, Cristina Moreno Hernández, Carlos A. Rodríguez Guzmán, Surelys Ramos Bell, Rosamaría Esparza Nevárez y Rita M. Velázquez Estrada

GENES DIFERENCIALMENTE EXPRESADOS IDENTIFICADOS EN EL TRANSCRIPTOMA DE LIMÓN PERSA INFECTADO POR HLB 94

Humberto Estrella Maldonado, Ricardo Santillán Mendoza, Carlos González Cruz y Felipe Roberto Flores de la Rosa

PURIFICACIÓN DE PÉPTIDOS PROVENIENTES DEL VENENO DEL ALACRÁN *Centruroides tecomanus* Y EVALUACIÓN DE SU ACTIVIDAD INSECTICIDA 104

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán, Juana María Jiménez Vargas, Laura Leticia Valdez Velázquez, Gisela Jareth Lino López y Gabino González Carrillo

Índice

CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE PÉPTIDOS CON ACTIVIDAD INSECTICIDA PROVENIENTES DEL VENENO DEL ALACRÁN *Centruroides tecomanus* **117**

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán, Laura Leticia Valdez Velázquez, Juana María Jiménez Vargas, Fernando Zamudio y Gisela Jareth Lino López

SISTEMA DE INMERSIÓN POR GRAVEDAD MEJORA EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE PITAHAYA **130**

Gabriela Hernández Hernández, Genaro Pérez Jiménez y César Romero Morante

EFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO Y CERIO EN EL CRECIMIENTO DE PAPAYA MICORRIZADA EN INVERNADERO **139**

Ricardo Ceballos Salazar, Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar, Edgar René López Mena, Diego Eloyr Navarro López y Gabriel Rincón Enríquez

EFECTO DE EXTRACTOS DE ACTINOBACTERIAS SOBRE LA GERMINACIÓN *in vitro* DE SEMILLAS DE SORGO **150**

Eimy Alejandra Vázquez Bello, Jesús Rafael Trinidad Cruz, Gabriel Rincón Enríquez y Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar

DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE EXTRACCIÓN RÁPIDA DE ADN DE HONGOS FILAMENTOSOS EN PAPAYO **158**

Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera, Jorge Gustavo Rodríguez Escobar, Rebeca Rodríguez Falconi, José Luis Hernández Mendoza y Humberto José Estrella Maldonado

MICROORGANISMOS BIOESTIMULANTES DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE JITOMATE PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN AGRICULTURA PROTEGIDA **168**

Andrés Vásquez Hernández, Héctor Cabrera Mireles, Arturo Duran Prado, Isaac Meneses Márquez y Arturo Andrés Gómez

ÁCIDO OXÁLICO COMO TRATAMIENTO POST-COSECHA EN TOMATE (*Solanum lycopersicum*) GENÉTICAMENTE MODIFICADO **183**

Wendy Marisol Mazón Abarca, Elizabeth León García, José Alberto Ramírez De León y Hugo Sergio García Galindo

BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE LA EXPRESIÓN DE GENES SABPs EN LIMÓN PERSA INFECTADO CON HLB **193**

Ricardo Santillán Mendoza, Erick Rodríguez Peralta, Felipe Flores de la Rosa, Humberto Estrella Maldonado, Cristian Matilde Hernández, Jacel Adame García y Hugo Suarez Hernández

GENOTIPIFICACIÓN DE *Vanilla planifolia* JACKS DE LA REGIÓN DEL TOTONACAPAN MEDIANTE ANÁLISIS ISSR **205**

Ricardo Santillán Mendoza, Juan Hernández Hernández, Perla Santos Francisco, Felipe Flores de la Rosa, Gerardo Rodríguez Alvarado, Sylvia Fernández Pavía, Cristian Matilde Hernández y Humberto Estrella Maldonado

ANÁLISIS FILOGENÉTICO DE *Lasiodiplodia* spp. AISLADAS DE *Citrus aurantifolia* EN COLIMA, MÉXICO **216**

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán, Mario Orozco Santos, Karina de la Paz García Mariscal, Claudia Yared Michel López y José Joaquín Velázquez Monreal

FERTILIDAD DE SUELOS Y NUTRICIÓN VEGETAL

USO COMPARATIVO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS E INORGÁNICAS EN LA PRODUCCIÓN DE GERMINADOS DE ESPECIES TRADICIONALES **225**

Juan Fabricio Lazcano Escobar , Nayeli Sarahí Quiñones Islas, Sergio Rubén Trejo Estrada y Carolina Ramírez López

COMPARACIÓN DE LA MICROBIOTA EDÁFICA EN FUNCIÓN DEL HISTORIAL DE USO DE GLIFOSATO EN NARANJA **237**

José Manuel Macotela Cruz, Laura Gómez Tovar y Manuel Ángel Gómez Cruz

DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE NPK MEDIANTE UNA FUNCIÓN DE RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE LECHUGA **250**

Antonio Martínez Ruiz, Cándido Mendoza Pérez, Genaro Pérez Jiménez, Miguel Servín Palestina y Alvarado Mendoza Simón

Índice

INFLUENCIA DE DEFICIENCIENCIAS NUTRIMENTALES DEL SUELO EN LA INCIDENCIA DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL CAFETO **257**

Rafael Alberto Guajardo Panes, Luis Eduardo García Mayoral, Rosalío López Morgado, Gabriel Díaz Padilla, Finlandia Barbosa Moreno y Rafael Iván Granados Argüello

CRECIMIENTO DE LA PIÑA MD-2 EN FUNCIÓN DE LA COMBINACIÓN DE BOKASHI Y FERTILIZANTES INORGÁNICOS **268**

Nain Peralta Antonio, Andrés Rebolledo Martínez, Gerardo Montiel Vicencio, María Enriqueta López Vázquez, Rosa Laura Rebolledo García, Aurelio Pérez Báez, Carlos Tinoco Alfaro y Rigoberto Zetina Lezama

SELECCIÓN FAMILIAL COMBINADA EN CALABAZA PIPIANA PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO Y SEMILLA **280**

Isaac Meneses Márquez, Andrés Vásquez Hernández y Arturo Andrés Gómez

MANEJO AGRONÓMICO

RESPUESTA ANTIOXIDANTE A LA TOLERANCIA A *Alternaria* ssp. EN CRISANTEMOS PREINCUBADOS EN ÁCIDO SALICÍLICO **290**

Martha Elena Mora Herrera, Nohemí de la Cruz Linares, Rómulo García Velasco, Humberto López Delgado y Sotero Aguilar Medel

ANÁLISIS DE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DEL COCOTERO HÍBRIDO CHACTEMAL EN SEMILLERO **299**

Matilde Cortázar Ríos, Gilbert José Herrera Cool y Feliciano Gerardo Balderas Palacios

RESPUESTA PRODUCTIVA DE MAÍCES DEL CAMPO COTAXTLA CICLO "TONAMIL" CUENCA BAJA DEL PAPALOAPAN **309**

Francisco Javier Ugalde Acosta, Mauro Sierra Macías, Ernesto Preciado Ortiz, Flavio Rodríguez Montalvo, Carmen Aridai Hernández Estrada, Arturo Guirit Guzmán, Ignacio Castañeda Alday, Simón Leyva Vela, Luis Nieto Castillo, Francisco Sánchez Fernández, Jesús Cañas Morales, José Luis Menéndez Ronquillo, Jesús Zamudio Torres, José David Ramón Hernández, Ángel de Jesús Guzmán Cruz, Trinidad Bartolo López, Eliseo Capitán Beltrán, Juan Carlos Beltrán Zamorano, Fidel Quevedo Cervantes y Francisco Javier Vaquera Aguilar

MORFOMETRÍA DE LA SEMILLA DE CALABAZA CHIHUA (*Cucurbita argyrosperma* Huber) COLECTADA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO **316**

José Ángel García Sandoval, Antonio Villalobos González y Isaac Meneses Márquez

PRODUCCIÓN DE RÁBANO Y LECHUGA CON ABONOS ORGÁNICOS EN CONDICIONES DE CIELO ABIERTO **325**

Yaqueline Antonia Gheno Heredia, Gloria Esperanza De Dios León, Sarahí Rosas Román y Evelyn Irais Bautista Amezcua

EVALUACIÓN DE INSUMOS AGROECOLÓGICOS PARA MANEJO DE AMARILLAMIENTO DE HOJAS DE NARANJA TARDÍA (*Citrus sinensis* L., Osbeck) EN SAN PABLO, PAPANTLA VERACRUZ **331**

Manuel Ángel Gómez Cruz, Laura Gómez Tovar, María de los Ángeles Hernández Andrade y Asunción Gálvez Mendoza

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL FRUTO DE *Acanthocereus tetragonus* DE LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ **337**

Jeremías Nataren Velázquez, Rosa Isela Rosalino Antonio, Ana Lid Del Ángel Pérez, Juan Valente Megchún García, Irma Rosa Vásquez Robles, Ana Gabriela Gallegos Gaspar y Tanith E. Villagómez Del Ángel

CARACTERIZACIÓN FLORAL DE DOS VARIEDADES DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) **350**

Ana Lid del Ángel Pérez, Ana Gabriela Gallegos Gaspar, Jeremías Nataren Velázquez, Juan Valente Megchún García, Irma Rosa Vásquez Robles, Rosa Isela Rosalino Antonio y Tanith E. Villagómez del Ángel

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE MICOBIOTA ASOCIADA A LA MUERTE DESCENDENTE EN *Citrus aurantifolia* EN EL ESTADO DE COLIMA **362**

Karina de la Paz García Mariscal, Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán, Julio César Herrera Ortiz, Francisco Javier Delgado Virgen, Mario Orozco Santos y José Joaquín Velázquez Monreal

Índice

MANEJO DE RESIDUOS DE COSECHA EN CAMAS ANCHAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES 371

Aurelio Báez Pérez, Agustín Limón Ortega y Bertha Patricia Zamora Morales

ESTABLECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN PLANTACIONES DE LIMÓN PERSA 380

Javier Francisco Enríquez Quiroz, Cristian Matilde Hernández y Valentín Alberto Esqueda Esquivel

IMPLEMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN DERIVADA DE DRONES EN DISEÑOS EXPERIMENTALES AGRÍCOLAS: MONITOREO DEL CULTIVO DE PIÑA 388

Casimiro Ordóñez Prado, Rosa Laura Rebolledo García, Andrés Rebolledo Martínez, María Enriqueta López Vázquez, Nain Peralta Antonio y Héctor Daniel Inurreta Aguirre

CRECIMIENTO DEL FRUTO DE *Coffea arabica* VAR. ORO AZTECA EN CONDICIONES DE SOMBREADO 400

Marco Antonio Toral Juárez, Edgar Couttolenc Brenis, Rosalío López Morgado y Enrique Hernández Reich

CALIDAD DE FRUTA DE PIÑA MD-2 EN FUNCIÓN DE LA PROPORCIÓN DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y FERTILIZACIÓN INORGÁNICA 409

Rosa Laura Rebolledo García, Nain Peralta Antonio, Andrés Rebolledo Martínez, Gerardo Montiel Vicencio, María Enriqueta López Vázquez, Aurelio Pérez Báez y Laureano Rebolledo Martínez

RENDIMIENTO, CALIDAD Y MODELOS DE CRECIMIENTO DE CHICOZAPOTE A CUATRO DENSIDADES DE PLANTACIÓN 421

Andrés Rebolledo Martínez, Leticia Hernández Torres, Nain Peralta Antonio, María Enriqueta López Vázquez, Rosa Laura Rebolledo García, Laureano Rebolledo Martínez, Sergio Alcántara Bernardo y Gerardo Montiel Vicencio

FRUITONE CPA, AVIGLYCINE Y PODA DE HOJAS EN PIÑA MD-2 PARA EVITAR FLORACIONES PREMATURAS INDESEABLES 432

María E. López Vázquez, Andrés Rebolledo Martínez, Nain Peralta Antonio, Gerardo Montiel Vicencio, Rosa Laura Rebolledo García, Laureano Rebolledo Martínez, Ramiro Murillo Capetillo y Carlos A. Tinoco Alfaro

RECURSOS GENÉTICOS Y MEJORAMIENTO

EVALUACIÓN DE HÍBRIDOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) CULTIVADOS BAJO TEMPORAL EN LA ZONA DE ABASTO DEL INGENIO QUESERÍA 444

Jeovani Francisco Cervantes Preciado, Aarón Eduardo Cortés Ruiz y Marcelino Álvarez Cilva

***Persea schiedeana Nees*: MORFOLOGÍA EN FRUTOS DE UNA ESPECIE ENDÉMICA DE MÉXICO** 452

Nayeli Sarahí Quiñones Islas, Juan Fabricio Lazcano Escobar, Sergio Rubén Trejo Estrada y Carolina Ramírez López

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE VARIEDADES DE *Ricinus communis* L. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN 463

José Luis Solís Bonilla, Biaani Beeu Martínez Valencia, Guillermo López Guillen, Leobardo Iracehta Donjuan y Víctor Hugo Díaz Fuentes

CARACTERIZACIÓN DE CINCO MORFOTIPOS DE VAINILLA 470

Juan Hernández Hernández y Ricardo Santillán Mendoza

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN FRUTOS DE ÁRBOLES NO CULTIVADOS DE ZAPOTE NEGRO (*Diospyros* spp.) 479

Emigdio De la Cruz De la Cruz, Silvia Ortiz Hernández, Lorena Casanova Pérez, Artemio Pérez López y Florencia García Alonso

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES DE MAÍZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN LA CHONTALPA, TABASCO 487

Sabel Barrón Freyre y Flavio Artemio Rodríguez Montalvo

Índice

DESCRIPTORES MORFOLÓGICOS DE *Dendrobium nobile* EN LA COLECCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL TEOCELO **496**

Edgar Couttolenc Brenis, Marco Antonio Toral Juárez, Rosalio López Morgado y Jesús Parroquín Perez

DETERMINACIÓN DE FOSFATOS DE INOSITOL EN FRIJOL CULTIVADO EN VERACRUZ **504**

María Stephanie Cid Gallegos, Armando González Jasso, Anaberta Cardador Martínez, Francisco Javier Ugalde Acosta, Xariss M. Sánchez Chino, Luis Jorge Corzo Ríos, Jorge Martínez Herrera y Cristian Jiménez Martínez

COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO Y PRODUCTIVO DE VARIEDADES DE FRIJOL NEGRO EN EL NORTE DE VERACRUZ **513**

José Raúl Rodríguez Rodríguez, Oscar Hugo Tosquy Valle y Francisco Javier Ibarra Pérez

HV1, HV2 Y HV3, NUEVOS HÍBRIDOS VARIETALES DE MAÍZ PROSPECTOS PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO **522**

Mauro Sierra Macías, Clara Ríos Isidro, Noel Orlando Gómez Montiel, Sabel Barrón Freyre, Pablo Andrés Meza, Alejandro Espinosa Calderón y Margarita Tadeo Robledo

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA PRESENTE EN CHILCUAGUE [*Heliopsis longipes* (A. Gray) S.F. Blake, Asteraceae] **537**

Ixchel Parola Contreras, Mario Martín González Chavira, Luis Felipe Guzmán Rodríguez, Blanca Amalia Amaro González, José Luis Pons Hernández, Brenda Zulema Guerrero Aguilar y Ramón Gerardo Guevara González

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CINCO CLONES DE LIMÓN PERSA INJERTADOS EN *Citrumelo swingle* DESARROLLADOS EN TLAPACOYAN, VERACRUZ **546**

Sergio Alberto Curti Díaz, Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera, Santiago Domínguez Monge, Carlos Hernández Guerra y José Alfredo Sandoval Rincon

CARACTERIZACIÓN DE LÍNEAS SOBRESALIENTES DE FRIJOL NEGRO EN DOS AMBIENTES DEL ESTADO DE VERACRUZ **561**

José Raúl Rodríguez Rodríguez, Oscar Hugo Tosquy Valle y Francisco Javier Ibarra Pérez

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ DE GRANO BLANCO EN EL ESTADO VERACUZ **574**

Clara Ríos Isidro, Mauro Sierra Macías, Noel Gómez Montiel, Pablo Andrés Meza, Marcos Vázquez Hernández y Francisco Javier Ugalde Acosta

DIVERGENCIA GENÉTICA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) SOBRESALIENTES PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO **584**

Mauro Sierra Macías, Clara Ríos Isidro, Elizabeth Fernández Carmona, Noel Orlando Gómez Montiel, Mauro Néstor López Muro, Jose Luis Macías García y Victor Santiago Santiago

SANIDAD VEGETAL

EVALUACIÓN DE HERBICIDAS PARA EL CONTROL DE MALEZA EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) EN EL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO **596**

Wilson Ildefonso Avilés Baeza, Juan Jasso Argumedo, Rubén Guerrero Medina y Mónica Guadalupe Lozano Contreras

REFLECTANCIA DE HOJAS DE LIMÓN PERSA A LA FERTILIZACIÓN E INFECCIÓN DE *Candidatus Liberibacter* ASIATICUS **607**

Luis A. Pérez Zarate, Juan A. Villanueva Jiménez, Francisco Osorio Acosta, Eliseo García Pérez, Aída Martínez Hernández y Felipe R. Flores de la Rosa

DESINFECCIÓN DE SEGMENTOS NODALES Y PRODUCCIÓN *in vitro* DE YEMAS AXILARES DE LIMÓN PERSA **620**

Humberto José Estrella Maldonado, Jesús Roberto Mora Solís, Cynthia Rodríguez Quibrera, Santiago Domínguez Monje, Felipe Roberto Flores de la Rosa, Ricardo Santillán Mendoza y Cristian Matilde Hernández

Índice

EVALUACIÓN DE NEMATICIDAS BIOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE SUELO DE VIVERO INFESTADO CON *Meloidogyne paranaensis* **634**

Yesica González Espejo, Gerardo Gutiérrez García, Ariadna Monserrat Ortíz Melchor, Esteban Sayago Cirilo, María del Carmen Núñez Camargo, Daniel López Lima y Dinorah Lima Rivera

EVALUACIÓN DE INSECTICIDAS SELECTIVOS EN DOSIS DIFERENTES PARA EL CONTROL DEL PSÍLIDO ASIÁTICO DE LOS CÍTRICOS EN NUEVO LEÓN, MÉXICO **647**

Juan J. Reséndiz Cabello, Fredi A. Martínez Espinoza, Adrián J. Medina Magaña, J. Isabel López Arroyo y Edgardo Cortez Mondaca

CONTROL MICROBIAL DE MOSCA BLANCA (*Trialeurodes vaporariorum*, Westwood) EN BERENJENA (*Solanum melongena*), EN INVERNADERO **661**

Héctor Cabrera Mireles, Félix David Murillo Cuevas, Aaron Santiago Peralta, Magali Jimenez Jimenez, Jacel García Adame, Cecilia Reyes Loyola, Andrés Vásquez Hernández, Arturo Andrés Gomes, Jimena Ortega Patricio y Rubén Uriel Herrera Bonilla

CONTROL MICROBIAL DE MOSCA BLANCA, *Bemisia tabaci* (Westwood) EN JITOMATE (*Solanum lycopersicum*) EN INVERNADERO **672**

Héctor Cabrera Mireles, Félix David Murillo Cuevas, Rubén Uriel Herrera Bonilla, Magali Jimenez Jimenez, Jacel García Adame, Cecilia Reyes Loyola, Andrés Vásquez Hernández, Arturo Andrés Gomes, Jimena Ortega Patricio y Aaron Santiago Peralta

COMBATE CON FUNGICIDAS QUÍMICOS SINTÉTICOS DE ESPECIES AGRESIVAS DE ANTRACNOSIS EN PAPAYA DE TABASCO **684**

Rebeca Rodríguez Falconi, Jorge Gustavo Rodríguez Escobar e Iván López Córdoba

EVALUACIÓN *in vitro* DE EXTRACTOS ORGÁNICOS SOBRE LA ECLOSIÓN DEL NEMATODO AGALLADOR *Meloidogyne paranaensis* **694**

Rafael Diego Rodríguez Málaga, María del Carmen Núñez Camargo y Daniel López Lima

CONTROL BIOLÓGICO DE LA ROYA ASIÁTICA DE LA SOYA POR ACTINOBACTERIAS **703**

Ángel Ismael Narváez Rodríguez, Raúl Rodríguez Guerra, Moisés Felipe Victoriano, Zeferino Vicente Hernández, J. Isabel López Arroyo, Isidro Humberto Almeyda León, Kenzy Ivveth Peña Carrillo

MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL HLB EN LIMÓN PERSA **712**

Emiliano Loeza Kuk y Claudia Tania Lomas Barrié

CURVAS DE VUELO DE ÁFIDOS EN EL SURESTE MEXICANO **727**

Claudia Tania Lomas Barrié, Emiliano Loeza Kuk, Arisbeth Guadalupe Tec Uicab, y Patricia Rivas Valencia

AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO DE *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae) EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO **738**

Miguel Ángel Ramírez Guillermo, Eder Ramos Hernández, Pablo Ulises Hernández Lara, María del Carmen Silverio Gómez, Elizabeth Hernández Gómez e Izamar López Domínguez

EFECTO DE EXTRACTOS VEGETALES SOBRE EL CRECIMIENTO *in vitro* DE *Moniliophthora roreri* (Cif and Par.) Evans *et al*. **750**

Elizabeth Hernández Gómez, José Luis Solís Bonilla , Miguel Ángel Ramírez Guillermo y Biaani Beeu Martínez Valencia

MÉTODO RÁPIDO PARA IDENTIFICACIÓN DE *Fusarium* spp. EN PLANTAS DE CHILE (*Capsicum annuum*) **755**

Lizbeth Alejandra Rodriguez Morales, Brenda Zulema Guerrero Aguilar, José Luis Pons Hernández y Mario Martin González Chavira

TOXICIDAD DE HERBICIDAS EN VITROPLANTA DE CAÑA DE AZÚCAR Y SU EFECTO EN LA DENSIDAD DE TALLOS MOLEDEROS **763**

Maurilio Mendoza Mexicano, Valentín A. Esqueda Esquivel, Rogelio Miranda Marini, Jeovani Francisco Cervantes y Oscar Hugo Tosquy Valle

Índice

SOCIOECONOMÍA, VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

TIPIFICACIÓN DE PRODUCTORES DE CHILE JALAPEÑO EN QUINTANA ROO, MÉXICO 770

Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez, Alejandro de Jesús Cano González, Blanca Isabel Sánchez Toledano y Rubén Darío Góngora Pérez

EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DE HERBICIDA ORGÁNICO EN CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*) 780

Agustín Jimenez Ramos, Anastacio Nanco Ortiz, Fernando Arturo Gómez Díaz, Jose Iran Domínguez Lagunes y Rene Ávila Nieto

SIEMBRA DE VARIEDADES DE TRIGO SUSCEPTIBLES A LA ROYA EN TLAXCALA Y ESTADO DE MÉXICO 793

Bertha Sofía Larqué Saavedra, Fabián Islas Gutiérrez, Alma Velia Ayala Garay, María de Jesús Ramos Álvarez, Lorena Cortés-Espinoza y Guillermina Martínez Trejo

COSTOS DE PRODUCCIÓN EN TRES AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE LA SIERRA DE ZONGOLICA, VERACRUZ 805

Iván Jair González Valencia, Julio Díaz José, Rogelio Limón Rivera, Hilario García Martínez, Estefanía Quiahua Mazahua y Gregorio Briones Ruiz

PRODUCCIÓN DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN EL ESTADO DE TLAXCALA 817

Alma Velia Ayala Garay, Miguel González González y Enrique González Pérez

LA PRODUCCIÓN DE AMARANTO EN TULYEHUALCO XOCHIMILCO, CIUDAD DE MÉXICO 830

Alma Velia Ayala Garay, Eduardo Espitia Rangel y Yoxkin Estevez Martínez

CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL DE UNA PASTA TIPO TALLARÍN ELABORADA CON SORGO MALTEADO 841

María Guadalupe Herrera Hernández, Talina Olivia Martínez Martínez, Diana Escobedo López, Ramón Huerta Zurita y Víctor Pecina Quintero

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA MEDIANTE HUERTOS URBANOS: UNA ACTIVIDAD OCUPACIONAL 848

Casimiro Ordóñez Prado, Rosa Laura Rebolledo García y Andrés Rebolledo Martínez

CALIDAD NIXTAMALERO-TORTILLERA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ AZUL DESARROLLADOS PARA EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO 855

María Gricelda Vázquez Carrillo, José Luis Arellano Vázquez, Israel Rojas Martínez, Rogelio Fernández Sosa y Ricardo Ernesto Preciado Ortiz

PECUARIO 870

BIOTECNOLOGÍA, BIOLOGÍA CELULAR Y GENÓMICA

ESTUDIO GENÓMICO COMPARATIVO DE CEPAS ATENUADA Y VIRULENTA DE *Babesia bigemina* 871

Bernardo Sachman Ruiz, Luis Lozano Gracia, R. Montserrat Santamaría Espinosa, Jose J. Lira Amaya, Grecia Martínez García, Carmen Rojas Martínez, J. Antonio Álvarez Martínez y Julio V. Figueroa Millán

ENDOCRINOLOGÍA Y REPRODUCCIÓN

LA KISSPEPTINA-10 EN DIFERENTES DOSIS EN UN PROTOCOLO DE SINCRONIZACIÓN DE LA OVULACIÓN EN VACAS 884

Jorge Víctor Rosete Fernández, Abraham Fragoso Islas, Ángel Ríos Utrera y Rubén Santos Echeverría

Índice

KISSPEPTINA-10 EN UN PROTOCOLO DE SINCRONIZACIÓN DE LA OVULACIÓN COMPARADA CON GnRH EN VACAS CRUZADAS **894**

Abraham Fragoso Islas, Jorge Víctor Rosete Fernández, Ángel Ríos Utrera y Rubén Santos Echeverría

SINCRONIZACIÓN DE ESTROS EN OVEJAS MEDIANTE DISPOSITIVOS INTRAVAGINALES REUTILIZADOS Y GONADOTROPINA CORIÓNICA EQUINA **903**

Susana López García, María Teresa Sánchez Torres, José Luis Cordero Mora, Jose Luis Figueroa Velasco, José Alfredo Martínez Aispuro, José Luis García Cué y Mario Cárdenas León

FORRAJES Y MANEJO DE PASTIZALES

RENDIMIENTO FORRAJERO, DIGESTIBILIDAD Y EXTRACCIÓN MINERAL DE SEIS GENOTIPOS DE PASTO BUFFEL *Pennisetum ciliare* L. **913**

Raúl Avalos Castro y Alan Álvarez Holguín

ESTIMACIÓN DE MATERIA SECA EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN PARCELAS DE PASTO MOMBAZA *Megathyrsus maximus* EN TRÓPICO HÚMEDO **920**

Abraham Fragoso Islas, Eduardo Daniel Bolaños Aguilar, Javier Francisco Enríquez Quiroz y Jorge Víctor Rosete Fernández

CALIDAD DE LECHE BOVINA ALIMENTADAS CON PASTO CAYMAN CON Y SIN FERTILIZACIÓN EN TABASCO **927**

Lorenzo Granados Zurita, Jorge Quiroz Valiente, Isabel Cristina Acosta Balcazar, Manuel Barrón Arredondo, Lorenzo Danilo Granados Rivera, Jorge David Guiot García y Francisco Fabián de Dios Ovilla

ARREGLOS ESPACIALES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN SISTEMAS GANADEROS DE CHIAPAS **938**

Alma Liz Vargas de la Mora, Vera Camacho Valdéz, Manuel Jesús Cach Pérez, M.C. Hernández Moreno y Timothy O. Randhir

INOCUIDAD DE ALIMENTOS

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y SANITARIA DE LA LECHE BOVINA EN LA REGIÓN DEL SOTAVENTO, VERACRUZ **956**

Maribel Montero Lagunes, Jaime Rangel Quintos, Laura Hernández Andrade, Francisco Tobías Barradas Piña, Ingrid Dayana González Morales y Francisco Indalecio Juárez Lagunes

MEJORAMIENTO Y RECURSOS GENÉTICOS

EFECTO DE LA RAZA PATERNA, AKAUSHI, ANGUS Y BRAHMAN, SOBRE EL CRECIMIENTO PREDESTETE DE BECERROS **969**

Jorge Víctor Rosete Fernández, Abraham Fragoso Islas, Arturo González Orozco, Ángel Ríos Utrera y Angélica Jáimez Váquez

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL ALTIPLANO MEXICANO. 1. REGISTRO DE PESOS **978**

José Reyes Galaviz Rodríguez, Samuel Vargas López, Luz Marina Calva Hernández, Xóchitl Gabriela Montalvo Aguilar, Patricia Villalobos Peñalosa y Lorena Becerra Cervantes

INFLUENCIA DE LA HORMONA eCG Y GEN GDF9 EN FECUNDIDAD Y PROLIFICIDAD DE OVEJAS KATAHDIN **992**

Reyna Sánchez Ramos, Genaro Olmos Oropeza, José Antonio Hernández Marín, Jorge Alberto Ortiz Salazar y César Cortez Romero

Índice

NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL

SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN AMBIENTE TROPICAL 999

Fabian Valera Lara, Michelle Anahí Estrada Gijón, José Roberto Sanginés García, Adelfo Vite Aranda, Alfonso Juventino Chay Canul y Ángel Trinidad Piñeiro Vázquez

SUPLEMENTACIÓN DE ACEITE DE ORÉGANO EN DIETAS DE CABRAS EN LA CALIDAD DE LECHE 1008

Miguel N. Pérez Sánchez, Juan G. Báez González, Alejandro I. Luna Maldonado, Sugey R. Sinagawa García, Sara Paola Hernández García, Daniela Saraí Rico Costilla, Guillermo Niño Medina, Jocelyn C. López Puga y Gerardo Méndez Zamora

SALUD ANIMAL, DIAGNÓSTICO, CONTROL Y EPIDEMIOLOGÍA

FRECUENCIA DE ANIMALES PERSISTENTEMENTE INFECTADOS A DIARREA VIRAL BOVINA EN UN HATO LECHERO EN SUBTRÓPICO HÚMEDO 1017

Jorge Víctor Rosete Fernández, Abraham Fragoso Islas, Guadalupe Asunción Socci Escatell y Ángel Ríos Utrera

DETERMINACIÓN DE LOS LINAJES GENÉTICOS DE *Toxoplasma gondii* EN CARNE DE CERDO EN VERACRUZ-CENTRO 1027

Julia Juneht Alavez Chávez, Mariel Aguilar Domínguez, Daniel Sokani Sánchez Montes, Dora Romero Salas y Manuel Barrientos Morales

IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE MOSQUITOS COLECTADOS EN CASAS DONDE HABITAN PERROS INFECTADOS CON *Dirofilaria immitis* 1032

Maritza Zaragoza Vera, Claudia Virginia Zaragoza Vera, Guadalupe Arjona Jiménez y Oswaldo Margarito Torres Chable

RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS DE BACTERIAS PRESENTES EN SEMEN POST CONGELADO DE GANADO BOVINO 1042

Gema Zaharina Vidaca Valdez, Miguel Ángel Rodríguez Gaxiola, Soila Maribel Gaxiola Camacho, Higinio Cepeda Quintero, Claudia Leonor Barraza Tizoc, Octavio Maldonado Egure, Sonia Soto Rodríguez, Nohemí Castro del Campo, Jesús Daniel Solís Carrasco e Idalia Enríquez Verdugo

FACTORES EPIDEMIOLÓGICOS ASOCIADOS A INFECCIONES CAUSADAS POR *Anaplasma phagocytophilum* EN PERROS DE TABASCO, MEXICO 1054

Maritza Zaragoza Vera, Oswaldo Margarito Torres Chable, Guadalupe Arjona Jiménez y Claudia Virginia Zaragoza Vera

INMUNOGLOBULINAS ALCANZADAS AL NACIMIENTO SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS EN VACAS PRODUCTORAS DE LECHE 1066

Marco Antonio Alarcón Zapata, Josefa Zavaleta Cruz, Abigail Tabarez Rojas, Dora Romero Salas, Anabel Cruz Romero, Diana Laura Díaz Inocencio, Melina Ojeda Chi y Carlos David Pérez Brigido

SOCIOECONOMÍA, VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS DE LOS APICULTORES EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN 1073

Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez, Aixchel Maya Martínez, Alejandro de Jesús Cano González y Manuel Lara del Río

RESPUESTA REPRODUCTIVA EN HEMBRAS BEEFMASTER SOMETIDAS A SUPLEMENTACIÓN DE VITAMINAS Y MINERALES EN CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO 1083

René Carlos Calderón Robles, Ángel Ríos Utrera, René Calderón Chagoya y Carlos Hernández López

PRODUCCIÓN DE LECHE A PEQUEÑA ESCALA EN LA COSTA CENTRAL DE VERACRUZ 1090

Jaime Rangel Quintos, Maribel Montero Lagunes, Ana Karen Pérez Godínez, Francisco Indalecio Juárez Lagunes, Francisco Tobías Barradas Piña y Laura Hernández Andrade

Índice

DIAGNÓSTICO DE LAS NECESIDADES DE CAPACITACIÓN DE AGENTES DE CAMBIO PECUARIOS DEL ESTADO DE GUANAJUATO 1103

América Alejandra Luna Estrada1, Karla Itzél Alcalá Escamilla y Tomás Arturo González Orozco

FORESTAL 1114

BIOTECNOLOGÍA, GENÉTICA Y GENÓMICA FORESTAL

OBTENCIÓN DE PROPÁGULOS DE *Bauhinia monandra* Kurz MEDIANTE ACODOS AÉREOS Y ENRAIZADORES QUÍMICOS 1115

Manuel Villarruel Fuentes, Eber David Azamar Morales y Rómulo Chávez Morales

CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN FORESTAL

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Andira galeottiana* Standl. 1130

Óscar Santos Pérez Heredia, José Rodolfo García Nava, Mario Luna Cavazoz y Ma. Carmen Ybarra Moncada

CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES ARBÓREAS PARA RESTAURACIÓN DE DUNAS COSTERAS DE TABASCO 1140

Eduardo Javier Moguel Ordóñez, Nelly del Carmen Jiménez Pérez, Juan de Dios Valdez Leal, Coral Jazvel Pacheco Figueroa, Luis José Rangel Ruiz, Lilia María Gama Campillo y Ena Edith Mata Zayas

CONSERVAR PRODUCIENDO Y PRODUCIR CONSERVANDO, UN ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS DEL AGROECOSISTEMA CAFETALERO EN MÉXICO 1152

Lorena Perea Gómez, María del Carmen Álvarez Ávila y Alberto Asiain Hoyos

MANEJO FORESTAL SUSTENTABLE Y SERVICIOS AMBIENTALES

EVIDENCIA ESTADÍSTICA CONCLUYENTE DE QUE LA PENDIENTE DEL MODELO DE REINEKE VARÍA ENTRE Y DENTRO DE ESPECIES ARBÓREAS 1166

Juan Carlos Tamarit Urias, Gerónimo Quiñonez Barraza y Xavier García Cuevas

RIQUEZA DE ESPECIES, DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE COMUNIDADES ARBÓREAS EN LAS INMEDIACIONES DE UNA LAGUNA KÁRSTICA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN 1180

Fernando Arellano Martín, Mario S. Durán Castillo, Óscar E. Verduzco Salazar, Teresa Alfaro Reyna, Francisco Montoya Reyes y Yameli G. Aguilar Duarte

DIVERSIDAD VEGETAL EN PLANTACIONES DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL SURESTE DE MÉXICO 1191

Nelly del Carmen Jiménez Pérez, Alma Deysi Anacleto Rosas, Eduardo Javier Moguel Ordóñez, Alejandro González Hernández y Leydi Daniela Pérez de la Cruz

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD VEGETAL DE UNA GEOFORMA EN EL KARST DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN 1200

Aixchel Maya Martínez, Mario S. Durán Castillo, Martín Aquino Ramírez, Neftaly Gijón Yescas y Yameli Aguilar Duarte

MODELOS PARA DESCRIBIR EL PERFIL FUSTAL DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. EN OCAMPO, MICHOACÁN, MÉXICO 1214

Abel Joseph Hernández Martínez, Gerónimo Quiñonez Barraza, Valentín José Reyes Hernández, Jonathan Hernández Ramos, Xavier García Cuevas y Rafael Sánchez Concha

PRODUCCIÓN DE CONOS DE *Pinus greggii* ENGELM., EN UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS/PROGENIE DE LA REGIÓN DE PEROTE, VERACRUZ 1226

Elba Olivia Ramírez García, Blanca Aidé Ceballos Martínez, Juan Alba Landa, Lilia Mendizábal Hernández, Juan Márquez Ramírez y Héctor Cruz Jiménez

Índice

GENERALIDADES DE LA ANATOMÍA DEL *Quercus canbyi* Trel. 1235
Vicenta Constante García, José Villanueva Díaz, Erika Nava Reyna, José Alberto Urrieta Velázquez y Artemio Carrillo Parra

IMPORTANCIA CULTURAL DE ESPECIES DE SOMBRA EN CAFETALES DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA 1244
Luis Eduardo García Mayoral, Luis Antonio Gálvez Marroquín, Finlandia Barbosa Moreno, Ubaldo Edgar López Lobato, Martha García Sibaja y Rosalío López Morgado

PLANTACIONES FORESTALES Y SISTEMAS AGROFORESTALES

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD ARBÓREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ EN UNA LOCALIDAD DE ZONGOLICA, VERACRUZ 1257
Rolando Misael Tlaxcala Méndez, María del Carmen Pablo Mendoza, Martín Aquino Ramírez y Olga Santiago Trinidad

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE CLONES DE HULE (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) EN LA REGIÓN CENTRAL DE VERACRUZ 1267
Elías Ortiz Cervantes

ADOPCIÓN DEL IXPEPE (*Trema micrantha* (L.) Blume) COMO ESPECIE MADERABLE EN EL SOMBREADO DE CAFETALES 1283
Rosalío López Morgado, Luis Eduardo García Mayoral, Rafael Iván Granados Argüello y Rafael Alberto Guajardo Panes

PROTECCIÓN, MANEJO DEL FUEGO Y SALUD FORESTAL

DISEÑO DE PROTOTIPO PARA TRANSPORTE DE BRIGADISTAS CONTRA INCENDIOS FORESTALES 1295
Julio Cesar Sánchez Jiménez, Mario Alejandro Álvarez Pérez, Luis Emmanuel Correa Olvera y Raúl Roberto Muñoz Chavez

TECNOLOGÍA Y COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS FORESTALES

COMPONENTES QUÍMICOS DE LA MADERA DE *Pinus engelmannii* 1309
Flora Apolinar Hidalgo, José Amador Honorato Salazar y Gertrudis Colotl Hernández

CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA DE MADERAS TROPICALES 1316
José Amador Honorato Salazar

VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LA MADERA DE CLONES DE CEDRO ROJO 1325
José Amador Honorato Salazar, Gertrudis Hernández Colotl y Vicente Sánchez Monsalvo

ACUACULTURA Y PESQUERÍA 1335

ACUACULTURA

PROPIEDADES FUNCIONALES DE POLISACÁRIDOS OBTENIDOS DE MACROALGAS COSTERAS DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ 1336
Diana Berenice Reyes Jaen, Ana Leticia Platas Pinos y Eugenio Rangel León

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SACARIFICACIÓN ÁCIDA DE LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) POR ANÁLISIS BOX-BEHNKEN 1344
Victoria Magdalena Pulido Juárez, Diana Berenice Reyes Jaen, Ana Leticia Platas Pinos y Eugenio Rangel León

Índice

PESQUERÍA

ABUNDANCIA DE CAMARÓN BLANCO Y CAPTURA INCIDENTAL EN LA PESCA DE CAMARÓN SIETE BARBAS **1352**

Armando T. Wakida Kusunoki y Ana Gabriela Díaz Álvarez

PARÁMETROS, ÍNDICES E INDICADORES PESQUEROS PARA *Callinectes sapidus* RATHBUN, EN EL SUR DE CAMPECHE **1365**

Ana Gabriela Díaz Álvarez y Vequi Caballero Chavez

ALGUNOS INDICADORES DE LA PESQUERÍA DE PETO, *Scomberomorus cavalla* DE LA COSTA DE CAMPECHE **1378**

Ana G. Díaz Álvarez, Vequi Caballero Chavez, Raúl E. Lara Mendoza y Armado T. Wakida Kusunoki

Agrícola

SISTEMA AGROALIMENTARIO LOCALIZADO Y SEQUÍAS EN LA HUASTECA HIDALGUENSE, MÉXICO

Lorena Casanova Pérez[1]*, Florencia García Alonso[1], Emigdio de la Cruz de la Cruz[1] y Alberta San Juan Martínez[1]

Resumen

En la última década, ante la crisis socio ambiental en el mundo han surgido voces que exigen la recuperación y el fortalecimiento de la producción local de alimentos. La presente investigación fue realizada en tres municipios de la Huasteca Hidalguense en México, una región cultural habitada por población náhuatl caracterizada por su pobreza, marginación y la presencia de sequías en los últimos años. Las herramientas metodológicas fueron una encuesta a productores (*n* = 68) y consumidores (*n* = 68) y una revisión documental. Los datos obtenidos fueron analizados con estadística descriptiva. Los resultados indican que en la Huasteca Hidalguense existe un sistema agroalimentario localizado en condiciones críticas, en cuyo funcionar es fundamental la participación de pequeños productores con escasos recursos y afectados en su quehacer productivo por condiciones de sequía en los últimos cinco años. Se considera que la recuperación y el fortalecimiento de la producción local de alimentos, permitirá la producción y consumo de alimentos sanos, nutritivos, y con menor impacto ambiental beneficiándose productores y consumidores.

Palabras clave: seguridad alimentaria, sostenibilidad, pequeños productores

Introducción

En México, durante las últimas tres décadas, el derecho al acceso a la alimentación, al igual que el fomento a la producción local de alimentos fueron dos asuntos que por falta de acciones

[1] Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. *lorena.casanova@uthh.edu.mx

u omisiones condujeron al país a un estado grave de dependencia alimentaria (López y Gallardo, 2015; Díaz-Carreño *et al*., 2016). Hoy en día, el 60% de los alimentos en nuestro país son importados (Levario, 2018), incluido el maíz, cultivo básico en la dieta del mexicano (Moreno-Sáenz *et al*., 2016). Lo anterior es consecuencia del accionar de un Estado que concebía el desarrollo de México bajo un enfoque economicista donde crecimiento y productividad eran conceptos fundamentales en la definición de políticas públicas en relación a la agricultura y la alimentación de la población (López y Gallardo, 2015; FAO, 2016).

El efecto principal de estas políticas agrícolas resultó en el empobrecimiento de los pequeños productores, quienes en aras de seguir con su actividad económica sustituyeron la mayoría de sus especies tradicionales por aquellas requeridas por el mercado, cuyo fin no era precisamente satisfacer la demanda de alimentos con base en los requerimientos nutricionales y culinarios de la población local (Márquez-Sánchez, 2009; Moreno-Sáenz *et al*., 2016; FAO, 2016). Ante este hecho, los perdedores han sido tanto los pequeños productores agrícolas como los consumidores en el nivel local, al tener menos opciones de alimentos frescos y baratos, ya que la brecha espacio-temporal entre quien produce los alimentos y quien los consume se ha hecho más grande (Sacco *et al.,* 2019).

De este modo, es necesario revalorar la producción local de alimentos que aún persisten en contextos regionales/locales en la mayor parte de África, Asia y América Latina, que es base para el funcionamiento de canales cortos de comercialización, de carácter informal y flexibles que conectan a los productores pobres con los consumidores pobres (Hernández y Villaseñor, 2014; CEPAL/PMA, 2017). Lo anterior resulta fundamental en México donde, en 2016, el 20% del total de la población vivía con carencia alimentaria, particularmente, indígenas, discapacitados, ancianos y menores de edad (FAO, 2016). En consecuencia, el presente trabajo de investigación caracteriza el sistema agroalimentario localizado que aún persiste en tres municipios de la Huasteca Hidalguense.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La presente investigación se realizó en 30 localidades y dos colonias pertenecientes a los municipios de Huejutla, Atlapexco y San Felipe Orizatlán, Hidalgo, México en la Huasteca Hidalguense (Bonilla y Gómez, 2013). Esta área de estudio es catalogada de media y alta marginación (CONEVAL, 2018), con más del 76% de población perteneciente al pueblo originario, donde la pobreza alimentaria afecta al 55.5% de la población (INEGI, 2010) y es catalogada como de media a alta vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. En la última década, esto se expresa en cambios en los patrones de precipitación y temperatura, principales variables agroclimáticas que estarían afectando la producción agrícola en los últimos cinco años.

Herramientas metodológicas

Se realizó una encuesta consistente en la aplicación de 136 cuestionarios a 68 productores y 68 consumidores provenientes de 32 localidades pertenecientes a los municipios de Atlapexco, Huejutla y San Felipe Orizatlán, Hidalgo. El tamaño de la muestra se determinó usando como marco muestral el número de productores dedicados al sector primario y el número total de habitantes en los tres municipios que conforman el área de estudio (INEGI, 2010). El muestreo fue no probabilístico por cuotas (Pimienta, 2000). En el análisis estadístico descriptivo se utilizó el paquete estadístico Statistics V25. Asimismo, se realizó una revisión documental en motores de búsqueda y plataformas digitales gubernamentales, la información recabada en campo fue sistematizada y procesada a través de un análisis temático (Massey, 2011).

Resultados y Discusión

En los últimos cincos años, en el área de estudio ha existido la presencia de sequía durante la mayor parte del año. Estas sequías han sido catalogadas como: D0 (Anormalmente seco), D1 (Sequía moderada), D3 (Sequía extrema) y D4 (Sequía excepcional). El periodo de sequía pasó de ocurrir en un par de meses a casi todo el año tal como sucedió en 2019. Cuando esta sequía se presenta por más de seis meses al año, además de afectar la actividad agrícola y

ganadera de la región, se impacta el sistema hidrológico y la ecología del lugar (Figuras 2, 3 y 4).

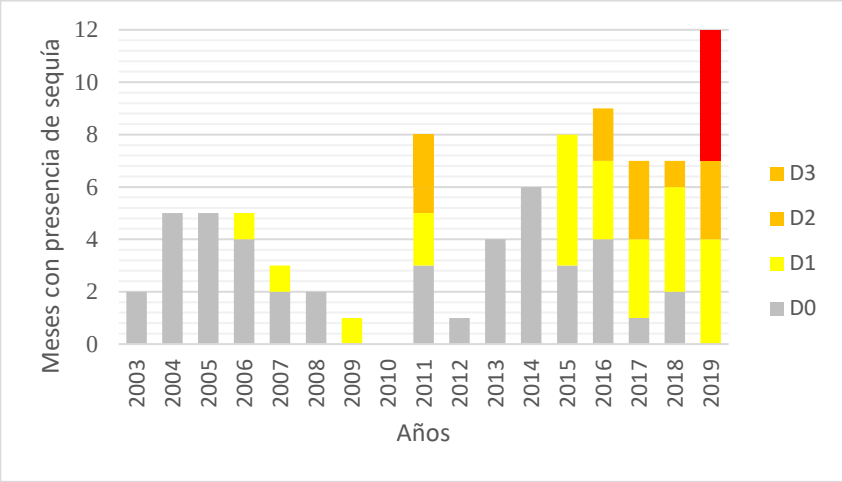


Figura 2. Meses con presencia de sequía en el municipio de Atlapexco, Hidalgo, durante 2003-2019.

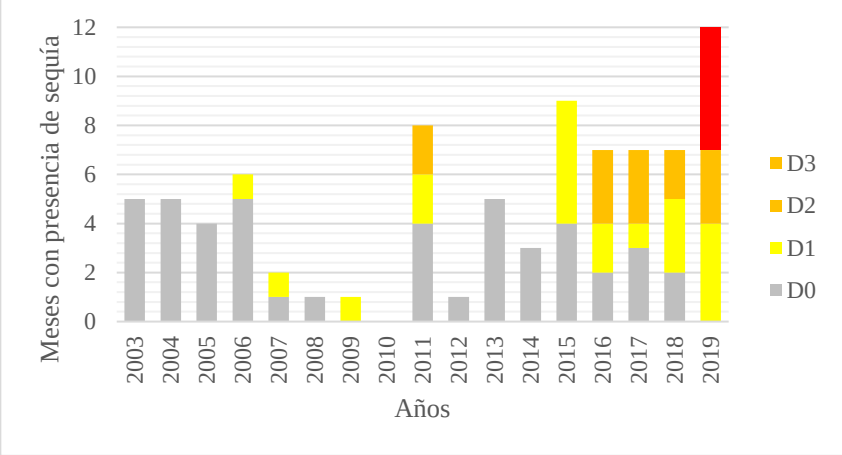


Figura 3. Meses con presencia de sequía en el municipio de Huejutla, Hidalgo., durante 2003-2019.

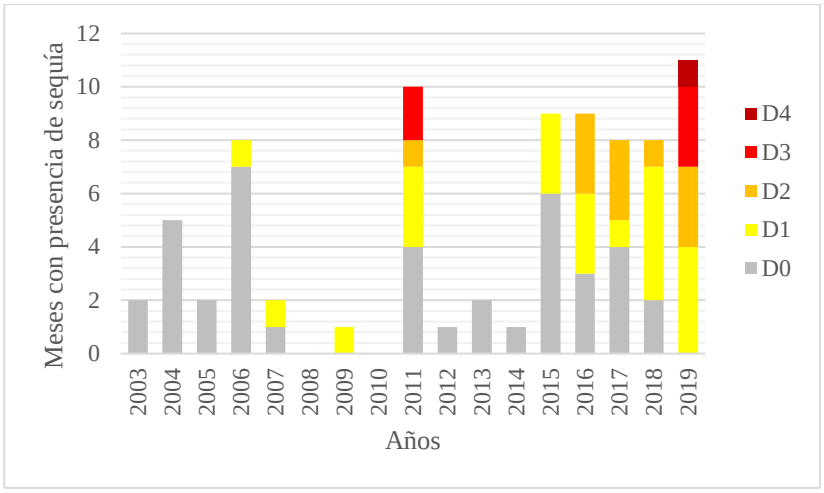


Figura 4. Meses con presencia de sequía en el municipio de San Felipe Orizatlán, Hidalgo., durante 2003-2019.

Los efectos de estos años de sequía han afectado particularmente la producción del frijol, un cultivo C3 que requiere mayores condiciones de humedad que el maíz y que, debido a temperaturas más altas está más expuesto a la presencia de enfermedades (Figura 5).

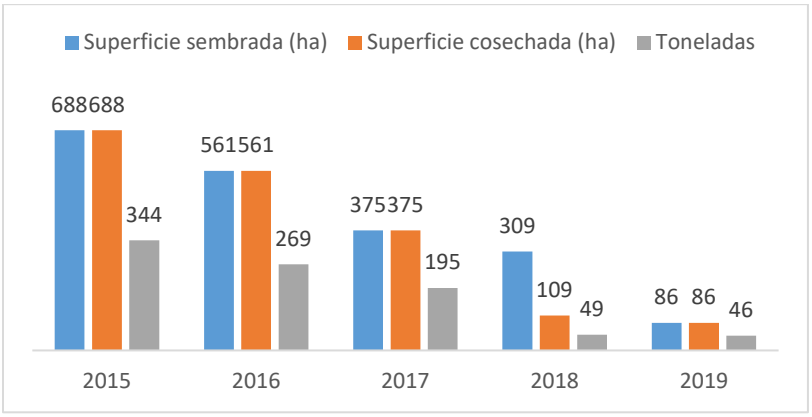


Figura 5. Comportamiento decreciente del número de hectáreas sembradas, cosechadas y toneladas de frijol obtenidas en los últimos cinco años en Huejutla, Hidalgo.

Los datos obtenidos señalan que un 33% de los entrevistados produce alimentos para satisfacer su autoabasto, 19% de los productores lleva toda su producción a los mercados locales, mientras que 48% de los participantes consume y comercializa su cosecha. Esta variable en relación a grupos de edad ofrece una perspectiva particular donde se aprecia que independientemente de los fines antes mencionados, son los más viejos quienes están al frente de la producción local (Figura 6).

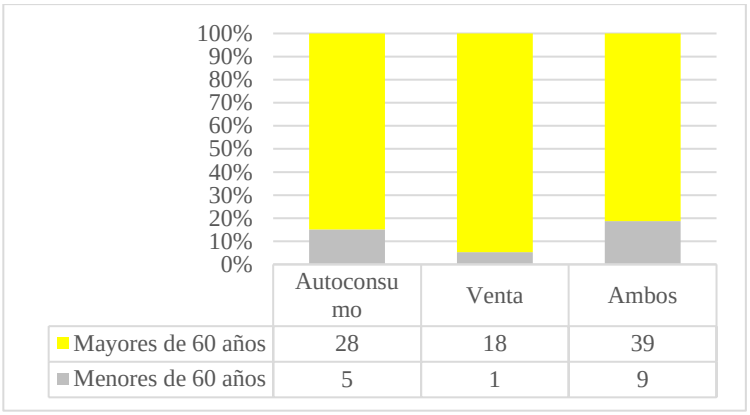


Figura 6. Participación de los productores del área de estudio en la producción/suministro de alimentos considerando su edad como variable de diferenciación. Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

El 45% de los productos vendidos provienen de la milpa, 18% del patio familiar y el resto de ambos. El 80% de los participantes indicaron que sus productos se caracterizan por ser recién cortados y producidos sin el uso de agroquímicos, particularmente los provenientes del patio familiar. El 80% de los productores menciona que utilizan mínimo 60 minutos para desplazarse de sus localidades hasta los mercados municipales.

La producción de alimentos identificada en el área de estudio durante el periodo enero-abril de 2018, consistió en 37% frutas, 33% verduras, 6% granos, 6% hierbas de olor y 2% tubérculos. Los participantes manifestaron que algunas de estas especies son consumidas únicamente por la familia y particularmente por los integrantes de mayor edad, por ejemplo, las semillas de *Leucaena leucocephala* o el fruto de *Carica papaya* silvestre, especies alimenticias poco consumidas o en desuso, que ya no forman parte de patrón de cultivo-recolección de las familias, tampoco del patrón culinario y mucho menos de las cadenas de suministro (Chávez, 2018; CONABIO, 2020).

Otras especies aún se comercializan en los mercados municipales, aunque su demanda es mínima, porque las personas más jóvenes han dejado de consumirlas, como *Annona squamosa*, *Allium neapolitanum* y *Sabal mexicana.* Asimismo, los productores mencionan que existen especies como *Spondias mombin* y *Ustilago maydis* que, aunque su fruto y sus setas, respectivamente son preferidos por la población, su venta sigue siendo básicamente local debido a son altamente perecederos y eso limita su venta en fresco en otras regiones (CONAFOR, 2020).

El 25% de los consumidores indicaron que su consumo se basa en la adquisición de frutos, hortalizas y granos a personas que venden de casa en casa, mientras que el 75% dijo que realiza la compra de estos productos en puestos improvisados ubicados en las áreas aledañas a los mercados municipales de Atlapexco, Huejutla y San Felipe Orizatlán. El 47% de los consumidores dijo que realiza la compra de estos alimentos debido a su menor costo, el 35% por su sabor, 2% por costumbre, 5% porque estos productos son saludables y el 11% mencionó que lo hace por la calidad de los productos por la forma en que son cultivados. Es necesario señalar que los consumidores entrevistados al hacer la valoración de los alimentos generados por la producción local, únicamente el 5% los señala como alimentos saludables.

Con base en lo anterior, es necesario fortalecer el sistema agroalimentario en la Huasteca Hidalguense, ya que esto permitirá reequilibrar las relaciones de poder entre producción y consumo, lo cual contribuye al fortalecimiento y dinamización de la economía local (Lacroix *et al*., 2013). Para que producción local se fortalezca es necesario el apoyo y la participación comprometida de las autoridades de los diferentes niveles de gobierno con presencia institucional en la región (Rodríguez y Riveros, 2016).

La producción de maíz y frijol se reducirá en México derivado de los impactos del cambio climático, esto está asociado con la presencia de sequías de mayor intensidad como las que están sucediendo en el área de estudio. Los hallazgos de esta investigación indican que uno de los cultivos más afectados por las condiciones de sequía en la Huasteca Hidalguense desde hace cinco años es el frijol (SIAP, 2020), un cultivo más sensible a la reducción de la precipitación y el aumento de la temperatura, las dos principales variables agroclimáticas fundamentales para la agricultura.

Esto importante mencionar que los afectados en medida mayor en el corto y mediano plazo seguirán siendo los más pobres, los pequeños productores, quienes realizan su actividad agrícola en áreas productivas marginales como tierras de temporal, laderas, suelos delgados y proclives a la erosión (Altieri y Nicholls, 2009). Si en la Huasteca Hidalguense al igual que en otras regiones del país no se realizan estrategias de adaptación (Medina-García *et al*., 2016; Morales, 2016), existirá una profundización de la pobreza, el hambre y con ello, flujos de migración hacia los centros urbanos, donde la pobreza rural pasará a aumentar la pobreza urbana ya existente (Morales, 2016). La disminución en el abasto de alimentos en la región, no sólo afectará a quienes los producen, sino también a aquellos que los consumen. Es así

como, la pobreza alimentaría se ahondará entre los jornaleros sin tierra, los artesanos y los trabajadores que ganan menos de un salario mínimo (Madueño, 2000). Datos nacionales indican que el 31% de la población rural y 13% de la población urbana no cuentan con los ingresos suficientes para adquirir la canasta básica alimentaria, sufriendo con ello pobreza alimentaria (CONEVAL, 2018).

Ante este contexto es necesario revalorar la importancia de la diversidad genética de variedades locales como estrategia para reducir la variabilidad en rendimientos, lo que actúa como un seguro para sostener la producción y enfrentar el cambio ambiental y climático, así como para satisfacer sus necesidades socioculturales y económicas. Es decir, los pequeños productores obtienen de esta riqueza genética múltiples usos nutricionales y a la vez explotan los diversos ambientes de producción con base en el conocimiento empírico de las diferentes características como: calidad del suelo, altitud, pendiente, disponibilidad de humedad, etc. (Altieri y Nicholls, 2019).

La producción agrícola en el área de estudio, particularmente la llevada a cabo por los productores indígenas de la Huasteca Hidalguense se caracteriza por prácticas de manejo en los agroecosistemas que son una herencia de conocimientos de carácter ecológico y valores ambientales compatibles con enfoques de sustentabilidad (Torres-Salcido *et al*., 2015). Sin embargo, prácticas como el policultivo en la milpa, el escarde, el reciclaje de materia orgánica está en crisis por la predominancia de los monocultivos. De allí, que es necesario pensar en el fortalecimiento de dichos agroecosistemas, ya que son la base que sustenta la producción de alimentos que forman parte del sistema agroalimentario localizado (Altieri y Nicholls, 2019).

Es necesario proponer un manejo de los agroecosistemas que no sólo favorezca la conservación de suelos, sino también, la conservación de recursos, la diversificación genética y de especies y las interacciones biológicas beneficiosas (Donovan, 2018). Detrás de estas acciones, es indispensable el fortalecimiento de los vínculos entre productores y consumidores, del incremento en la capacidad organizativa de los primeros y su empoderamiento para exigir estrategias de adaptación.

Así, la producción local debe erigirse en la base de la seguridad alimentaria en los contextos locales/regionales (Sanz, 2014), proceso en el que juegan un rol fundamental las cadenas cortas, que facilitan que el consumidor esté más cerca del productor y conozca el origen de lo que está consumiendo, es decir, el reconocimiento social entre productores y consumidores

(Hernández y Villaseñor 2014; Altieri y Nicholls, 2019). Este hecho ayuda a visibilizar y valorar el trabajo del jefe/jefa de familia y de cada uno de los miembros que participan, particularmente, las mujeres en la producción y comercialización de alimentos.

Así, en el mejoramiento de los agroecosistemas de la región, deben considerarse acciones que conduzcan a la conservación y recuperación de semillas nativas, la promoción de prácticas de manejo sostenibles en el manejo del suelo y control y prevención de plagas y enfermedades, acciones a las cuales subyazca un enfoque de equidad de género. En cuanto a los consumidores, éstos deberán asumir la importancia de un consumo alimentario sano y respetuoso con el medio ambiente, la recuperación de una producción y hábitos de consumo congruentes con la sostenibilidad (Gliessman *et al*., 2007; Hernández y Villaseñor, 2014). En otras palabras, el sistema agroalimentario localizado además de producir alimentos, deberá reproducir comunidad.

Rosset y Martínez (2014) argumentan que la única solución duradera para reducir la pobreza es a través del desarrollo económico local creando canales locales de producción y consumo, donde las familias de pequeños productores vendan sus productos y compren lo indispensable en mercados de proximidad. Con ello se reducen considerablemente las necesidades de transporte de los productos y se fomenta la diversificación productiva, de forma que las necesidades alimentarias son cubiertas prioritariamente por la agricultura local (Altieri y Nicholls, 2019).

Actualmente, estas ideas también son promovidas por organismos como FAO, PNUMA y OMS, los cuales dentro de su agenda política se han propuesto priorizar la producción y el consumo sostenible de conformidad con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con las políticas relacionados con la “Producción y consumo responsables, Ciudades y comunidades sostenibles, Buena salud y bienestar”, que están dirigidas principalmente al fomento de la producción y consumo de alimentos integrales y mínimamente procesados (ONU, 2015).

Por último, uno de los argumentos más recurrente es que en los sistemas agroalimentarios localizados, promueve no sólo la seguridad, sino también la soberanía alimentaria (Donovan, 2018) ya que incorpora especies que ni siquiera llegan al mercado y forman parte del sistema agroalimentario como parte de la recolección, pero que deben valorarse para recupera la necesidad de estos como alimentos saludables. Es importante que los productores y los consumidores de alimentos cuestionen la lógica mercantil del sistema agroalimentario

predominante que excluye a los productores y uniformiza los patrones de consumo. Cualquier acción por parte de los tomadores de decisiones deberá considerar que la pobreza, la falta de acceso a los alimentos de la mayor parte de la población, son elementos esenciales en su diseño. Estas acciones deberán considerar las relaciones políticas y sociales que suceden en los municipios, las cuales a veces son difíciles y muchas veces contradictorias tal como sucede en el área de estudio (Madueño, 2000).

Es importante estar conscientes de que la calidad ha sido definida en función de las características intrínsecas de los alimentos como sabor, frescura, textura e higiene y conforme a las especificaciones que cada actor participante en las diferentes etapas de producción y distribución confiere a los productos alimenticios. Es importante que este enfoque sea complementado con otros aspectos atributos relacionados a la salud, seguridad y cuidado del medio ambiente (Altieri y Nicholls, 2019), propuesta que favorece las funciones de la producción que fortalece la producción familiar e intercambio a través de redes sociales de proximidad (Hewitt, 1992).

Se requiere pensar que además de las áreas productivas en el área de estudio se han reducido, los productores están realizando su actividad agrícola en condiciones de mayor incertidumbre debido a las condiciones agroclimáticas en los últimos años (Madueño, 2000). No menos importante es la consideración de que los pequeños productores están envejeciendo y que no existe un relevo generacional, que sea capaz de producir alimentos en los próximos años; esto es, debería ser preocupante cuando el promedio de edad de los productores entrevistados es mayor casi una década en relación al promedio nacional que es de 60 años (Vázquez-Palacios, 2013).

El fortalecimiento del sistema agroalimentario localizado requiere también de la existencia y/o mantenimiento de vías de comunicación que comunican a los mercados de proximidad. Un factor que coadyuva a que los productores en el área de estudio estén regularmente sujetos a la presencia de los intermediarios que recorren las comunidades y los predios por carreteras de terracería imponiendo precios excesivamente bajos a los productos y que los pequeños productores no tienen más remedio que aceptar (Madueño, 2000).

Finalmente, es fundamental que se promueva un conocimiento y educación mejor de los consumidores sobre la importancia de comer productos locales, y su beneficio en la nutrición, la biodiversidad, el agua, la cultura y el desarrollo económico y comunitario. Por último, el

fortalecimiento del sistema agroalimentario en la Huasteca Hidalguense requiere comprender las formas de producción y comercialización, el manejo y la conservación de la agrobiodiversidad cultivada y asociada, formas a las cuales subyace una cosmovisión particular que caracteriza al pueblo originario náhuatl cuyos hablantes son una población predominante en esta región.

Conclusiones

La recuperación y el fortalecimiento del sistema agroalimentario como el que todavía persiste en la Huasteca Hidalguense, permitirá la continuación del modo de vida de los productores, su identidad cultural, la conservación de su agrobiodiversidad cultivada y asociada. La existencia de este sistema es un medio valioso para fortalecer las relaciones rural-urbano, permitiendo identificar causas y soluciones a la pobreza y la malnutrición entre productores y consumidores de la región. Asimismo, éste puede ser un medio en la búsqueda de la sostenibilidad rural y el cuidado de bienes comunes fundamentales para la vida como el agua, el suelo y el clima.

Literatura Citada

Altieri, M. A. y C. I. Nicholls. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA Revista de Agroecología 24(4):5-8.

Altieri, M. A. y C. I. Nicholls. 2019. Agroecología y diversidad genética en la agricultura campesina. LEISA Revista de Agroecología 35(2):22-25.

Bonilla, R. S. y J. C. Gómez. 2013. Son huasteco e identidad regional. Investigaciones Geográficas 80:86-97.

CEPAL/PMA (Comisión Económica para América Latina y el Caribe/Programa Mundial de Alimentos). 2017. El costo de la doble carga de la malnutrición: Impacto social y económico. Síntesis del estudio piloto en Chile, Ecuador y México. https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000110354/download/ [consultado el 17 de octubre de 2022].

Chávez, P. M. 2018. La papaya silvestre, el reservorio natural de una especie de gran valor. Desde el Herbario CICY 10:83-87.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2020. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/mimosaceae/leucaena-leucocephala/fichas/ficha.htm [consultado el 17 de octubre de 2022].

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2020. *Spondias mombin* L. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/1003Spondias%20mombin.pdf [consultado el 17 de octubre de 2022].

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2018. Medicion de la pobreza. Consulta dinámica de resultados de pobreza a nivel municipio 2010 y 2015. https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/consulta_pobreza_municipal.aspx [consultado el 17 de octubre de 2022].

Díaz-Carreño, M. A., M. Sánchez-León and A. Díaz-Bustamante. 2016. Food insecurity in Mexican states: a study on their major determinants. Economía, Sociedad y Territorio XVI (51):459-483.

Donovan, J. 2018. Vínculos entre la producción agroecológica y los sistemas alimentarios en los Andes. Introducción. LEISA Revista de Agroecología 34(2):5-7.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. El sistema alimentario en México. Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. http://www.fao.org/3/CA2910ES/ca2910es.pdf [consultado el 17 de octubre de 2022].

Gliessman, S. R., F. J. Rosado-May, C. Guadarrama-Zugasti, J. Jedlicka, A. Cohn, V. E. Mendez *et al*. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. Ecosistemas 16(1):13-23.

Hernández, M. C. y A. Villaseñor, 2014. La calidad en el sistema agroalimentario globalizado. Revista Mexicana de Sociología 76(4):557-582.

Hewitt, de A. C. 1992. Introducción: reestructuración económica y subsistencia rural. Reestructuración económica y subsistencia rural. El maíz y la crisis de los ochenta. El Colegio de México. Instituto de Investigación de las Naciones Unidas Centro Tepoztlán. México, D. F. 388 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/. [consultado el 17 de octubre de 2022].

Lacroix, P., C. Chauveau y D. Taipe. 2013. Soberanía alimentaria y comercialización campesina en Ecuador. https://hal-agrocampus-ouest.archives-ouvertes.fr/hal-00794380 /document [consultado el 17 de octubre de 2022].

Levario, F. A. E. 2018. La seguridad alimentaria como guía de política pública en México. Evaluación cualitativa del caso de la Ciudad de México. Tesis de doctorado. El Colegio de San Luis A. C. San Luis Potosí, S. L. P., México. 371 p.

López, S. R. y E. D. Gallardo G. 2015. Las políticas alimentarias de México: un análisis de su marco regulatorio. Estudios Socio-Jurídicos 17(1):11-39.

Massey, O. T. 2011. A proposed model for the analysis and interpretation of focus groupevaluation research. Evaluation and Program Planning 34:21-28.

Medina-García, G., J. A. Ruiz-Corral, V. M. Rodríguez-Moreno, J. Soria-Ruiz, G. Díaz y P. Zarazúa. 2016. Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 13:2465-2474.

Moreno-Sáenz, L. I., S. González-Andrade y J. M. Matus-Gardea. 2016. Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(1):115-126.

Madueño, P. R. 2000. La Huasteca hidalguense: pobreza y marginación social acumulada. Sociológica 15(44):97-131.

Márquez-Sánchez, F. 2009. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II: la hibridación. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 6(2):161-176.

Morales, H. J. 2016. Agricultura y sostenibilidad rural: alternativas en marcha para enfrentar el cambio climático. p. 161-200. *In*: Griffon, B. D. (coord.). Narrativas contrahegemónicas de la crisis climática. Amalivaca Ediciones. Caracas, Venezuela.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2015. La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/. [consultado el 17 de octubre de 2022].

Pimienta, R. 2000. Encuestas probabilísticas versus no probabilísticas. Política y Cultura 13:263-276.

Rodríguez, D. y H. Riveros. 2016. Esquemas de comercialización que facilitan la articulación de productores agrícolas con los mercados. IICA. San José, Costa Rica. 74 p.

Rosset, P. y M. E. Martínez. 2014. Soberanía reclamo mundial. Ecofronteras 8:1-4.

Sacco, F., N. Velleda y S. Sivini. 2019. Redes agroalimentarias alternativas: el caso Campagna Amica. Revista Mexicana de Sociología 81(1):63-87.

Sanz, J. 2014. Sistemas agroalimentarios locales y multifuncionalidad. Un enfoque de investigación en alimentos, ciencias sociales y territorio. p. 87-103. *In*: Del Valle, R. M. C. (ed.). El desarrollo hoy. Hacia la construcción de nuevos paradigmas, Colección de Libros Problemas del Desarrollo. UNAM. Instituto de Investigaciones Económicas. México, D. F.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Producción Anual Agrícola. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119 [consultado el 17 de octubre de 2022].

Torres-Salcido, G., R. Meiners-Mandujano, D. A. Moales-Córdova, V. Marina-Carral y G. Alonso-Torres. 2015. Agricultura familiar y sistema agroalimentario localizado: políticas locales para la producción de cuitlacoche (*Ustilago maydis* sp.). Agricultura, Sociedad y Desarrollo 12(2):199-218.

Vázquez-Palacios F. R. 2013. Envejeciendo en las tradicionales y nuevas ruralidades. Intersticios Sociales 5:1-29.

VARIEDADES DE FRIJOL ECO-PRODUCTIVAS, PARA MITIGAR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL GOLFO DE MÉXICO

Francisco Javier Ugalde Acosta[1*], Gabriel Díaz Padilla[1], Rafael Guajardo Panes[1], Sabel Barrón Frayre[2], Arturo Guiris Guzmán[3], Simón Alvarado Mendoza[4], Flavio Aragón Cuevas[5], Ramón Garza García[6], Carmen A. Hernández Estrada[1], Agatha Teresa Rosado Calderon[7], Roberto Canales Cruz[7], Ernesto Díaz López[8], Humberto Rafael Bravo Delgado[8], Isidro López Sánchez[8], Arturo Olivar Hernández[8], Simón Leyva Vela[1] y Luis Nieto Castillo[1]

Resumen

El frijol, es clave en la seguridad alimentaria de la región Golfo de México. La producción de 300 a 650 kg ha^{-1} se atribuye a la variación ambiental generada por la altitud, lo que genera que factores bióticos y abióticos influyan en su productividad y riesgo alimenticio. Esta región es vulnerable ante el cambio climático, por lo que, es necesario establecer estrategias para mitigar sus efectos en la productividad del frijol. El INIFAP, ha generado variedades mejoradas que han mostrado adaptación a condiciones ambientales diversas. Desde el 2019 al 2022, en regiones con régimen de humedad residual y temporal, se establecieron once módulos para validar 14 genotipos mejorados de la clase comercial negro opaco, en tres estratos de altitud: a) baja, de 0-650 m, b) intermedia, de 651 -1,500 m y c) alta, >1,500 m distribuidos en los estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Campeche. El rendimiento de las variedades de frijol registrado en diferentes altitudes mostró que, en la zona baja, con 38 registros productivos, se obtuvo un promedio de 1,607 kg ha^{-1} en el ciclo de invierno-primavera, de humedad residual. En el ciclo otoño-invierno, con humedad residual, en la zona intermedia, fue en promedio de 1,406 kg ha^{-1} resultado de 190 registros productivos. En el ciclo primavera-verano, de temporal, en la zona alta, fue de 1,728 kg ha^{-1} con 76 registros productivos. Los anteriores rendimientos fueron superiores al promedio regional y sobresalieron a cualquier

[1]Campo Experimental Cotaxtla INIFAP agrotecnia7@yahoo.com.mx
[2]Campo Experimental Huimanguillo INIFAP.
[3]CBTA 84 Carlos A. Carrillo, Ver.
[4]Sitio Experimental Tecamachalco INIFAP.
[5]Campo Experimental Valles Centrales INIFAP.
[6]Campo Experimental Valle de México INIFAP.
[7]Campo Experimental Ezdná INIFAP.
[8]Universidad Tecnológica de Tehuacán.

condición de altitud y ciclo. Estos resultados demuestran que la respuesta productiva de las distintas variedades presenta adaptabilidad a las diferentes altitudes, lo que abre la posibilidad de contar con alternativas ecoproductivas y como una alternativa de resiliencia antes los efectos del cambio climático a la productividad de frijol.

Palabras clave: adaptación agroclimática, factores abióticos, sequía, altitud

Introducción

El cultivo de frijol es fundamental en la seguridad alimentaria de la región Golfo de México, se siembra a lo largo de 980 km, que comprende los estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Campeche, con una productividad variable desde 300 a 650 kg ha^{-1} (SIAP, 2020). En la referida región, existe variación ambiental generada por la altitud, desde el nivel del mar hasta los 2,300 m, esto genera que, factores bióticos y abióticos puedan influir en su productividad y riesgo alimenticio. Es también, una región vulnerable ante el cambio climático, por lo que, es necesario establecer estrategias para mitigar sus efectos. El INIFAP, ha generado variedades mejoradas que han mostrado adaptación, alta productividad, tolerancia y/o resistencia a enfermedades y a otros factores abióticos como sequía y baja fertilidad de los suelos. Estas características las convierte en opciones recomendadas para condiciones ambientales especificas del país (López *et al.,* 2010; Sánchez *et al.*, 2013); sin embargo, se desconoce su adaptación en sitios variables que van del clima tropical, de transición climática y templado (Ugalde *et al*., 2014). Proyecciones realizadas muestran que con el cambio climático incrementará la susceptibilidad a las sequías, teniendo mayor impacto en las zonas agrícolas (Sánchez *et al.*, 2011). Guajardo (2015), resalta en su estudio que, las zonas con potencial productivo de frijol no se podrían ver afectadas drásticamente en zonas agrícolas del estado de Veracruz ya que, en la mayoría de éstas, las condiciones climáticas para su producción prácticamente no cambiarían bajo diferentes escenarios de cambio climático, sin embargo, puede verse más afectado por la presencia de enfermedades ocasionadas por el exceso de humedad que incide en el ciclo primavera-verano (P-V). De ahí la importancia de evaluar y validar las variedades a diferentes condiciones agroecológicas que identifiquen su

amplia adaptación o plasticidad genética (Ugalde *et al.,* 2010; 2012). Por lo anterior, el objetivo fue identificar la(s) variedad(es) de frijol que presenten adaptabilidad a las diferentes condiciones agroambientales en la región Golfo de México, que sean base para generar recomendaciones como medidas de mitigación y resiliencia.

Materiales y Métodos

Se establecieron durante los ciclos, otoño-invierno (O-I) 2019/20, invierno-primavera (I-P) 2020, P-V 2020, OI 2020/21, PV 21-21, OI 2021/22 e I-P 2022, once módulos para validar 14 genotipos mejorados de la clase comercial negro opaco mesoamericano, incluido dos testigos regionales (uno nacional y otro extranjero), en los regímenes de humedad residual y temporal (Figura 1). Cada módulo ocupo una superficie de 2,500 m^2 con una población de 250 mil plantas por hectárea, no se fertilizó, ni se emplearon fungicidas y el control de plagas fue con insecticidas. Para observar la plasticidad genética de las variedades se clasificaron tres extractos de altitud a) baja, de 0-650 m, b) intermediam de 651-1,500 m y c) alta, >1,500 m. Al final de cada ciclo se cosechó la totalidad del área sembrada de cada variedad, se pesó con 14% de humedad de grano y se estimó el rendimiento en kilogramos por hectárea. Para el análisis de la información se integró una base de datos en Excel la cual fue exportada al programa de distribución gratuita R-cran para el posterior análisis de la información que incluyó variedad, fecha de siembra, municipio, localidad, altitud sobre el nivel del mar, régimen de humedad, tipo de suelo, condición de humedad durante el ciclo y rendimiento. Para observar la correlación entre variedades, ciclos y altitudes, se aplicó el Análisis de Varianza para rendimiento de frijol en kg ha^{-1} establecido en diferentes ciclos de siembra.

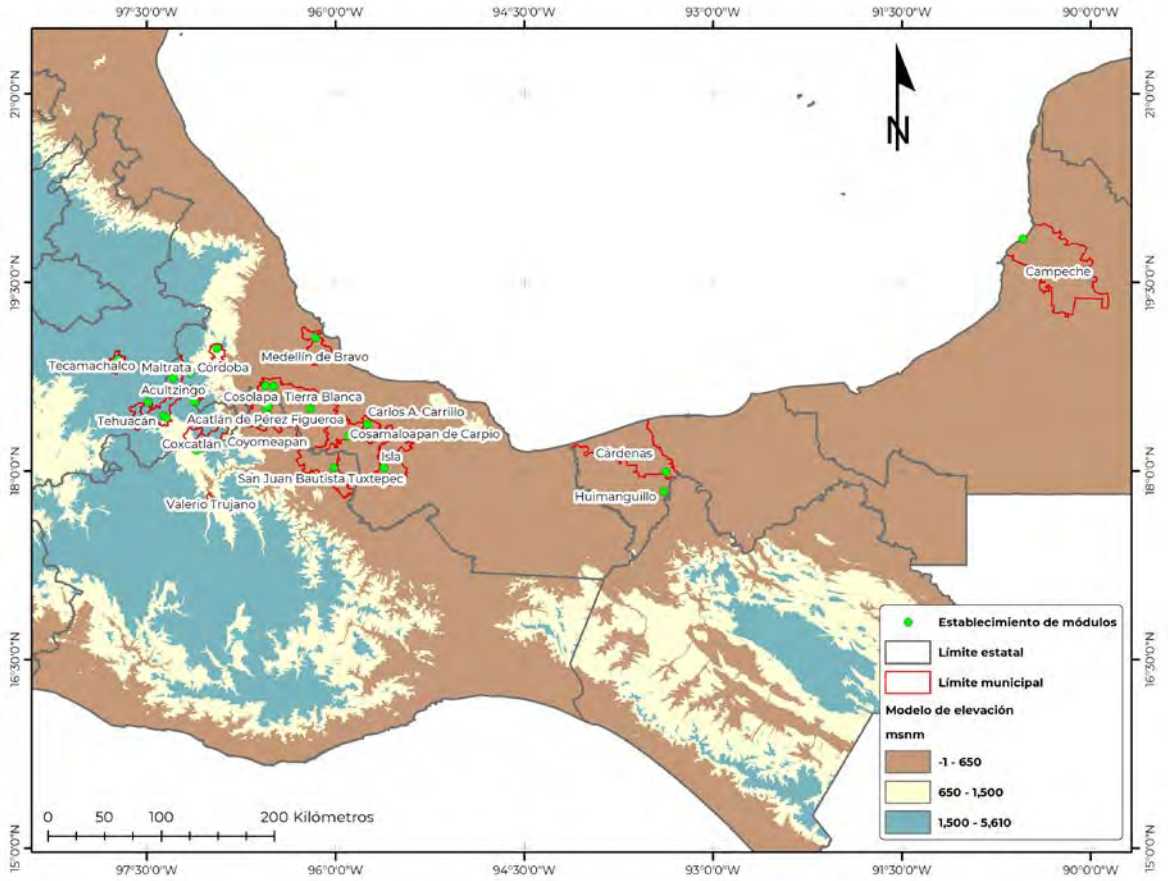


Figura 1. Ubicación geográfica de los establecimientos de ensayo de frijol en diferentes estados de México.

Resultados y Discusión

En la Figura 2, se observa que el promedio de rendimiento obtenido varía entre 1,438 y 1,588 kg ha^{-1}. Se observa que para la zona altitudinal baja se realizó la mayor implementación de variedades de frijol en donde se obtuvieron rendimientos entre los 1,296 correspondientes a la variedad N. Medellín y los 2,068 kg ha^{-1} que corresponden a la variedad N. Primavera A-28.

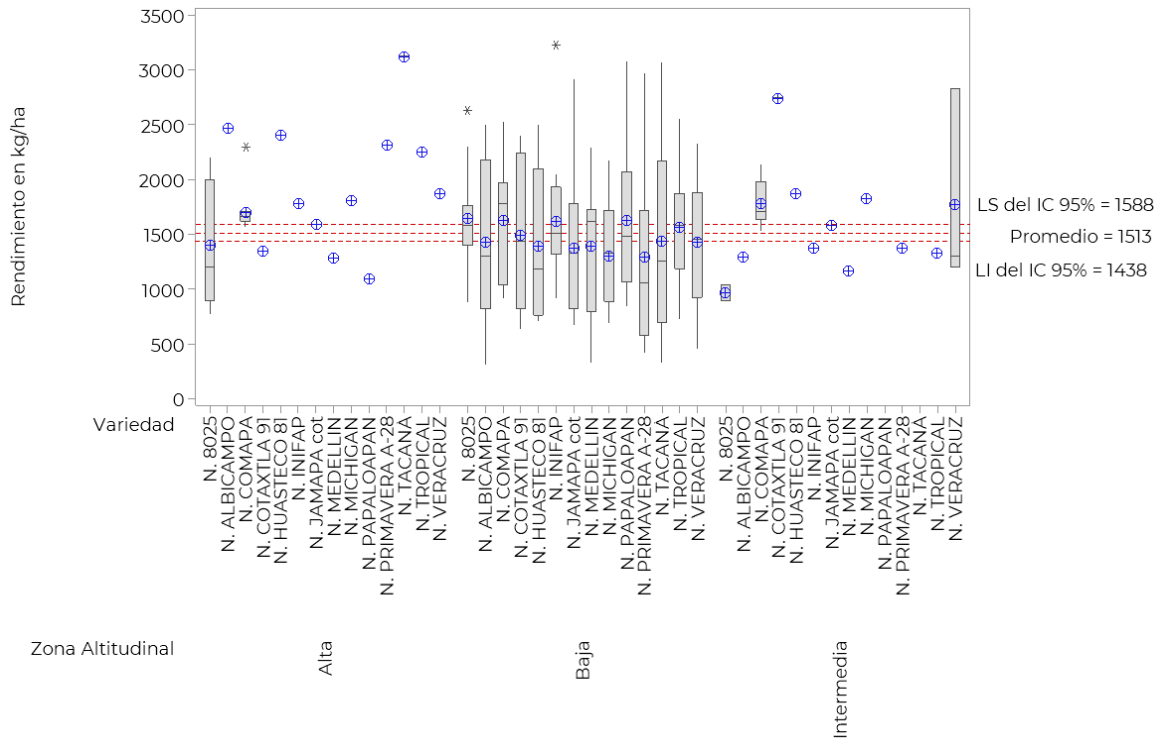


Figura 2. Variación de rendimientos de variedades de frijol por zona altitudinal.

El comportamiento productivo de las variedades mejoradas de frijol fue superior al promedio regional y sobresalieron a cualquier condición de altitud y ciclo (Figura 2). La información generada de los módulos de validación permitió explorar y contribuir al conocimiento tecnológico, identificando el nicho ecológico para el dominio de recomendación de cada variedad considerando factores abióticos. En la Cuadro 1, se observan las estadísticas descriptivas de los rendimientos de las diferentes variedades de frijol por ciclo y zona altitudinal, en el que observan los altos rendimientos registrados en la variedad N. INIFAP en el ciclo OI en la zona altitudinal baja con 1,631 kg ha^{-1}, seguido del N. Papaloapan y N. 8025, con 1,623 y 1,619 kg ha^{-1}, respectivamente.

Con respecto al rendimiento de las variedades de frijol registrado en diferentes altitudes, de acuerdo a los años de prueba se observa que los rendimientos en la zona baja con 38 registros productivos, fueron en promedio de 1,607 kg ha^{-1} en el ciclo de I-P, de humedad residual.

Cuadro 1. Comportamiento del rendimiento del frijol en kg ha^{-1} de diferentes variedades de frijol al establecerlas en diferentes ciclos de siembra y zonas altitudinales.

Variedad / Ciclo	Estadística descriptiva	Zona altitudinal: Alta Mayor a 1500 msnm P-V	Intermedia 651 - 1500 msnm P-V	Baja 0 - 650 msnm I-P	Baja 0 - 650 msnm O-I
N. 8025	Promedio	1397.6	970.0	1736.3	1619.5
	Desv.Std.	542.8	99.0	486.4	456.6
	n	11	2	3	12
	CV	38.8	10.2	28.0	28.2
	Int.Conf. al 95%	1033 - 1762.3	80.6 - 1859.4	528.1 - 2944.5	1329.4 - 1909.6
N. ALBICAMPO	Promedio	2468.8	1290.0	1776.5	1353.6
	Desv.Std.	--	--	787.0	723.8
	n	1	1	2	10
	CV	--	--	44.3	53.5
	Int.Conf. al 95%	--	--	**	835.8 - 1871.4
N. COMAPA	Promedio	1699.5	1782.3	1776.0	1573.8
	Desv.Std.	160.0	213.9	1050.8	463.9
	n	17	6	2	6
	CV	9.4	12.0	59.2	29.5
	Int.Conf. al 95%	1617.3 - 1781.8	1557.9 - 2006.8	**	1087 - 2060.6
N. COTAXTLA 91	Promedio	1343.8	2747.0	1850.0	1384.8
	Desv.Std.	--	--	769.3	667.6
	n	1	1	2	7
	CV	--	--	41.6	48.2
	Int.Conf. al 95%	--	--	**	767.4 - 2002.3
N. HUASTECO 81	Promedio	2406.3	1873.0	1602.5	1339.4
	Desv.Std.	--	--	778.5	671.4
	n	1	1	2	8
	CV	--	--	48.6	50.1
	Int.Conf. al 95%	--	--	**	778.1 - 1900.7
N. INIFAP	Promedio	1781.3	1373.0	1595.5	1631.5
	Desv.Std.	--	--	348.9	656.9
	n	1	1	4	10
	CV	--	--	21.9	40.3
	Int.Conf. al 95%	--	--	1040.3 - 2150.7	1161.6 - 2101.4
N. JAMAPA cot	Promedio	1593.8	1581.0	1510.0	1314.2
	Desv.Std.	--	--	430.3	760.1
	n	1	1	4	9
	CV	--	--	28.5	57.8
	Int.Conf. al 95%	--	--	825.3 - 2194.7	729.9 - 1898.4
N. MEDELLIN	Promedio	1281.3	1165.0	1296.3	1420.2
	Desv.Std.	--	--	568.4	599.3
	n	1	1	3	10
	CV	--	--	43.8	42.2
	Int.Conf. al 95%	--	--	**	991.5 - 1848.8
N. MICHIGAN	Promedio	1812.5	1831.0	1483.0	1253.9
	Desv.Std.	--	--	641.8	448.1
	n	1	1	3	11
	CV	--	--	43.3	35.7
	Int.Conf. al 95%	--	--	-111.3 - 3077.3	952.9 - 1555
N. PAPALOAPAN	Promedio	1093.8		1629.0	1623.2
	Desv.Std.	--	--	--	778.5
	n	1		1	7
	CV	--	--		48.0
	Int.Conf. al 95%	--	--	--	903.2 - 2343.2
N. PRIMAVERA A-28	Promedio	2312.5	1373.0	2068.0	1216.8
	Desv.Std.	--	--	835.8	796.0
	n	1	1	2	20
	CV	--	--	40.4	65.4
	Int.Conf. al 95%	--	--	**	844.3 - 1589.4
N. TACANÁ	Promedio	3125.0	--	--	1433.9
	Desv.Std.	--	--	--	956.7
	n	1	--	--	6
	CV		--	--	66.7
	Int.Conf. al 95%	--	--	--	429.9 - 2437.9
N. TROPICAL	Promedio	2250.0	1332.0	1556.5	1563.2
	Desv.Std.	--	--	711.2	435.4
	n	1	1	4	16
	CV	--	--	45.7	27.9
	Int.Conf. al 95%	--	--	424.9 - 2688.1	1331.1 - 1795.2
N. VERACRUZ	Promedio	1875.0	1776.7	1436.3	1424.7
	Desv.Std.	--	913.6	593.7	577.3
	n	1	3	3	14
	CV		51.4	41.3	40.5
	Int.Conf. al 95%	--	**	**	1091.4 - 1758

I-P=Invierno-Primavera (enero-marzo); O-I=Otoño-Invierno (septiembre-diciembre) y P-V=Primavera Verano (junio-octubre). Baja (0 – 650 msnm); Intermedia (650 – 1500 msnm) y Alta (Mayor a 1500 msnm).

En el ciclo de O-I, de humedad residual, en la zona intermedia, fue en promedio de 1,406 kg ha^{-1} resultado de 190 registros productivos. En el ciclo P-V, de temporal, en la zona alta, fue de 1,728 kg ha^{-1} con 76 registros productivos. Estos resultados demuestran que la respuesta productiva de las distintas variedades presenta adaptabilidad a las diferentes altitudes, lo que abre la posibilidad de contar con alternativas ecoproductivas.

Se realizó un análisis de varianza para verificar si existen diferencias significativas de rendimientos entre variedades (17), zonas altitudinales (3) y ciclos (3) en los que se implementó el cultivo. Considerando la información de la Cuadro 1, se consideró no incluir en el ANOVA, aquellas variedades que registraran menos de dos ensayos, con el fin de obtener la mayor representatividad del análisis.

En el Cuadro 2, se puede observar el resultado del ANOVA, en el cual se prueba la Ho del efecto en los rendimientos de las distintas variedades de frijol en los diferentes gradientes altitudinales y ciclos de cultivo.

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza para comprobar diferencias de rendimientos de frijol en sus diferentes variedades, altitudes y ciclos de establecimiento.

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo	35	10213177.21	291805.06	0.80	0.7795
Variedad	13	3493436.65	268725.89	0.74	0.7249
Altitud	2	796074.24	398037.12	1.09	0.3378
Ciclo	2	1697112.98	848556.49	2.33	0.1004
Variedad * Altitud	4	1520609.67	380152.42	1.04	0.3865
Variedad * Ciclo	14	2705943.66	193281.69	0.53	0.9132
Error	184	67080601.21	364568.48		
Total	219	77293778.43			

En el Cuadro 2, se observa que no hay diferencias significativas entre los rendimientos de frijol entre variedades, altitudes y ciclos ya que los valores de p en cada fuente de variación son mayores a 0.01.

En la Figura 3, se puede observar el patrón de variación de rendimientos de las distintas variedades de frijol en las diferentes zonas altitudinales. Sobresalen las variedades de Negro 8025, Negro Comapa, Negro INIFAP y Negro Papaloapan en la zona que comprende la cota altitudinal que va de los 0 a 650 m y estos mismos sobresalen en su implementación en el ciclo O-I. Resalta que para el ciclo I-P, las variedades que registraron mayor rendimiento son las variedades N 8025, N Albicampo, N Comapa, y N Cotaxtla A91, así como el N Primavera, quedando éste por encima de los ya mencionados.

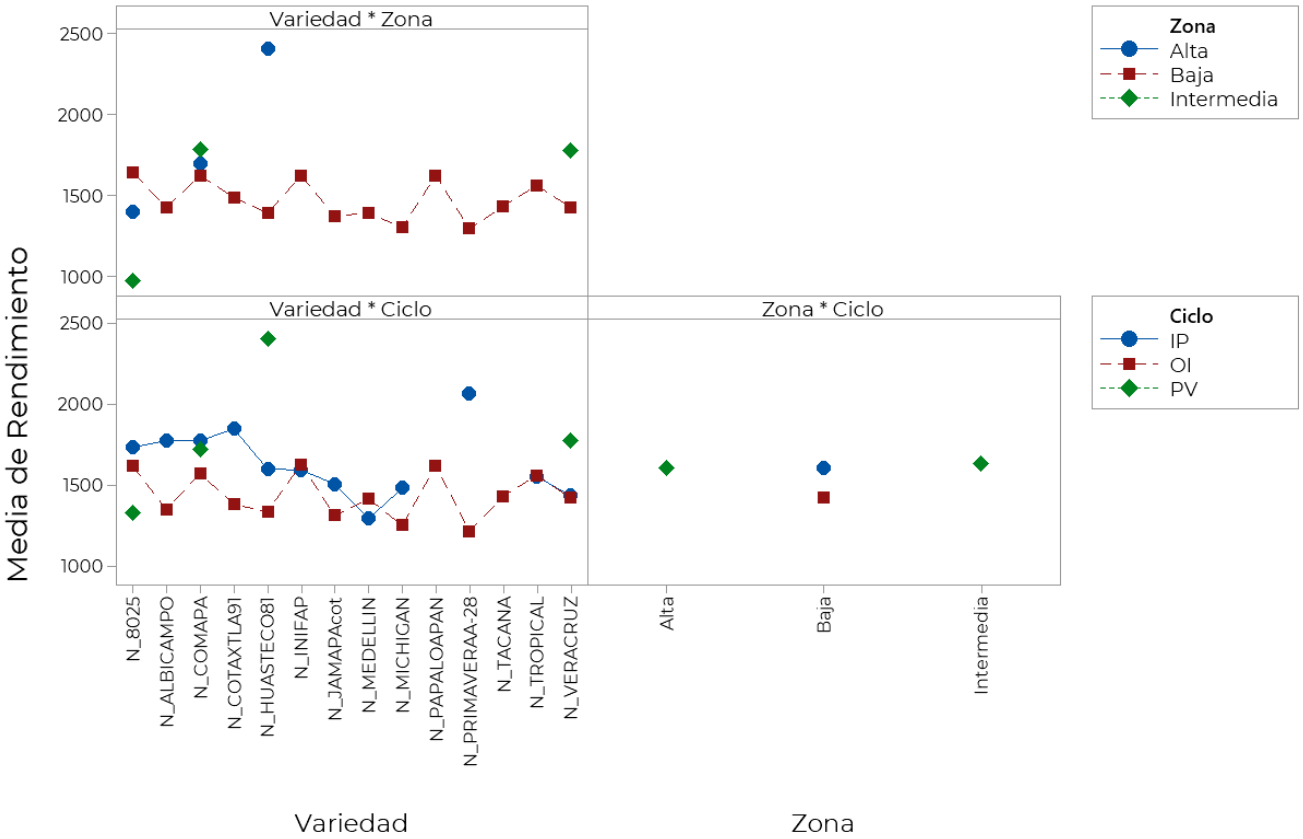


Figura 3. Patrón de variación de rendimientos de las diferentes variedades de frijol por ciclo y zona altitudinal.

Conclusiones

El grupo de variedades de frijol presentaron plasticidad agroclimática para ser sembradas en la región Golfo Centro de México, por su buen comportamiento productivo superior al rendimiento regional.

Agradecimientos

Al INIFAP por el financiamiento del proyecto Innovación y transferencia de variedades de frijol modalidad municipal, para incrementar productividad, rentabilidad y abasto, para los productores de las cuencas hidrológicas del Golfo México 2020-22.

Literatura Citada

Guajardo, P. R. A. 2015. Delimitación de zonas vulnerables para el cultivo de maíz y frijol de temporal bajo escenarios de cambio climático mediante la cuantificación de riesgo hidrológico en el estado de Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 112 p.

López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S., J. R. Rodríguez R., F. J Ugalde A., A. Morales R. *et al*. 2010. Negro Comapa, nueva variedad de frijol para el estado de Veracruz. Rev. Mexicana Cien. Agríc. 1(5):715-721.

Sánchez, C. I., M. A. Velázquez V., E. Catalán V., M. A. Inzunza I., G. Esquivel A., P. Bueno, H. *et al*. 2013. Modelo de balance hídrico como apoyo a toma de decisiones en zonas agrícolas bajo incertidumbre climática. México. INIFAP. 53 p.

Sánchez, C. I., G. Díaz P., M. T. Cavazos P., G. R. Granados R. y E. R. Gómez. 2011. Elementos para entender el cambio climático y sus impactos. México. Porrua. 167 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. SAGARPA. México, D. F. http://www.siap.sagarpa.gob.mx [consultado el 15 de junio de 2022].

Ugalde, A. F. J., O. H. Tosquy V., E. López S., A. Morales R., E. Luna G., E. J. Xocua P. *et al*. 2010. Respuesta productiva de variedades de frijol en la región de Las Altas Montañas del centro de Veracruz. *In*: Memoria de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola Campeche 2010. Campeche, Camp., México. Noviembre 2010. p. 49.

Ugalde, A. F. J., O. H. Tosquy V., E. López S., A. J. Acosta, G., E. J. Rodríguez E., J. Romero M. *et al*. 2012. Validación de variedades de frijol negro de clima tropical y templado en Acultzingo, Veracruz, México. *In*: Memoria de la LVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. PCCMCA. Panamá, Panamá. Abril 2012. p. 77.

Ugalde, A. F. J., E. López S., J. A. Acosta G. y S. Vela L. 2014. Productividad cronológica de las variedades de Frijol negro del INIFAP para las regiones tropicales y templadas de Veracruz. *In*: Memoria de la XXVII Reunión Científica y Tecnológica forestal y agropecuaria Veracruz 2014. Orizaba, Ver., México. Octubre 2014. p. 22.

DETERMINACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) A PARTIR DE Kc DE CULTIVO

Antonio Martínez Ruiz[1], Genaro Pérez Jiménez[1], Cándido Mendoza Pérez[2*], Agustín Ruiz García[3], J. Víctor Prado Hernández[3] y Julio Torres Sandoval[4]

Resumen

En esta investigación se determinó los Kc del cultivo de jitomate por etapas fenológicas, para un cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico en invernadero y se calculó a partir de esta información el requerimiento de agua para este cultivo durante los días de duración de cada etapa de desarrollo. Se estableció un ensayo experimental en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo. Se cultivó jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), de crecimiento indeterminado, cultivar "CID F1", en el ciclo de primavera-verano. El sistema de producción fue un sistema hidropónico, en el que se empleó como sustrato tezontle (roca volcánica), en bolsas con volumen de 10 litros de capacidad (35 x 35 cm) a una densidad de 3.5 plantas/m. Se aplicó la solución universal de Steiner como solución nutritiva, Se midió la evapotranspiración real (ETc) del cultivo mediante un lisímetro de pesada con una balanza Sartorius modelo QA de capacidad máxima de 120 kg y precisión de ±5 g. y la evapotranspiración de referencia (ETo) se determinó con el modelo de Baille, para ello se necesitó de las mediciones de las variables climáticas tales como la temperatura del aire, humedad relativa y radiación dólar global. Se encontró que la estimación del consumo hídrico aplicando el concepto de Kc, es un método bastante preciso, siempre y cuando el modelo para el cálculo de la ETo y el método para medir la ETc sean los más precisos posibles. Y que el mayor consumo se dio en la etapa de plena producción de 1.070 L/pl/d(Kc = 1.053).

Palabras clave: uso consuntivo, evapotranspiración de referencia, coeficiente de cultivo, transpiración potencial

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CE-San Martinito
[2] Colegio de Postgraduados, Postgrado de Hidrociencias *autor de correspondencia: mendoza.candido@colpos.mx
[3] Universidad Autónoma Chapingo
[4] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CEVAMEX

Introducción

El desequilibrio actual entre la oferta y la demanda de agua en la agricultura ha impulsado la búsqueda de nuevos equilibrios mediante la adopción modernas tecnológicas y herramientas de gestión para optimizar el uso del agua en el riego (Pereira *et al*., 2009; Pereira, 2017; Jovanovic *et al*., 2020). Reducir la vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático y los riesgos asociados a la seguridad alimentaria requiere de un manejo del agua integral y sustentable. Incluyendo la adaptabilidad de los sistemas de cultivos y prácticas de manejo adoptando un uso eficiente del agua de precipitación y de riego. La necesidad de tales prácticas del manejo sustentable del agua es particularmente critico considerando el incremento de la población mundial y la limitada disponibilidad de este recurso natural, en especial en áreas agrícolas vulnerables con escases de agua de gran importancia (Smith, 2000; Pereira, 2017).

El tomate es la principal hortaliza cultivada tanto a cielo abierto como en invernadero en todo el mundo. Uno de los principales problemas en la producción de este cultivo en México es la escasa información sobre sus requerimientos de riego, en consecuencia, la calendarización del riego es empírica (Flores *et al*., 2007). En esta investigación se determinó el Kc del cultivo de jitomate por etapas fenológicas, para un cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) hidropónico en invernadero y se calculó a partir de esta información el requerimiento de agua para este cultivo durante los días de duración de cada etapa de desarrollo.

Materiales y Métodos

Datos del cultivo

Se estableció un ensayo experimental en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo en los terrenos de la estación meteorológica del departamento de ingeniería en irrigación cuyas coordenadas son: 19° 29' LN, 98° 53' LO y 2240 m. Se cultivó jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), de crecimiento indeterminado, cultivar “CID F1”, en el ciclo de primavera-verano. El trasplante se realizó el 24 de abril de 2016, en un invernadero de plástico con ventilación natural, con ventilas cenitales y laterales, de dimensiones de 8 m de ancho y

15 m de largo. El sistema de producción fue un sistema hidropónico, en el que se empleó como sustrato tezontle (roca volcánica), en bolsas con volumen de 10 L de capacidad (35 x 35 cm) a una densidad de 3.5 plantas/m, con un arreglo topológico a marco real.

Manejo del riego y nutrición

En la fase de plántula se regaron con una solución nutritiva al 50% de la solución universal de Steiner (Pineda-Pineda *et al*., 2009), después de la emergencia se utilizó al 100% de la solución. Dándose 12 riegos diarios de manera constante hasta finalizar el ciclo del cultivo, únicamente variándose el tiempo de riego a medida que fue avanzando el crecimiento y desarrollo del cultivo, iniciando con riegos de un minuto en la primera etapa vegetativa del cultivo, aumentando a dos minutos al iniciar la etapa reproductiva, tres minutos a inicios de cosecha y cuatro minutos de riego en plena cosecha, reduciendo el tiempo de riego en un minuto cada vez que se realizó la labor cultural de poda de hojas. Es importante mencionar que el procedimiento para ir variando el tiempo de riego se auxilió de un lisímetro de pesada, conectada a una computadora, además de la evaluación de los valores de drenajes diarios. Se instaló un sistema de riego por goteo automatizado, con un tinaco de 5 m^3 de capacidad en donde se realizó la mezcla de los fertilizantes y los ácidos para regular el valor de pH a 6.5. Las mangueras de riego utilizado fueron de 16 mm con goteros de 8 L/h con adaptadores de cuatro salidas, cada una de estas salidas con su respectivo tubín y estaca colocados en cada maceta suministrando un caudal de 2 L/h a cada bolsa. La solución de Steiner (Pineda-Pineda *et al*., 2009) consiste en las siguientes concentraciones: $NO3^{-}$:168, H_2PO^{4-}:45, K^{+}:292.5, Ca^{2+}:180, Mg^{2+}:48.6: $SO4^{2-}$:224 y concentración de micronutrimentos (mg/L): Fe^{2+}:2, Mn^{2+}:1, Zn^{2+}: 0.2, Cu^{2+}:0.1. Se empleó un diseño experimental aleatorio en bloques con tres repeticiones.

Medición de la transpiración real del cultivo (ETc)

Para la medición de la transpiración se instaló un lisímetro de pesada en el que se utilizó una balanza electrónica (Sánchez *et al., 2011*). La balanza se instaló en el centro del invernadero considerado como el área representativa del cultivo, el tipo de balanza utilizado fue Sartorius modelo QA de capacidad máxima de 120 kg y precisión de ±5 g. Se diseño un sistema de soporte para aislar las plantas evaluadas del sistema de tutor en general dentro del invernadero. El lisímetro se conectó a una computadora de escritorio en el que se almacenaron

los datos cada minuto. La siguiente expresión se aplicó para obtener los valores de transpiración (Ecuación 1).

$$ETc = \frac{1}{\Delta t}\left[\frac{P_S(t)-P_S(t+\Delta t)}{S}\right] * \frac{d}{Np} \quad (1)$$

Donde: Δt = intervalo de tiempo (min); $P_S(t+\Delta t)$ y $P_S(t)$ representan las masas (kg) registradas entre dos intervalos sucesivos de tiempo (t) y S es la superficie equivalente de invernadero (m^2) correspondiente a las plantas situadas sobre la balanza, que será la relación entre el número de plantas (Np), situadas sobre la balanza y su densidad de plantación d = 2.6.

Determinación de la evapotranspiración de referencia (ETo)

Para calcular la ETo se calibró el modelo matemático de Baille (Baille *et al*., 1994), el cual es una simplificación de la ecuación de Penman-Monteith (Goudriaan y van Laar, 1994; Monteith y Unsworth, 2008). Esta ecuación ha sido aplicada por Baille *et al*. (1994); Sánchez *et al*. (2008); Jolliet and Bailey (1992) para cultivos en invernaderos y se describe como sigue:

$$ETo = A \times (1 - exp(-kLAI \times Rg + LAI * VPD * B_{(d,n)} \quad (1)$$

Donde: ETc = tasa de evapotranspiración del cultivo expresados unidades de g m^{-2} h^{-1}; Rg= radiación solar incidente [W m^{-2}]; Da= déficit de presión de vapor [kPa]; IAF= índice de área foliar [m^2/m^2]; (A, adimensional; Bd y Bn, [$W/m^2/kPa$]). El parámetro A se refiere al término radiativo y B al término aerodinámico (o término advectivo). Por lo tanto, A y B también se les conocen coeficiente de radiación y coeficiente aerodinámico, respectivamente.

Para efecto de aplicación del modelo se instaló una estación meteorológica dentro del invernadero donde se midió la radiación solar global con un pyranómetro modelo S-LIB-M003 (HOBO, Onset Corporation), este se colocó a 3 m sobre el cultivo. Los datos se almacenaron cada minuto en un dataloger U-30-NRC (HOBO). Estos valores se integraron a nivel diario para ser utilizado en el análisis de la transpiración del cultivo.

Cálculo del Kc del cultivo de jitomate

El Kc de cultivo representa una integración de los efectos de tres características primarias que distinguen al cultivo de referencia: altura de cultivo (afecta a la rugosidad y la resistencia aerodinámica), resistencias de cultivo-suelo (relacionado al área foliar, fracción de cobertura del cultivo, edad de las hojas, condición del control del frado de apertura estomática y la humedad del suelo) y el albedo de la superficie del cultivo-suelo (influenciado por el la fracción

de cobertura y la humedad de suelo y el cultivo) , se define este coeficiente como: la relación entre la evapotranspiración potencial (ETc) y la evapotranspiración de referencia (ETo).

$K_c = ET_c/ET_o$ (2)

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestra la variación temporal del Kc del cultivo de jitomate de crecimiento indeterminado *cv*. "*CID F1*", desarrollado en un sistema hidropónico.

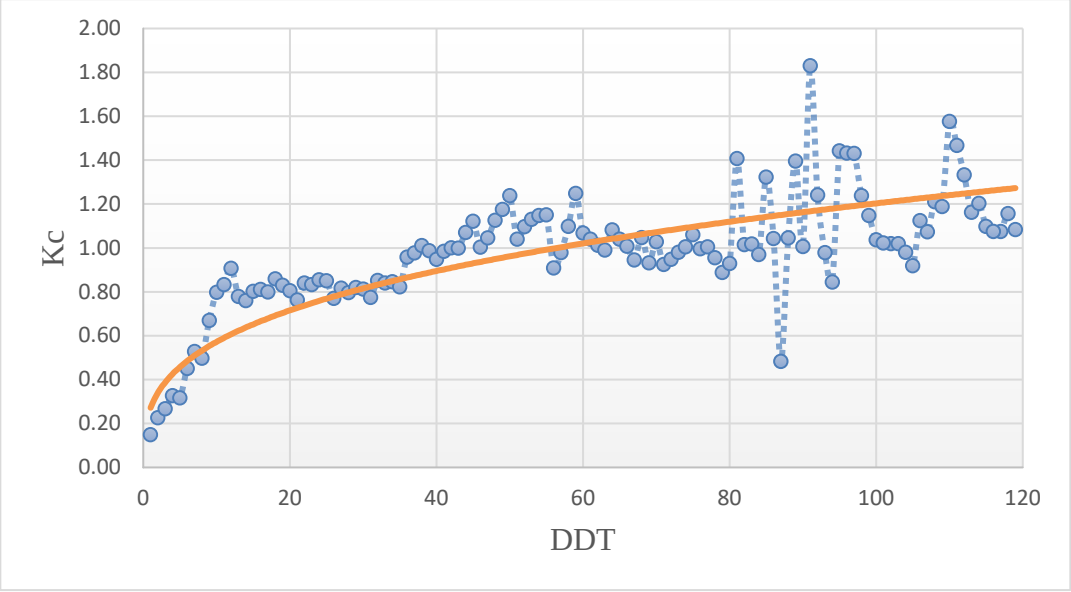


Figura 1. Evolución del Kc del cultivo de jitomate a lo largo del ciclo de cultivo.

En donde se observa que en los primeros 10 DAT que corresponde a la etapa de inicio, se obtiene un Kc de 0.5 a medida que el cultivo se desarrolla este coeficiente de cultivo también incrementa esta debido al incremento de la absorción de agua dada por el proceso de transpiración. A los 20 DDT cuando inicia la etapa vegetativa el valor de Kc incrementa a 0.8, hasta alcanzar un valor ligeramente superior a 1 el cual coincide con el máximo desarrollo del cultivo. Después de esa etapa de plena cosecha, por razones relacionadas a la incidencia de plagas y enfermedades, manejo agronómico tales como la poda de hojas, despunte, bajado de plantas, el régimen transpirativo de la planta tiene a disminuir, y con ello también el valor

de su coeficiente de cultivo se ve disminuido. Rodríguez and Pire (2008) encontraron un valor superior para la etapa inicial (Kc = 0.64), para la etapa de fructificación un valor de Kc de 1.30 ligeramente arriba del valor encontrado en esta investigación. No obstante, para la etapa de fin del cultivo los valores que estos autores encontraron son muy parecidos (Kc = 0.7) para el cultivo de jitomate.

La importancia de determinar el consumo hídrico de este cultivo por etapas de desarrollo es que ayuda de manera significativa en el manejo adecuado y oportuno del riego, con ello se puede proveer de manera eficiente los volúmenes de riego acorde a las necesidades del jitomate. Para tal efecto se calculó un valor promedio de Kc para cada etapa fenológica y con el cálculo de la Evapotranspiración de referencia (ETo) con el modelo de Baille se realizaron las determinaciones del volumen consumido de agua (Cuadro 1).

Los mayores volúmenes de agua absorbidos por el cultivo corresponden a la etapa de plena fructificación, aunque este incremento se inicia a partir de la etapa del cuajado y amarre de los frutos. Los valores de consumo de agua por etapa coinciden con los que reportan Flores *et al.* (2007) para un cultivo de jitomate, quienes para la etapa inicial reportan un consumo de 0.55 L/planta/día, etapa de desarrollo de 0.92 L/planta/día, para producción de 1 L/planta/día y al final de cultivo de 0.81 L/planta/día. Del mismo modo, Cándido *et al*. (2018) valuó un cultivo de jitomate hidropónico y encontró un valor de 0.27 mm/día para la etapa inicial, y 1.35, 2.94, 3.24 y 2.64 mm/día, para la etapa vegetativa, amarre o cuajado de frutos, fructificación, y final de cultivo, valores parecidos a los encontrados en esta investigación.

Cuadro 1. Determinación del consumo hídrico de jitomate por etapa fenológica a partir de Kc del cultivo.

Etapa fenológica	Duración de la etapa	ETc (mm)	ETo (mm)	kc	Necesidad de riego (mm/día)	Necesidad de riego (L/ha/día)	Requerimiento de riego diario (L/Planta)
Inicio	12	3.20	6.34	0.505	0.27	2669.0	0.076
Vegetativa	20	25.63	31.44	0.815	1.28	12817.4	0.366
Cuajado y amarre de frutos	28	77.75	75.22	1.034	2.78	27769.4	0.793
fructificación	35	131.08	124.49	1.053	3.75	37450.5	1.070
cosecha	25	67.18	58.32	1.152	2.69	26871.4	0.768

Conclusiones

La estimación del uso consuntivo del cultivo de jitomate cultivado en sistemas intensivos, resulta preciso al utilizar el concepto de coeficientes de crecimiento del cultivo (Kc), siempre y cuando el modelo para la predicción de la evapotranspiración de referencia se calibre de manera acertada, y que al mismo tiempo los valores de la evapotranspiración real del cultivo, se mida con la ayuda de un lisímetro de pesada, esto con el fin de tener la suficiente confianza que los Kc estimados son los correctos y que corresponden a las etapas fenológicas en evaluación.

La importancia de conocer la demanda hídrica del cultivo de jitomate ayuda a sincronizar la demanda de nutrimentos, ya que como se sabe el suministro de los fertilizantes al cultivo se realiza a través de una solución nutritiva que se expresa con base a unidades de concentración referidos a gramos de cada elemento suministrado por litro de agua que consume el cultivo. Por otra parte, el conocimiento de la demanda de agua por el cultivo ayuda a la toma de decisiones en el diseño y manejo de los sistemas de riego.

Literatura Citada

Baille, B., Baille, A. and Claude L. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs climate factors and leaf area. Scientia Horticulturae 59:217-232.

Flores, J., Ojeda-Bustamante, W., López, I., Rojano, A., and Salazar, I. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoamericana*, *25*(2):127-134.

Goudriaan, J. and van Laar, H. H. 1994. Modeling potential crop growth processes. Textbook with exercises. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 238 pp.

Jolliet, O. and Bailey, B. J. 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. Agric. For. Meteorol. 58:43-62.

Jovanovic, N., Pereira, L.S., Paredes, P., Pocas, I., Cantore, V., and Todorovic, M. 2020. Methods, technologies and devices to reduce non-beneficial consumptive water use on farms with focus on the use of updated FAO56 methods. Agric. Water Manage. 239, 106267.

Monteith, J. L. and Unsworth, M. H. 2008. Principles of environmental physics. Third edition. Academic Press. Amsterdam. 414 pp.

Pereira, L.S., 2017. Water, agriculture and food: challenges and issues. Water Res. Manage. 31(10):2985–2999.

Pereira, L.S., Cordery, I. and Iacovides, I. 2009. Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges. Springer, Dordrecht, The Netherlands 382 pp.

Pineda-Pineda, J., Ramírez-Arias, A., Sánchez del Castillo, F., Castillo-Gonzáles, A.M., Valdez-Aguilar, L.A., and Vargas-Canales, J.M. 2009. Extraction and nutrient efficiency during the vegetative growth of tomato under hydroponics conditions. In International Symposium on High Technology for Greenhouse Systems: GreenSys2009, 893(p. 997-1005).

Rodríguez, R., and Pire, R. 2008. Evapotranspiración diaria del tomate determinada mediante un lisímetro de pesada. Agronomía Tropical. 58(1):73-76.

Sánchez, J. A.; Rodríguez, F.; Guzmán, J. L. and Berenguel, M. 2011. Modelling of tomato crop transpiration dynamics. Acta Hortic. 893:729-738.

Sánchez, J. A. 2008. Modelado de la transpiración de un cultivo de tomate bajo invernadero para el diseño de sistemas de control de riego. In: XXIX Jornadas de Automática. Tarragona, España. 8 p.

Smith, M., 2000. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. Agric. Forest Meteorol. 103:99-108.

TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES A PARTIR DE COAGULANTES NATURALES EN MARTÍNEZ DE LA TORRE

Miguel Ángel López Ramírez[1*]

Resumen

El crecimiento poblacional y la generación respecto a los volúmenes de aguas residuales ha aumentado en los últimos años particularmente en las zonas urbanas, debido a esto se ha provocado un mal manejo en el tratamiento de estas aguas, sobre todo en los procesos unitarios a los que son sometidos están provocando serias alteraciones ambientales por la generación de los subproductos obtenidos, siendo la coagulación/floculación y sedimentación uno de los principales generadores de lodos tóxicos, ya que las partículas presentes en el agua se pasan por el tratamiento primario, el cual es el más utilizado para la remoción de partículas contaminantes presentes en aguas con altos niveles de turbiedad, donde típicamente se utilizan sales anhidras como son el sulfato de aluminio y el sulfato de hierro, sales que ocasionan enfermedades cancerígenas y contaminación ambiental al no ser suministradas de manera adecuada, ocasionando una acidificación en el pH del agua tratada lo cual obliga a ocupar cantidades mayores de basificadores (compuestos químicos como NaOH en solución concentrada) para la estabilización de ésta. Derivado de lo anteriormente expuesto, se hace necesaria la búsqueda de tratamientos alternativos que puedan brindar efectos similares o superiores a los tratamientos químicos, siendo los coagulantes naturales de origen vegetal una opción viable como sustituto. En la presente investigación se realizaron estudios con respecto a la eliminación de turbidez utilizando *Moringa oleífera* y *Aloe vera* en agua residual; dichas pruebas se realizaron con una agitación de 120 rpm durante 5 min e inmediatamente se redujo a 60 rpm durante 10 min, utilizando un tiempo de reposo de 1 h. Se analizaron los resultados y se obtuvieron reducciones de turbidez cercanos al 70% de eficiencia, utilizando una

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. *malopez@tecmartinez.edu.mx

concentración de 300 mg/L de *Moringa oleífera* y al 60% de *Aloe vera,* utilizando 600 mg/L; ambos tratamientos no necesitaron pretratamiento o postratamiento con respecto al pH.

Palabras clave: turbidez, contaminación ambiental, tratamientos alternativos

Introducción

Uno de los principales problemas a nivel mundial es la escasez de agua; esto derivado del crecimiento poblacional desmedido y a la cultura de consumismo excesivo, siendo este último el que ocasiona uno de los principales riesgos al ecosistema derivado de la generación de aguas residuales en el manejo, control y cambio de activos dentro de la generación de productos y servicios, de tal manera que, una disposición de estos efluentes sin tratamiento en corrientes superficiales como lagos, ríos y océanos, causan contaminación que afecta tanto a la vegetación y la fauna, como a la salud humana; de hecho representan un foco de infección por contener una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas, elementos biológicos, compuestos inorgánicos tóxicos y metales pesados (Kumar *et al*., 2017).

Asimismo, también los cuerpos de agua se contaminan por el manejo inadecuado de herbicidas, pesticidas, fertilizantes, estiércol de animales, eliminación inadecuada de la basura, siendo esta una problemática que ha influido de manera significativa en muchos sectores de la población (Lara *et al.*, 2017). Además, otra de las consecuencias que se encuentran asociadas a la contaminación de los recursos hídricos es el vertimiento de aguas servidas a causa de las actividades del sector primario como la ganadería, agricultura, la minería y la industria textil (Cusiche-Pérez y Miranda-Zambrano, 2019) y también debido a las actividades urbanas en el desarrollo de la vida humana, modificando las características fisicoquímicas de las aguas residuales generadas (Cuadro 1). No obstante, las aguas pueden ser tratadas mediante procesos de coagulación/floculación y sedimentación para la remoción de material suspendido o coloidal. Sin embargo, esto conlleva al aditamento de más sustancias químicas al efluente, para así lograr la remoción de turbidez, la cual es un indicador de la presencia de los sólidos en el agua (Kakoi *et al*., 2016), los cuales, a pesar de ser usados para los

tratamientos típicos, generan monómeros residuales que son neurotóxicos y carcinógenos (Ramírez-Arcila y Jaramillo, 2015), además de alterar las propiedades fisicoquímicas.

Cuadro 1. Composición típica fisicoquímica de aguas residuales.

Contaminante	Unidad	Valor Promedio
Sólidos totales	Mg/L	0-700
Sólidos suspendidos totales	Mg/L	0-210
Demanda química de oxígeno	Mg/L	0-500
Nitrógeno total	Mg/L	0-35
Nitrógeno orgánico	Mg/L	0-13
Nitrógeno amoniacal libre	Mg/L	0-22
Nitratos	Mg/L	0
Nitritos	Mg/L	0
Fósforo total	Mg/L	0-7
Fósforo orgánico	Mg/L	0-5
Fósforo inorgánico	Mg/L	0-5
Coliformes fecales	NMP/100 mL	10^7
Huevos de helmitos	Número de organismos	10^2

Fuente: López-Ramírez *et al.* (2021).

Una de las opciones consideradas para poder alcanzar altos niveles de calidad del agua tratada y desempeño del proceso es el uso de los coagulantes alternativos que han surgido en las últimas décadas en varios países latinoamericanos; se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies “vegetales o animales nativos” (Jaramillo y Ramírez, 2015), como alternativa a los coagulantes convencionales utilizados. En investigaciones realizadas para agua cruda de los ríos Kadahokwa y Rwamamba, localizados en el sector Tumba, distrito de Huye, provincia del sur de Ruanda, reportaron reducciones del 95, 99 y 99.8% para turbidez de 50, 250 y 450 NTU, respectivamente. También se encontraron reducciones de color por encima del 90% para las muestras tomadas (Nkurunziza *et al*., 2009). Resultados similares fueron hallados para agua cruda de un arroyo turbio, en Malasia, en una planta a escala piloto, utilizando la Moringa oleífera como coagulante, y se lograron reducciones de turbiedades entre 21 y 202 NTU a valores entre 1.9 y 4.3 UNT (Muyibi y Alfugara, 2003).

Es por ello que en esta investigación se propuso investigar la eficiencia de los coagulantes naturales *Moringa oleífera* y *Aloe vera*, para el tratamiento de las aguas residuales originadas en Martínez de la Torre, Veracruz en el proceso de coagulación - floculación, derivado a que numerosas investigaciones han reportado muchas ventajas, ya que en contraste con los coagulantes químicos, los coagulantes naturales a base de plantas son seguros (Asrafuzzaman *et al*., 2011), eco-amigables con el medio ambiente y generalmente libre de tóxicos.

Materiales y Métodos

Ubicación

La experimentación se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre (Figura 1) se encuentra ubicado en las coordenadas 20.0542, -97.0300, en el municipio de Martínez de la Torre, ubicado entre aproximadamente a 730 m de la carretera a Banderilla y 230 m del río Filobobos, exactamente en el Laboratorio de Ciencias Básicas.



Figura 1. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre.

Experimentación

Se realizó la prueba de jarras por triplicado con el equipo marca Griffin probando distintas proporciones (30, 60 y 90% m/v) de los coagulantes *Moringa oleífera* y *Aloe vera* en un tiempo

de 15 min, distribuidos en 5 min a una velocidad de 120 rpm y el resto a 60 rpm, para el crecimiento de flóculos en muestras a 1 L.

Después de los resultados obtenidos se procedió a realizar la medición de parámetros como pH y conductividad con un multiparámetro marca Conductronic y medición de turbidez con el equipo Hatch 2100AN.

Obtención del coagulante natural

Se obtuvieron las semillas de *Moringa oleífera,* las cuales se secaron mediante un horno de secado de convección forzada marca OVEN durante 48 h a peso constante, se retiró la cáscara y posteriormente se trituró de manera manual, usando un mortero de porcelana y tamizado a 1 mm.

La extracción del gel de Aloe Vera se obtuvo separando el gel obtenido de su corteza, para luego ser cortado en trozos pequeños, con un colador se separó el líquido del solido que se tenía el Aloe vera, para así obtener el líquido que actúa como coagulante natural para las aguas residuales urbanas a analizar, ya que el líquido del Aloe actuara como clarificador.

Para la determinación de los análisis estadísticos se aplicó la prueba de separación de medias de Tukey al 95% de confianza.

Resultados y Discusión

De los muestreos realizados durante los meses de febrero – mayo y las pruebas realizadas, se obtuvieron los siguientes los resultados de la caracterización de las aguas residuales (Cuadro 2).

pH: valor mínimo: 7.8; valor máximo: 7.9; promedio: 7.87

Conductividad (ms/cm): valor mínimo: 561; valor máximo: 766; promedio: 661.16

Turbidez (NTU): valor mínimo: 5; valor máximo: 14; promedio: 7.80

Sólidos disueltos totales (mg/L): valor mínimo: 63.30; valor máximo: 134.7; promedio: 100.10

Una vez caracterizadas las aguas residuales, se procedió a la prueba de jarras para realizar los tratamientos de coagulación-floculación con el sulfato de hierro a distintas proporciones (30, 60 y 90% m/v), de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 2. Remoción de Turbidez a partir de coagulantes naturales.

Tratamiento	Concentración (mg/L)	pH antes	pH después	Conductividad antes (mS/cm)	Conductividad después (mS/cm)	Remoción Turbidez (%)
Moringa oleífera	300	7.6	7.3	642	651	69.23
	300	7.6	7.6	642	642	69.61
	300	7.6	7.5	648	659	76.68
	600	7.7	7.7	702	731	28.79
	600	7.7	7.3	697	702	58.70
	600	7.7	7.1	700	704	31.44
	900	7.7	7.1	691	714	-45.80
	900	7.7	7.3	693	708	-74.79
	900	7.6	7.4	693	714	-73.30
Aloe vera	300	7.6	7.6	589	606	39.51
	300	7.5	7.5	600	595	40.70
	300	7.4	7.4	608	602	53.07
	600	7.5	7.3	589	585	55.15
	600	7.4	7.3	587	589	57.10
	600	7.5	7.4	582	585	58.02
	900	7.3	7.4	589	593	19.88
	900	7.3	7.3	597	591	18.24
	900	7.3	7.4	595	591	22.36

Una vez que se realizó la experimentación se procedió a analizar si los datos recabados, con respecto a la diferencia de turbidez, como valor respuesta (Figura 2).

Una vez que se analizaron los residuos y al observar que se cumplen con las condiciones para realizar la prueba de Tukey al 95% se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se muestran en la Figura 3.

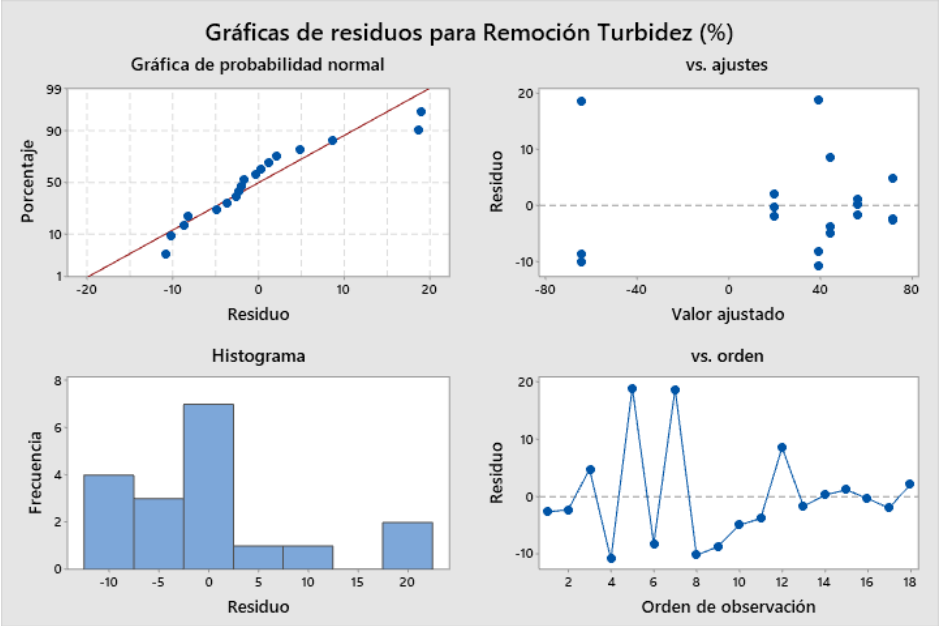


Figura 2. Gráfica de residuos de eficiencia de *Aloe vera* vs turbidez.

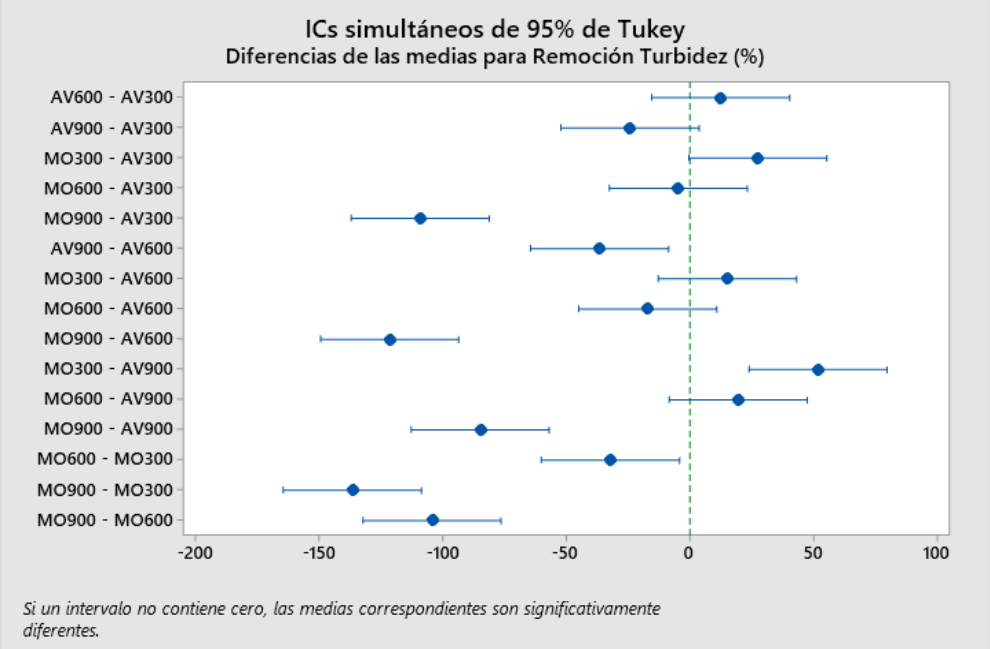


Figura 3. Prueba de comparación de medias de Tukey en remoción de turbidez.

Estrada *et al.* (2014) mencionan que en su investigación, utilizando aguas residuales industriales los procesos de coagulación con coagulantes naturales no varían el pH antes y después en el proceso, siendo similares a nuestros resultados, pero con aguas residuales por

lo que, este parámetro se muestra estable; sin embargo, mencionan que para las sales de hierro y aluminio ocupadas como tratamiento, es necesario adicionar grandes cantidades de estabilizadores de pH en el proceso de tratamiento del agua residual, para establecer los valores permisibles de su normativa.

Con respecto a la reducción del parámetro de la turbidez con la *Moringa oleífera,* Melo y Turriago (2012), ocuparon dicha semilla como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales de su región. Para ello, manejaron dosificaciones de 300 mg/L del coagulante para las muestras de agua tomadas obteniendo resultados del 84.3% de remoción de turbidez como resultados máximos; en el presente trabajo se realizó a distintas concentraciones, obteniendo como mejor tratamiento el de la dosis de 300 mg/L, mismo que el utilizado por Melo y Turriago, debido a la facilidad de disolución del soluto en el solvente a temperatura ambiente. Con respecto al uso de *Aloe vera*, Villabona-Ortiz *et al.* (2013) obtuvieron valores similares con respecto a esta investigación 54 y 72% en turbidez.

Conclusiones

1. Las dosis óptimas de los coagulantes naturales utilizados en la presente investigación fueron: *Moringa Oleífera* 300 mg/L y *Aloe vera* 600 mg/L; ambos resultados muestran la misma eficiencia de remoción estadística. 2. A pesar de que la *Moringa Oleífera* demostró ser un poco más eficiente se observó que cambia ligeramente el pH del agua 0.1 unidades, mientras que el uso del *Aloe vera c*omo coagulante, no perturba este parámetro; sin embargo, resulta ser un poco menos eficaz. 3. Otra comparativa es con respecto a la turbidez; se observa en la adición excesiva del coagulante en polvo de *Moringa oleífera,* causando un aumento en la turbidez en el agua residual, provocando que dicho coagulante sea ineficiente en la reducción de éste. Sin embargo, el uso de *Aloe vera* en las mismas concentraciones no demostró un aumento del parámetro. 4. En general el uso de coagulantes naturales permite una remoción tanto de turbiedad como de color en el agua residual a tratar.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto con clave 13554.22-PD, al Departamento de Posgrado e Investigación, a la Academia de Ingeniería Ambiental, a los alumnos de la carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, al Instituto Tecnológico de Boca del Río y al Instituto Tecnológico de Veracruz, ya que, gracias a ello, el proyecto se pudo realizar en esta primera fase de análisis.

Literatura Citada

Asrafuzzaman, M., A. N. M. Fakhruddin and A. Hossain. 2011. Reduction of turbidity of water using locally available natural. International Scholarly Research Network 2011:1-6.

Cusiche-Pérez, L. F. y G. A. Miranda-Zambrano. 2019. Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 10(6):1433-1447.

Estrada, T. A. M., J. J. Feria D. y S. Bermúdez R. 2014. Eficiencia de la semilla *Moringa oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del rio Sinú. Producción + limpia 9(1):9-22.

Jaramillo, J. y H. Ramírez. 2015. Agents as natural alternative for water treatment. Revista Facultad de Ciencias Básicas 11:136-156.

Kakoi, B., J. W. Kaluli, P. Ndiba and G. Thiong'o. 2016. Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. Ecological Engineering 95: 699-705.

Kumar, V., N. Othman and S. Azharuddin. 2017. Applications of Natural Coagulants to Treat Wastewater-A Review. MATEC Web of Conferences. https://www.proquest.com/docview/2057191116?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true [consultado el 20 mayo de 2022].

Lara, K., I. Cruz e Y. Li. 2017. Estudio de la contaminación de flúor en el agua subterránea del acuífero de la Cuenca Alta del Rio Laja. Jóvenes en la Ciencia. Revista de Divulgación Científica. http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1243/869 [consultado el 4 de junio de 2022].

López-Ramírez, M. A., K. E. Ocaña-Drouaillet y C. Argüelles-López. 2021. Diseño de una laguna de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales en el ITS de Martínez de la Torre. Innovación y Desarrollo Tecnológico. Revista Digital 13(2):635-641.

Melo G. y F. Turriago. 2012. Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de *Moringa oleífera* como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño Cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Villavicencio. Colombia. 60 p.

Muyibi, S. A. y A. Alfugara. 2003. Treatment of surface water with *Moringa oleifera* seed extract and alum-a comparative study using a pilot scale water treatment plant. International Journal of Environmental Studies 60(6):617-626.

Nkurunziza, T., J. B. Nduwayezu, E. N. Banadda e I. Nhapi. 2009. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. Water Science and Technology 59(8):1551-1558.

Ramírez-Arcila, H. y J. Jaramillo P. 2015. Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. Revista Facultad de Ciencias Básicas 11(2):136-153.

Villabona-Ortiz, Á., I. C. Paz-Astudillo y J. Martínez García. 2013. Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. Revista Colombiana de Biotecnología 15(1):137-144.

RENDIMIENTO DE FORRAJE Y GRANO DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) TIPO *DESI* BAJO CONDICIONES DE RIEGO NORMAL Y LIMITADO

Raúl Avalos Castro[1*], Álvaro A. Ortega Ibarra[1] y Francisco H. Ruiz Espinoza[1]

Resumen

Se estimaron ocho índices de tolerancia al déficit de agua basados en el rendimiento de grano de ocho genotipos de garbanzo forrajero, con el objetivo de identificar el mejor índice y el mejor genotipo tolerante al déficit de agua. Los ocho índices de tolerancia comprenden el índice de tolerancia al estrés (STI), porcentaje de reducción (Red), el índice de tolerancia (TOL), el índice de susceptibilidad al estrés (SSI), la productividad media geométrica (GMP), la productividad media (MP), la media armónica (HARM) y el índice de estabilidad del rendimiento (YSI) se estimaron en función del rendimiento de grano en condiciones de disponibilidad de agua (Yp) y déficit (Ys). Los resultados del análisis para todos los índices de tolerancia a la sequía estudiados demostraron que GMP, MP, HAM y YSI fueron los mejores índices útiles para buscar genotipos tolerantes al déficit de agua. Además, tuvieron correlación positiva con Yp y, principalmente, con Ys. Los genotipos ICC-1273 y San Antonio 05 se consideraron tolerantes a sequía, mientras que los genotipos El Patrón e ICC-6671 como susceptibles a sequía. El genotipo ICC-10981 fue identificado como altamente susceptible al déficit de agua. Los genotipos estudiados mostraron variación considerable en el rendimiento y toleraron diversas condiciones de sequía, características que podrían aprovecharse como criterio en investigaciones posteriores.

Palabras clave: *Cicer arietinum* L., genotipos tolerantes, índices a sequía

[1] C.E. Todos Santos, CIRNO – INIFAP, 2UABCS – Departamento Académico de Agronomía. *Autor por correspondencia: avalos.raul@inifap.gob.mx

Introducción

La producción de granos juega un importante papel para suplir parte de los alimentos requeridos por el hombre, y las leguminosas entre otras especies son reconocidas por su influencia en el balance nutricional de la dieta (Flowers *et al*., 2010). Según estimaciones de la FAO, los cultivos bajo riego consumen más del 70% del agua a nivel mundial y para alcanzar a suministrar los alimentos y productos que demanda el crecimiento demográfico en el mundo, que cada año se incrementa en 90 millones de habitantes, el consumo de agua crecerá en un 40% hacia el año 2025 (FAO, 2015). El cultivo del garbanzo, ha ganado importancia debido a que es poco exigente al agua y puede cosecharse en condiciones de sequía severa (Shagarodsky, 2002).

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.), se clasifica dentro de la familia *Fabaceae* y se sitúa en la lista de leguminosas más cultivadas, después de la soya (*Glycine max*), el haba (*Vicia faba*), los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) y los chícharos o guisantes (*Pisum sativum*) (FAO, 2009). Los mayores productores del mundo son India, Turquía, Pakistán, Irán, México, Australia y Canadá, mientras que los principales exportadores son Turquía, Australia, Canadá, Irán y México (Tay, 2006). A pesar que el garbanzo es conocido por su mayor tolerancia a la sequía en comparación con otras leguminosas de grano, la sequía reduce su rendimiento y puede causar la falla total del cultivo (Turner *et al*., 2001). Uno de los principales atributos del garbanzo es la capacidad de su sistema radical para explorar el suelo en busca de humedad y lograr producción con menor cantidad de agua que otros cultivos. Esta característica es importante porque representa una oportunidad para el ahorro de agua de riego y para incluir al garbanzo en rotaciones agronómicas ventajosas (Guriqbal *et al*., 2016).

Las sequias recurrentes que se presentan en Baja California Sur limitan la disponibilidad de agua para riego, por ello, los productores requieren cultivos que demanden una baja cantidad de agua, con un alto rendimiento de materia seca y buena calidad. Una solución parcial, a la situación de la sequía, es la introducción de cultivos y variedades más tolerantes a este evento atmosférico, lo que implica conocer dicha tolerancia de forma precisa y consistente, y evaluar el mayor número de especies posibles (Matta, 2004). Por tal razón se desarrolló la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto del estrés hídrico sobre el rendimiento forrajero y de grano de ocho genotipos de garbanzo forrajero.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Sitio Experimental Valle de Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias localizado a 25° 00´ 36´´ LN, 111° 39´ 49´´ LO y a 48.3 m de altitud, en el municipio de Comondú, Baja California Sur, México. El clima es muy seco, la precipitación media anual es de 200 mm y la temperatura promedio de 22°C (CONAGUA, 2018). En general, los suelos son pobres en nitrógeno (N) total y potasio (K), pero ricos en fosforo (P); predominan valores de pH alcalinos (7.7 – 8.8) y conductividad eléctrica de 1.27 dS m^{-1} (López *et al.,* 2013).

Se evaluaron los genotipos de garbanzo forrajero El Patrón, Pénjamo, San Antonio 05 y Lerma, procedentes del Campo Experimental El Bajío, en Celaya Guanajuato y las líneas ICC-1273, ICC-3287, ICC-667 e ICC-10981 procedentes del ICRISAT en la India, con la cantidad de agua de riego recomendada por el INIFAP (riego normal) y limitado (50% menos). La siembra se realizó en diciembre durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2021 – 2022. El diseño utilizado fue bloques completos al azar y arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. La superficie de cada bloque fue de 102.4 m^2, donde cada genotipo se distribuyó de forma aleatoria en parcelas de 12.8 m^2, con tres repeticiones para riego normal y deficitario. La superficie total fue de 614.4 m^2. La siembra se realizó de forma manual a una densidad de 10 semillas por metro lineal y separación de 80 cm entre surcos.

El control de maleza se hizo con oxifluorfen a dosis de 240 g de i.a. ha^{-1} en pre siembra e incorporado al momento del riego. La semilla se trató con carboxim + tiram a dosis de 80 g por cada 100 kilogramos. Los riegos se aplicaron con cinta de goteo calibre seis milésimas y goteros separados a 20 cm, con una presión estimada de 11 psi. El riego final fue de 34 cm en el riego normal y de 16 cm en el riego limitado. Se fertilizó con la dosis 120 – 70 – 00 (NPK) con las fuentes de UAN 32® y ácido fosfórico. El N se fraccionó en partes iguales y se aplicó a los 15, 30 y 50 días después de la siembra; el P, a los 15 días después de la siembra. A los 130 días después de la siembra se tomaron muestras por tratamiento de una superficie de 2.4 m^2, las plantas se cortaron a nivel del suelo, en estas se determinó el rendimiento biológico de forraje (RB), rendimiento de grano (RG) y rendimiento de esquilmos (RE), en toneladas por hectárea (t ha^{-1}) de materia seca (MS). La trilla y limpieza del material se realizó en forma manual. El índice de cosecha (IC) se determinó mediante la fórmula (Kohashi *et al*., 1980):

IC= (producción de grano/rendimiento biológico) *100.

Análisis estadístico

Para considerar la relación de susceptibilidad o tolerancia de los genotipos al estrés hídrico y evaluar los criterios principales para los genotipos de garbanzo, se utilizaron ocho índices, como se describe a continuación:

El porcentaje de reducción (Red) y el índice de susceptibilidad a la sequía (SSI) fueron calculados por la formula sugerida por Fischer y Maurer (1978):

1.- Red = [(C – D) / D]*100

2.- SSI = [1 – (D/C)] / [1 – (Dm/Cm)]

Dónde:

D: rendimiento del genotipo en condiciones de riego limitado.

C: rendimiento del genotipo en condiciones normales de humedad.

Dm: media del rendimiento de todos los genotipos bajo condiciones de riego limitado.

Cm: media del rendimiento de todos los genotipos en condiciones normales de humedad.

Índice de tolerancia a sequía (STI) (Fernández, 1992):

3.- STI = (Yp * Ys) / Yp2

Índice de tolerancia (TOL) y la media productiva (MP) fueron calculados por las fórmulas sugeridas por Rosielle y Hamblin (1981):

4. - TOL = Yp - Ys

5. - MP = (Ys + Yp) / 2

La productividad media geométrica (GMP) y armónica (HARM) determinadas por la ecuación propuesta por Fernández, (1992):

6. - GMP = $\sqrt{(Ys * Yp)}$

7. - HARM = 2[(Yp * Ys) / (Yp + Ys)]

El índice de estabilidad del rendimiento (YSI) calculado mediante la fórmula (Bouslama y Schapaugh, 1984):

8.- YSI = (Ys/Yp) * 100

Dónde:

Ys: media del rendimiento en condiciones de riego limitado.

Yp: media del rendimiento en condiciones normales de humedad.

La comparación de media de tratamientos, coeficiente de correlación de *Pearson* entre índices de estrés y rendimientos de grano en condiciones de riego normal y limitado fue medida. Adicional a lo anterior, se llevó a cabo un análisis de conglomerados de los genotipos basado en el rendimiento en condiciones de estrés hídrico y sin estrés y considerando ocho índices de sequía utilizando el algoritmo de enlace promedio y la medida de la distancia euclidiana con el paquete estadístico SAS (2014).

Resultados y Discusión

Comparación de tratamientos

Se observó diferencia entre el riego normal y limitado para el rendimiento biológico, de grano y de esquilmos ($p < 0.05$), con rangos entre tratamientos de 44, 41 y 47%, respectivamente; el índice de cosecha, no presentó diferencias.

Para el riego limitado, el genotipo ICC-1273 presentó el mejor rendimiento biológico, de grano y esquimo ($p < 0.05$); los genotipos ICC-3287, Lerma, ICC-10981 y San Antonio 05 presentaron el mejor índice de cosecha.

Para el riego normal, no se observó diferencia del rendimiento biológico y de grano entre genotipos ($p < 0.05$); para el rendimiento de esquilmos, el genotipo El Patrón fue el mejor; para el índice de cosecha, el ICC-3287 presentó el mayor.

Cuadro 1. Comparación de medias de tratamiento entre genotipos de garbanzo forrajero.

Tratamiento	Genotipos	Rendimiento biológico	Rendimiento de grano	Rendimiento de esquilmo	Índice de cosecha
RL	El Patrón	6.94 ± 0.48^{ab}	1.93 ± 0.04^{b}	5.01 ± 0.51^{ab}	27.92 ± 2.33^{b}
	Pénjamo	6.73 ± 0.83^{ab}	2.28 ± 0.39^{ab}	4.46 ± 0.45^{ab}	33.70 ± 1.43^{ab}
	San Antonio	6.66 ± 0.72^{ab}	2.39 ± 0.19^{ab}	4.23 ± 0.61^{ab}	35.93 ± 1.07^{a}
	Lerma	6.94 ± 1.27^{ab}	2.59 ± 0.59^{ab}	4.29 ± 0.61^{ab}	37.14 ± 2.51^{a}
	ICC-1273	8.82 ± 2.84^{a}	2.86 ± 0.69^{a}	5.96 ± 2.24^{a}	33.05 ± 4.91^{ab}
	ICC-3287	6.49 ± 0.63^{ab}	2.58 ± 0.32^{ab}	3.84 ± 0.43^{b}	39.65 ± 2.29^{a}
	ICC-6671	6.59 ± 0.32^{ab}	1.79 ± 0.39^{b}	4.67 ± 0.55^{ab}	26.99 ± 5.26^{b}
	ICC-10981	6.32 ± 0.32^{b}	2.27 ± 0.26^{ab}	3.91 ± 0.19^{b}	36.00 ± 4.39^{a}

Continúa Cuadro 1…

Tratamiento	Genotipos	Rendimiento biológico	Rendimiento de grano	Rendimiento de esquilmo	Índice de cosecha
RN	El Patrón	13.05 ± 0.87^{a}	3.66 ± 0.42^{a}	9.40 ± 1.01^{a}	28.14 ± 3.79^{bc}
	Pénjamo	12.36 ± 0.12^{a}	4.08 ± 0.54^{a}	8.28 ± 0.66^{ab}	33.01 ± 4.65^{abc}
	San Antonio	12.01 ± 0.44^{a}	3.60 ± 1.16^{a}	8.41 ± 0.77^{ab}	29.76 ± 8.45^{abc}
	Lerma	12.57 ± 0.73^{a}	4.36 ± 0.39^{a}	8.21 ± 0.53^{ab}	34.70 ± 2.19^{ab}
	ICC-1273	11.73 ± 1.02^{a}	3.58 ± 0.45^{a}	8.16 ± 0.98^{ab}	30.56 ± 4.07^{abc}
	ICC-3287	11.82 ± 0.88^{a}	4.54 ± 0.42^{a}	7.61 ± 0.78^{b}	38.41 ± 1.16^{a}
	ICC-6671	12.15 ± 0.98^{a}	3.38 ± 0.50^{a}	8.77 ± 0.51^{ab}	25.52 ± 2.87^{c}
	ICC-10981	12.77 ± 1.42^{a}	4.34 ± 0.49^{a}	8.44 ± 1.05^{ab}	34.02 ± 2.26^{abc}
Media RL		6.93^{B}	2.34^{B}	4.54^{B}	33.80^{A}
Media RN		12.31^{A}	3.94^{A}	8.41^{A}	31.77^{A}
DET		- 5.38	- 1.60	- 3.87	2.03
DMS		1.72	0.69	1.08	2.74

^{abc}= diferentes literales entre filas indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$); RL= riego limitado; RN= riego normal; DET= diferencia entre tratamientos; DMS= diferencia mínima significativa.

La comparación del rendimiento de grano entre ambos tratamientos se utilizó para estimar los índices de tolerancia al déficit de agua (Cuadro 2) para cada genotipo. El mayor valor de rendimiento (Yp) se registró en los genotipos ICC-3287, Lerma, ICC-10981 y Pénjamo en condiciones sin estrés o riego normal, pero no mostraron la misma tendencia en condiciones de estrés (Ys), siendo, para este caso, el ICC-1273, el de mejor comportamiento. El valor de rendimiento más bajo se obtuvo en el genotipo ICC-6671 seguido de los genotipos ICC-1273, San Antonio 05 y El Patrón en condiciones sin estrés y en condiciones de estrés en los genotipos ICC-6671 y El Patrón. La variación observada entre Yp *vs* Ys en este estudio sugirió la ocurrencia de recursos importantes para obtener genotipos tolerantes a la falta de agua.

SSI osciló entre 0.49 y 1.17; los genotipos con los valores más bajos fueron ICC-1273, seguido de San Antonio 05, valores que los identifica como los genotipos más tolerantes, debido a que mostraron reducciones menores de rendimiento de grano en condiciones de déficit de agua. Los genotipos ICC-10981, ICC-6671 y El Patrón pueden considerarse como susceptibles a la falta de agua.

El genotipo con la menor reducción del rendimiento (Red) fue ICC-1273; ICC-10981, el de mayor.

Cuadro 2. Valores medios de los índices de tolerancia a estrés por agua (%) y rendimiento de grano (t ha^{-1}) bajo condiciones de riego normal y deficitario.

Genotipo	Yp	Ys	SSI	Red	STI	TOL	MP	GMP	HARM	YSI
El Patrón	3.66	1.93	1.16	89.64	0.53	1.73	2.80	2.66	2.53	52.73
Pénjamo	4.08	2.28	1.08	78.95	0.56	1.80	3.18	3.05	2.93	55.88
SA 05	3.60	2.39	0.82	50.63	0.66	1.21	3.00	2.93	2.87	66.39
Lerma	4.36	2.59	1.00	68.34	0.59	1.77	3.48	3.36	3.25	59.40
ICC-1273	3.58	2.86	0.49	25.17	0.80	0.72	3.22	3.20	3.18	79.89
ICC-3287	4.54	2.58	1.06	75.97	0.57	1.96	3.56	3.42	3.29	56.83
ICC-6671	3.38	1.79	1.15	88.83	0.53	1.59	2.59	2.46	2.34	52.96
ICC-10981	4.34	2.27	1.17	91.19	0.52	2.07	3.31	3.14	2.98	52.30

Yp= rendimiento de grano con riego normal; Ys= rendimiento de grano con riego limitado; SSI= índice de susceptibilidad a la sequía; Red= porcentaje de reducción; STI= índice de tolerancia a sequía; TOL= índice de tolerancia; MP= media de productividad; GMP= mediana de producción geométrica; HARM= media de producción armónica; YSI= índice de estabilidad del rendimiento.

STI osciló entre 0.52 y 0.80; los valores más cercanos a 1 indican alta tolerancia al estrés. El genotipo ICC-1273 tuvo la mayor tasa de STI, mientras que el genotipo ICC-10981, ICC-671 y El Patrón mostraron la menor tasa de STI con 0.52 y 0.53, respectivamente. Mevlut y Sait (2011) consideraron que los genotipos con alto STI normalmente tienen una gran diferencia en rendimiento en ambiente estresante y no estresante.

Fernández (1992) considera que el índice TOL es una medida eficiente para aumentar el rendimiento en un ambiente de sequía. Los valores más altos de TOL estuvieron relacionados, principalmente, con los genotipos ICC-10981 e ICC-3287. Para lo que según Parchin *et al*. (2013), una cantidad elevada de TOL es un signo de susceptibilidad del genotipo al estrés. Mientras que, el genotipo ICC-1273 con el valor más bajo de TOL fue considerado como genotipo tolerante.

En diversos estudios se ha observado que genotipos con los mayores Mp, GMP y HARM, generalmente son los que presentan mayor tolerancia (Farshadfar y Javadinia, 2011; Eid y Sabry, 2019), en nuestro estudio, los comportamientos fueron similares entre genotipos, a excepción de El Patrón e ICC-6671, quienes presentaron las medias más bajas.

Los valores más altos del índice de estabilidad del rendimiento (YSI) se registraron para los genotipos ICC-1273 y San Antonio 05.

Análisis de correlación

Se estimaron los coeficientes de correlación entre Yp, Ys y los índices de tolerancia a la sequía y se identificó el mejor índice (Cuadro 3). Además, podría ser un indicador aceptable para elegir los genotipos más prometedores. Se observó que STI, GMP, MP, HAM y YSI tenían una correlación positiva con Yp e Ys, principalmente con este último. Según Blum (1988) indicó que el índice favorable tiene una correlación positiva con el rendimiento en ambientes estresados y no estresados. Por lo tanto, estos resultados pueden ser útiles para elegir buenos índices de sequía.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación de Pearson entre la producción de grano de garbanzo forrajero y ocho índices de tolerancia a estrés por agua en condiciones de riego normal y deficitario.

	Ys	SSI	Red	STI	TOL	MP	GMP	HARM	YSI
Yp	0.40^{ns}	0.32^{ns}	0.27^{ns}	-0.32^{ns}	0.68^{ns}	0.87**	0.79*	0.71*	-0.32^{ns}
Ys	1.00	-0.74*	-0.77*	0.74*	-0.40^{ns}	0.79*	0.87**	0.93**	0.75*
SSI		1.00	0.99**	-0.99**	0.91*	-0.17^{ns}	-0.31^{ns}	-0.43^{ns}	-0.99**
Red			1.00	-0.99**	0.89**	-0.22^{ns}	-0.36^{ns}	-0.48^{ns}	-0.99**
STI				1.00	-0.91**	0.18^{ns}	0.32^{ns}	0.43^{ns}	0.99**
TOL					1.00	0.24^{ns}	0.09^{ns}	-0.03^{ns}	-0.91**
MP						1.00	0.99**	0.96**	0.18^{ns}
GMP							1.00	0.99**	0.32^{ns}
HARM								1.00	0.44^{ns}
YSI									1.00

Yp= rendimiento de grano con riego normal; Ys= rendimiento de grano con riego limitado; SSI= índice de susceptibilidad a la sequía; Red= porcentaje de reducción; STI= índice de tolerancia a sequía; TOL= índice de tolerancia; MP= media de productividad; GMP= mediana de producción geométrica; HARM= media de producción armónica; YSI= índice de estabilidad del rendimiento; *= diferencia significativa ($p < 0.05$) **= diferencias altamente significativas ($p < 0.01$); ns= diferencia no significativa.

Yp tuvo correlación positiva con MP (0.87), GMP (0.79) y HARM (0.71); mientras que Ys se correlacionó significativamente con STI (0.74), MP (0.79), GMP (0.87), HARM (0.93) e YSI (0.75); estos índices reflejaron un mayor rendimiento bajo condiciones de estrés. Por otro lado, hubo correlación negativa con SSI (-0.74) y Red (-0.77). Además de que estos índices fueron adecuados para el estudio de la tolerancia a la sequía y más aplicables en el reconocimiento de los genotipos con alto rendimiento en condiciones de estrés.

SSI presentó relación positiva alta con Red (0.99) y Tol (0.91); negativa con STI (-0.99) e YSI (-0.99). Red tuvo correlación positiva alta con Tol (0.89) y negativa con YSI. STI tuvo correlación positiva con YSI (0.99) y negativa con Tol (-0.91), la cual se correlaciona de forma negativa con YSI (-0.91). En general, las observaciones mostraron correlación negativa entre los índices de sensibilidad y los índices de tolerancia, así como el rendimiento de grano en condiciones de estrés y sin estrés.

Análisis de conglomerados

En la Figura 1 se ilustró la construcción del dendrograma basado en ocho índices de tolerancia a la sequía y el rendimiento en condiciones normal de agua y deficitario. Los ocho genotipos de garbanzo forrajero se dividieron en cuatro grupos principales.

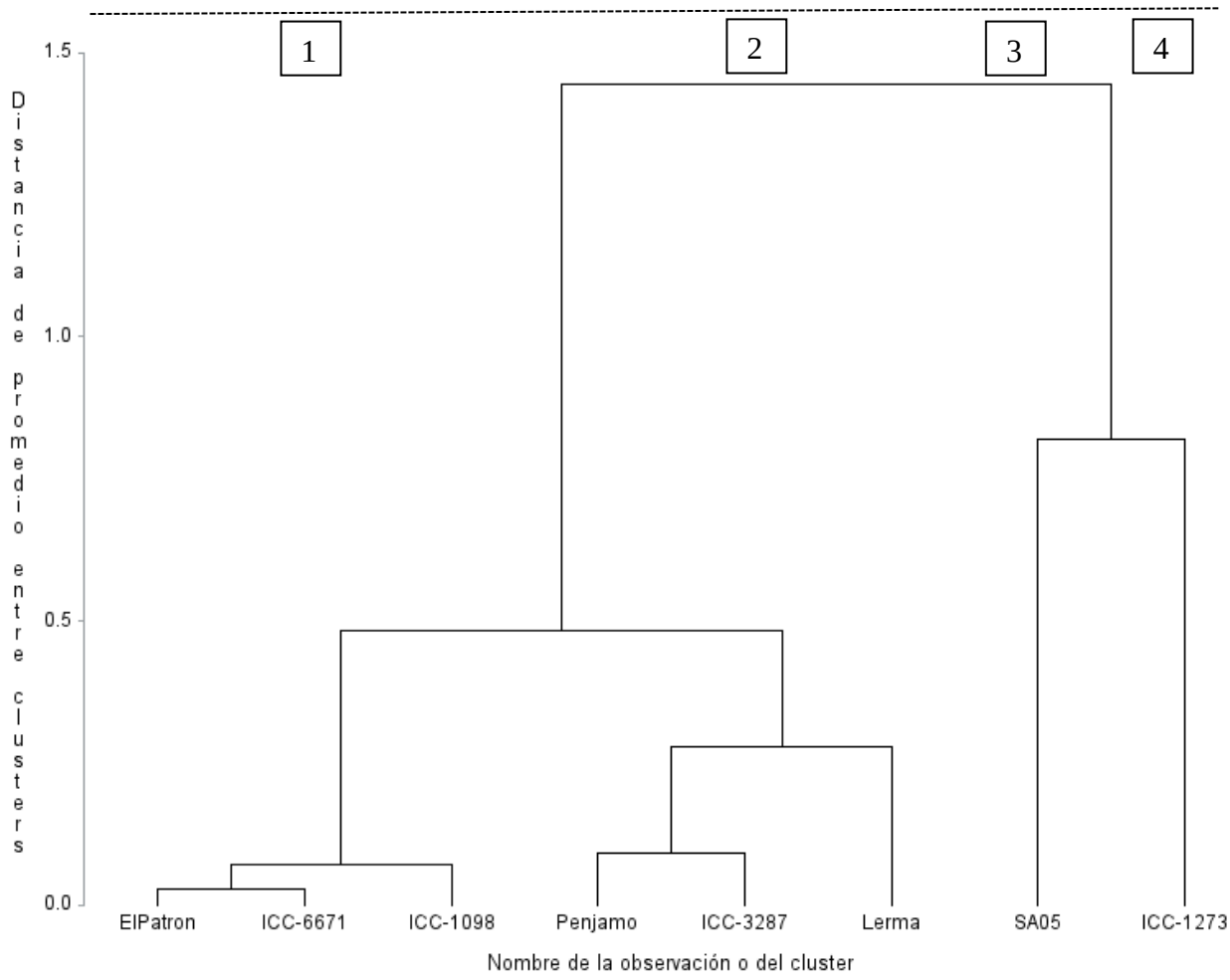


Figura 1. Dendograma de ocho genotipos de garbanzo forrajero basado en un análisis de conglomerados usando ocho índices a estrés por agua y rendimiento de grano en riego normal y deficitario.

El grupo 1 contenía los genotipos El Patrón, ICC-6671 e ICC-10981. El segundo grupo comprendía los genotipos Pénjamo, ICC-3287 y Lerma. El tercer grupo contenía el genotipo San Antonio 05 y el cuarto, al genotipo ICC-1273.

El grupo 1 incluyó a los genotipos con mayor susceptibilidad al estrés por falta de agua, reducción del rendimiento y menor estabilidad del rendimiento. El grupo 2 incluyó los genotipos con mayor rendimiento, MP, GMP y HARM, bajo condiciones de disponibilidad de agua. El grupo 3 mostró mediana tolerancia a los indicadores al estrés por agua. El grupo 4 presentó el mayor rendimiento bajo condiciones de déficit de agua, menor susceptibilidad al estrés por agua, menor reducción del rendimiento, mayor estabilidad y tolerancia al estrés por falta de agua. Dado que los genotipos con menor cantidad de indicadores sensibles y tolerancia al estrés, se conoce como selección de genotipos tolerantes en base a estos índices, los genotipos San Antonio 05 y, principalmente, ICC-1273 a la condición de estrés por déficit de agua (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadística descriptiva de los índices a estrés y rendimiento de grano en riego normal y deficitario de ocho genotipos agrupados en cuatro conglomerados.

Clúster	Yp	Ys	SSI	Red	STI	TOL	MP	GMP	HARM	YSI
1	3.79	2.00	1.16	89.89	0.53	1.80	2.90	2.75	2.62	52.66
2	4.33	2.48	1.05	74.42	0.57	1.84	3.41	3.28	3.16	57.37
3	3.60	2.39	0.82	50.63	0.66	1.21	3.00	2.93	2.87	66.39
4	3.58	2.86	0.49	25.17	0.80	0.72	3.22	3.20	3.18	79.89

Yp= rendimiento de grano con riego normal; Ys= rendimiento de grano con riego limitado; SSI= índice de susceptibilidad a la sequía; Red= porcentaje de reducción; STI= índice de tolerancia a sequía; TOL= índice de tolerancia; MP= media de productividad; GMP= mediana de producción geométrica; HARM= media de producción armónica; YSI= índice de estabilidad del rendimiento.

Conclusiones

De acuerdo a los diferentes procedimientos estadísticos, los genotipos ICC-1273 y San Antonio 05 podrían considerarse como genotipos prometedores tolerantes al déficit de agua con rendimientos altos y estables en condiciones de estrés, mientras que los genotipos El Patrón e ICC-6671 podrían considerarse susceptibles al déficit de agua. El genotipo ICC-10981 fue

identificado como altamente susceptible a la falta de agua. Por lo que este genotipo no es apto para condiciones de estrés por déficit. Los resultados parciales de este estudio recomendaron a MP, GMP, HARM y YSI para hacer una buena selección al déficit de agua en el programa de mejoramiento de garbanzo.

Literatura Citada

Blum, A. 1988. “Plant Breeding for Stress Environments”, pp. 38-78. Boca Raton, CRC Press.

Bouslama, M. and Schapaugh, W. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Sci. 24, 933-937.

CONAGUA. 2018. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero santo Domingo (0306), Estado de Baja California Sur. Consultado en línea 7/08/2020: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCaliforniaSur/DR_0306.pdf

Eid, M. H., and Sabry, S. 2019. Assessment of Variability for Drought Tolerance Indices in Some Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. Egyptian Journal of Agronomy,*41*(2), 79-91.

FAO. 2009. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Anuario de Producción. 232 pp.

FAO. 2015. Agricultura mundial informe resumido. Depósito de documentos de la FAO.

Farshadfar, E. and Javadinia, J. 2011. Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for drought tolerance. Seed and Plant Impro. J. 27(4), 517-537.

Fernández, G. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. Proceedings of the international Symposium on “Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water stress”. Taiwan. Disponible en: www.idosi.org/mejsr/mejsr9(1)11/11.pdf (Consultado: 1 octubre 2019).

Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Aust. J. Agric. Res. 29, 897-912.

Flowers, T. J., Gaur, P. M., *et al*. 2010. Salt sensitivity in chickpea. Plant Cell and Environment, 33 (4): 490–509.

Guriqbal, S., Ram, H., Aggarwal, N. and Turner, N. C. 2016. Irrigation of chickpea increases yield but not water productivity. Exp. Agric. 52:1-13.

Kohashi, S. J., da Costa, J. C. and Miranda, S. C. 1980. Harvest index in Phaseolus vulgaris (L.). Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 23:87-89. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/ doc/885721/1/BIC198001.pdf.

López, A.L.M., Armenta, L.C., Armenta, B.A.D., Fraga, P.H.C., y Félix, H.J.A. 2013. Localización de zonas aptas para la agricultura protegida en Baja California Sur, México. Agronomía Mesoamericana 24(2):401-409.

Matta, F. 2004. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insight for plant breeding. Brazilian Journal of Physiology, 16 (1): 1-6.

Mevlut, A. and Sait, C. 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions. Zemdirbyste. 98(2), 157-166.

Parchin, R., Abdollah, N. and Farshadfar, E. 2013. Assessment of drought tolerance in genotypes of wheat by multivariate analysis. World Applied Sciences Journal, 22(4), 594-600.

Rosielle, A. and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21(6), 943-946.

SAS (Statistical Analysis Software). 2014. SAS – Statistical Analysis Software for Windows ver 9.3. Cary, NC: SAS Inst. Inc.

Shagarodsky, T. *et al*. 2002. Extensión y fomento del cultivo del garbanzo en las condiciones de Cuba. En: Reunión Anual PCCMCA Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de los Cultivos y Animales. Tecnología Agropecuaria para la Competitividad en las Cadenas Agroalimentarias, 58: 14-21

Tay, U. J. 2006. Manual para la producción de garbanzo, recomendaciones para la siembra en suelos arcillosos. [Boletín INIA No 143] Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chilán, Chile, 108 pp. ISSN 0717-4829

Turner, N. C., Wright, G. C. and Sidique, K. H. M. 2001. Adaptation of grain legumes to water-limited environments. Adv. Agron. 71:193-231.

PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE MATERIA SECA DE PIÑA MD-2 EN FUNCIÓN DE DOSIS DE NITRÓGENO Y POTASIO

María Enriqueta López Vázquez[1*], Nain Peralta Antonio[1], Gerardo Montiel Vicencio[1], Andrés Rebolledo Martínez[1], Rosa Laura Rebolledo García[1], Aurelio Pérez Báez[2] y Laureano Rebolledo Martínez[1]

Resumen

El nitrógeno (N) y potasio (K) son los principales nutrientes requeridos por la piña y se relacionan con su crecimiento, rendimiento y calidad de fruto. Las dosis recomendadas actualmente en México, implican elevadas cantidades de fertilizantes inorgánicas por hectárea y por ciclo, por lo tanto, dichas dosis deben ser ajustadas. El objetivo fue determinar la cantidad y proporción de materia seca de los diferentes órganos de la planta de piña MD-2 en función de diferentes niveles de N y K, en presencia y ausencia de acolchado plástico total, con la finalidad de identificar las dosis de fertilización más adecuadas para la piña. El 100%, 75% y 50% de la dosis recomendada de N y K se aplicaron de forma combinada (100/100 NK, 100/75 NK, 100/50 NK, 75/100 NK, 75/75 NK, 75/50 NK, 50/100 NK, 50/75 NK, 50/50 NK) y compararon con dos testigos, uno corresponde a plantas sin fertilización y el otro a la fertilización líquida. Aquí se presenta únicamente el efecto de los tratamientos de fertilización. Al momento de la cosecha, similar cantidad de materia seca de hoja, tallo, pedúnculo y raíz, así como proporción de fruto, hoja y tallo se detectó en todos los tratamientos. La materia seca del fruto de 100/100 NK, 100/75 NK, 100/50 NK, 75/75 NK, 75/50 NK y 50/100 NK fueron similares y todos superaron al Testigo. Una menor proporción de pedúnculo y raíz se detectó con 100/100 NK y 100/50 NK comparado con el Testigo, respectivamente. Se concluye que, de los diferentes órganos de la planta de piña MD-2 establecido a 50,000 plantas/ha, las dosis de N y K afectan principalmente la cantidad de materia seca del fruto y proporción de materia seca destinada al pedúnculo y raíz. La cantidad de materia seca del fruto obtenido con el 100%

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Medellín de Bravo, Veracruz, México, CP. 94270. *Autor por correspondencia: lopez.enriqueta@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México, CP. 38010.

de la dosis recomendada de N y K, se reduce en un 5, 14 y 32% cuando se utiliza el 75, 50 y 0% de la dosis recomendada, respectivamente.

Palabras clave: fertilización mineral, producción convencional, eficiencia de fertilización, producción de biomasa

Introducción

En México, el 72% de la producción nacional de la piña se encuentra distribuida en los estados de Veracruz y Oaxaca (SIAP, 2021). 'Cayena lisa' es el principal cultivar producido a nivel comercial, aunque, en la última década ha aumentado la superficie del híbrido MD-2, lo cual se atribuye a sus características de dulzura, aroma y su color externo amarillo, además de su alto contenido en vitaminas C y minerales, por lo que es preferida para el mercado de exportación (Uriza *et al*., 2018). Las principales estructuras morfológicas de la planta de piña son las raíces, el tallo, las hojas, el pedúnculo, el fruto múltiple o sincarpio, la corona y los brotes o también conocidos como hijuelos (Vázquez-Jimenez and Bartholomew, 2018). Al momento de la cosecha, los frutos y las coronas se retiran de la planta y de la unidad de producción, mientras que el resto de órganos se mantienen en campo para obtener una segunda o tercera cosecha (Uriza *et al*., 2018). Conocer la distribución de materia seca dentro de la planta, ayuda a entender el comportamiento de la planta a través de su ciclo fenológico. Por ejemplo, las hojas y el tallo son órganos de reserva de fotoasimilados, mientras que, el sistema de raíces de la piña desempeña un papel importante en la nutrición de la planta, y la cantidad de raíces de una planta, estará en función de las características químicas y físicas del suelo (Vázquez-Jimenez y Bartholomew, 2018).

El cultivo de la piña requiere para su crecimiento y desarrollo una gran cantidad de nutrimentos (Rebolledo *et al*., 2016) siendo el potasio (K) y el nitrógeno (N) los elementos utilizados en mayores cantidades (Swete, 1993), ya que, su deficiencia puede afectar el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos (Py, 1969; Rebolledo *et al*., 2016). A medida que cambié la densidad de plantación, cambiará el requerimiento nutrimental de las plantas. Se ha reportado que una hectárea de piña sembrada a una densidad de 30,000 plantas /ha, requiere de 440 kg

de nitrógeno, 40 kg de fósforo, 500 kg de potasio, 16 kg de azufre, 123 kg de magnesio y 200 kg de calcio, 4 kg de manganeso, 6 kg de hierro, 300 g de cobre y 600 g de zinc. A una densidad de plantación de 60,000 plantas/ha, una hectárea necesita alrededor de 600 Kg de nitrógeno, 60 kg de fósforo, 745 kg de potasio, 180 kg de magnesio, 280 kg de calcio, 6 kg de manganeso, 10 kg de hierro, 550 g de cobre y 900 g de zinc. El híbrido MD2 presenta una mayor demanda de nutrimentos en comparación con el cultivar Cayena Lisa. (Rebolledo *et al*., 2016). Por lo anterior, es probable que ocurran deficiencias de N, P, K, Ca y Mg en cualquier lugar donde se cultive piña si las cantidades extraídas por el cultivo y las pérdidas por lixiviación no se reemplazan mediante la fertilización (Vázquez-Jimenez and Bartholomew, 2018).

Otra práctica agronómica que se ha vuelto común en el sistema de producción de la piña, es el acolchado plástico total. Esta práctica consiste cubrir completamente el suelo con plástico negro calibre 150. Los beneficios comprobados de esta práctica incluyen la reducción de la pérdida de suelo por erosión, reducen la proliferación de arvenses y reducen la pérdida de humedad del suelo (Rebolledo *et al.*, 1998; Hegazi, 2000; Ali *et al*., 2011; Zhang *et al*., 2014; Francisco-Nicolas *et al*., 2015; Ahmad *et al*., 2015; Memon *et al*., 2017). Otras ventajas que se le atribuyen al acolchado plástico total es aumentar la eficiencia de los fertilizantes y pesticidas (Uriza *et al*., 2018), un incremento en la eficiencia de estos insumos significa una reducción en las dosis que se recomiendan actualmente para el cultivo. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la cantidad y proporción de materia seca de los diferentes órganos de la planta de piña MD-2 en función de diferentes niveles de N y K, en presencia y ausencia de acolchado plástico total, con la finalidad de identificar las dosis de fertilización más adecuadas para la piña.

Materiales y Métodos

Vástagos de piña MD-2 de 600 g fueron sembrados el 01/12/2019, con una densidad de 50,000 plantas/ha, en el sitio denominado el Callejón de los Aguilar (Figura 1), ubicado en el municipio de Isla, Veracruz (18° 06’ 57.2’’ LN y 95° 33’ 30.6’’ LO). El suelo utilizado se clasifica con textura de migajón arenoso (63.2% de arena, 9.8% de arcilla y 27% de limo), 4.02 de pH, 1.45% de materia orgánica, 12.0, 37.3, 80.0, 126.0, 73.8, 0.40 y 3.58 mg/kg de N, P, K, Ca,

Mg, Fe, Cu y Mn, respectivamente. La temperatura ambiental, humedad relativa y la precipitación fue monitoreada durante el periodo que duró el estudio (Cuadro 1).

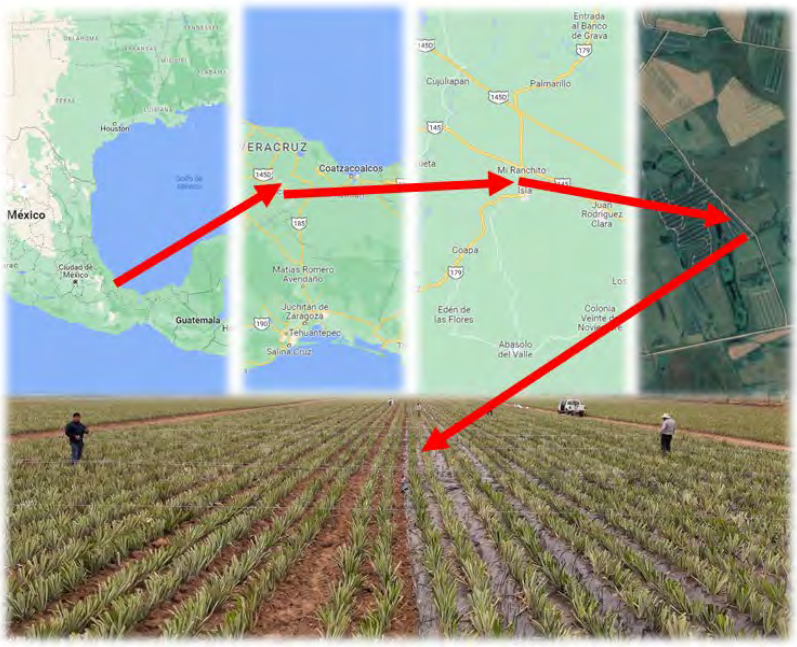


Figura 1. Plantación comercial de piña MD-2 donde se evaluaron diferentes tratamientos de fertilización, en Isla, Veracruz.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. La parcela grande corresponde al acolchado plástico y la parcela chica a los diferentes niveles de fertilización. En cada tratamiento se consideraron cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de dos camas de doble hilera de 6 m, cada cama de 1.2 m de ancho entre centro y centro, amplitud de calle ancha de 80 cm y amplitud de calle angosta de 45 cm, con 32 cm entre plantas, resultando en promedio 70 plantas en cada unidad experimental.

Cuadro 1. Comportamiento de clima durante el periodo que duro el experimento de nutrición de piña MD-2, en Isla, Veracruz.

Mes	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación acumulada (mm)
			2019		
Diciembre	24.2	29.2	22.8	75.5	5.0
			2020		
Enero	22.1	25.5	19.9	83.1	39.0
Febrero	22.5	26.0	19.7	80.9	22.2
Marzo	26.2	31.7	22.0	69.9	0.6
Abril	29.5	36.1	24.6	63.9	0.2
Mayo	28.9	33.2	24.9	62.6	79.6
Junio	27.2	30.9	24.0	75.5	173.2
Julio	27.6	32.0	24.1	72.6	177.2
Agosto	26.4	30.6	23.8	80.0	316.8
Septiembre	26.4	30.1	23.5	77.0	188.2
Octubre	25.4	29.3	22.5	74.8	72.8
Noviembre	23.4	26.6	21.2	80.5	239.0
Diciembre	21.0	24.6	18.3	75.5	7.6
			2021		
Enero	21.5	24.3	19.4	78.6	36.0
Febrero	22.2	26.5	18.9	73.4	8.2
Marzo	24.6	29.6	20.8	66.3	46.4

Los factores de estudio fueron el acolchado plástico (con y sin) y niveles de fertilización. La fertilización incluyó tres niveles de N y K (100%, 75% y 50%), comparado con dos testigos, uno corresponde a plantas sin fertilización y el otro a la fertilización líquida (Cuadro 2). Para los tratamientos que incluyeron N y K, el 100% de la dosis correspondió a 15 g/planta, equivalente a 750 kg/ha.

La cantidad de P, Mg y micronutrientes, fue similar en todos los tratamientos que incluyeron los niveles de N y K. Para esos mismos tratamientos, la dosis total de nutrientes fue aplicada 89% en forma sólida y 11% en forma líquida. La fertilización sólida se dividió en tres aplicaciones, realizadas en las fechas 16/12/2019, 14/02/2020 y 03/06/2020, donde el

porcentaje aplicado en cada fecha fue del 27%, 27% y 46%, respectivamente. Estas fechas corresponden a los 15, 75 y 184 días posteriores a la plantación de hijuelos.

Cuadro 2. Tratamientos de fertilización utilizados en el experimento de piña MD-2, en Isla, Veracruz.

Tratamiento	Nitrógeno (%)	Potasio (%)	N (g/planta)	P (g/planta)	K (g/planta)	Mg (g/planta)
100/100 NK	100	100	15.0	6.0	15.0	4.0
100/75 NK	100	75	15.0	6.0	11.3	4.0
100/50 NK	100	50	15.0	6.0	7.5	4.0
75/100 NK	75	100	11.3	6.0	15.0	4.0
75/75 NK	75	75	11.3	6.0	11.3	4.0
75/50 NK	75	50	11.3	6.0	7.5	4.0
50/100 NK	50	100	7.5	6.0	15.0	4.0
50/75 NK	50	75	7.5	6.0	11.3	4.0
50/50 NK	50	50	7.5	6.0	7.5	4.0
FERLIQ	Fertilización líquida		25.3	8.3	25.0	5.5
Testigo	Sin fertilización		0	0	0	0

La fertilización líquida se dividió en cuatro dosis aplicadas el 12/03/2020, 27/03/2020, 8/04/2020 y 23/04/2020, correspondiente a los 102, 148, 159 y 174 días posteriores a la plantación de hijuelos, respectivamente. Tanto para la fertilización sólida como para la fertilización líquida, el fertilizante se depositó en las hojas axilares más cercanas al suelo (Figura 2). Para aplicar N, P, K y Mg de forma sólida se utilizaron los fertilizantes sulfato de amonio (21% de N), difosfato de amonio (18%-46% de N-P), cloruro de potasio (60% de K) y sulfato de magnesio (9.8% de Mg). Para la fertilización líquida se utilizaron los fertilizantes urea (46% de N), difosfato de amonio, cloruro de potasio soluble (60% de K) y sulfato de magnesio. En cada fecha de fertilización líquida, para diluir los fertilizantes se consideró una dosis de 40 ml de agua por planta. Los micronutrientes se aplicaron a través de la fertilización líquida, a una dosis de 0.5, 1.0, 1.0, 0.5, 1.0 y 1.0 g/L de agua de sulfato de zinc ($ZnSO_4.7H_2O$), sulfato de ferroso ($FeSO_4.7H_2O$), sulfato de manganeso ($MnSO_4.7H_2O$), sulfato de cobre ($CuSO_4.5H_2O$), bórax ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) y ácido cítrico, respectivamente. La aplicación de micronutrientes fue alternada, es decir, en una aplicación únicamente se suministró bórax, en la siguiente aplicación, a excepción de bórax, se aplicaron el resto de sulfatos y ácido cítrico.

En el caso del tratamiento de fertilización líquida (tratamiento 10), las aplicaciones fueron semanales, iniciando el 27/05/2020 y finalizando al momento en que apareció la flor de la planta (13/11/2020), resultando en un total de 25 aplicaciones. La cantidad total de N, P, K y Mg aplicada por planta en cada semana fue de 1.00, 0.33, 1.00 y 0.22 g, dando un total de 25.0, 8.3, 25.0 y 5.5 g por planta, respectivamente. La aplicación de micronutrientes fue similar al descrito en los tratamientos que incluyeron N y K.



Figura 2. Lugar donde se depositaron los fertilizantes inorgánicos durante la fertilización de piña MD-2, en Isla, Veracruz.

El tratamiento de inducción floral se realizó el 30/09/2020, donde se utilizaron 3 kg de etileno + 20 kg de carbón activado por cada 3000 L de agua.

Al momento de la cosecha (16/03/2021), para estimar el rendimiento de frutos por hectárea, tres frutos representativos fueron colectados de cada unidad experimental. En una planta de cada unidad experimental se registró el peso fresco total y de sus diferentes órganos (raíz, tallo, hoja, pedúnculo y fruto). Para determinar la materia seca de la planta, de cada órgano, se obtuvieron muestras representativas. Las muestras fueron cortadas en trozos pequeños y secadas en una estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante. Posteriormente se registró el peso seco de cada órgano y con ello se estimó la materia seca de cada órgano. Con la sumatoria de la materia seca de los diferentes órganos se obtuvo la materia seca total de la

planta. Con los datos de materia seca total y materia seca de cada órgano, se estimó la proporción de materia seca destinada a cada órgano de la planta. Análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) fueron realizados para comparar el efecto de los factores de estudio en la producción de biomasa.

Resultados y Discusión

En este trabajo solo se presenta el efecto de los tratamientos de fertilización sobre la producción y distribución de materia seca en la planta. Similar cantidad de materia seca de hoja, tallo, pedúnculo y raíz, así como proporción de fruto, hoja y tallo se detectó en todos los tratamientos. Por otra parte, la materia seca del fruto de las plantas fertilizadas con 100/100 NK, 100/75 NK, 100/50 NK, 75/75 NK, 75/50 NK y 50/100 NK fueron similares y todos superaron a las plantas sin fertilizar (Cuadro 3). Una menor proporción de pedúnculo y raíz se detectó con 100/100 NK y 100/50 NK comparado con el testigo, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Peso y proporción de materia seca distribuida entre los diferentes órganos de la planta de piña MD-2 en Isla, Veracruz.

Tratamiento	Materia seca (g)					Proporción de materia seca (%)				
	Fruto	Hoja	Tallo	Pedúnculo	Raíz	Fruto	Hoja	Tallo	Pedúnculo	Raíz
100/100 NK	261.4 a	298.1 a	91.9 a	25.2 a	4.7 a	39.8 a	41.9 a	13.8 a	3.8 b	0.7 ab
100/75 NK	245.3 a	217.0 a	82.5 a	25.9 a	4.6 a	43.6 a	36.8 a	14.2 a	4.6 ab	0.8 ab
100/50 NK	246.4 a	199.2 a	85.0 a	26.6 a	4.3 a	44.2 a	35.0 a	15.3 a	4.8 ab	0.8 b
75/100 NK	224.3 ab	241.8 a	83.0 a	24.7 a	4.7 a	39.5 a	41.1 a	14.1 a	4.4 ab	0.8 ab
75/75 NK	248.6 a	224.3 a	80.0 a	27.6 a	4.4 a	43.6 a	36.9 a	13.8 a	5.0 ab	0.8 ab
75/50 NK	254.2 a	211.6 a	85.9 a	26.3 a	5.3 a	44.7 a	34.8 a	15.0 a	4.6 ab	0.9 ab
50/100 NK	235.7 a	240.4 a	82.9 a	27.6 a	4.7 a	41.4 a	38.6 a	14.3 a	4.9 ab	0.8 ab
50/75 NK	227.4 ab	223.4 a	83.4 a	25.7 a	4.4 a	40.9 a	39.0 a	14.7 a	4.7 ab	0.8 ab
50/50 NK	225.1 ab	223.2 a	86.7 a	25.9 a	4.8 a	40.9 a	38.1 a	15.4 a	4.8 ab	0.9 ab
FERLIQ	220.5 ab	313.0 a	92.8 a	27.2 a	4.8 a	37.0 a	52.5 a	15.6 a	4.6 ab	0.8 b
Testigo	176.7 b	169.8 a	67.5 a	24.1 a	4.8 a	41.0 a	36.7 a	15.3 a	5.8 a	1.2 a

Al principio de la investigación, se esperaba diferencias estadísticas en la materia seca de los órganos de la planta, y que, mayores valores se presentarán con las dosis más altas de N y K, ya que, ese comportamiento ha sido observado en estudios previos (Razzaque y Hanafi, 2001; Veloso *et al*., 2001; Omotoso y Akinrinde, 2013). Este estudio reveló que, únicamente la materia seca del fruto fue afectada, y efectivamente, las combinaciones que incluyeron 75 y 100% de las dosis de N y K, fueron que se diferenciaron de las plantas no fertilizadas. Una menor proporción de materia seca del pedúnculo y raíz detectado con 100/100 NK y 100/75 NK, respectivamente, sugiere que, parte de los fotoasimilados reservados en estos órganos fueron retranslocados hacia el fruto. Por otra parte, desde el punto de vista alimentario, la piña MD-2, establecido a 50,000 plantas por hectárea, con una fertilización que incluye el 100% de la dosis recomendada de N y K, la materia seca del fruto es de 261 g, cuando la dosis se reduce al 75% y 50%, se reducen 12.8 y 25.7 g de materia seca, respectivamente. Esta reducción puede ser hasta de 84.7 g cuando las plantas no se fertilizan. La reducción de materia seca que ocurre al utilizar el 75%, 50% o 0% de la dosis recomendada de N y K, equivale a pérdida de 640, 1285 y 4325 kg/ha, respectivamente. Los resultados de este estudio indican que, al momento de la cosecha, se retira entre el 37 y 45% de la materia seca total de la planta, lo cual es mayor al reportado por Hanafi *et al.* (2009) y Pegoraro *et al*. (2014), que indican valores de entre 12 y 36%, pero, es inferior a los 53% reportado por Ahmed *et al*. (1999).

Conclusiones

De los diferentes órganos de la planta de piña MD-2 establecido a 50,000 plantas/ha, las dosis de N y K afectan principalmente la cantidad de materia seca del fruto y proporción de materia seca destinada al pedúnculo y raíz. La cantidad de materia seca del fruto obtenido con el 100% de la dosis recomendada de N y K, se reduce en un 5, 14 y 32% cuando se utiliza el 75, 50 y 0% de la dosis recomendada, respectivamente.

Literatura Citada

Ali, K., Munsif, F., Husain, Z., Khan, I., Ahmad, N., Khan, N. and M. Shahid. 2011. Effect of different weed control methods on weeds and maize grain yield. Pak. J. Weed Sci. Res. 17(4): 313-321.

Ahmad, S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Zahra, S. S., Khan, I. H., Ali, M., Shahid, A. M., Iqbal, R, and M. S. Zaheer. 2015. Mulching strategies for weeds control and water conservation in cotton. J. Agric. Biol. Sci. 10 (8): 299-306.

Ahmed, O. H., Husni, M. H. A., Syed Omar S. R., Hanafi, M. M. and S. K. Koh. 1999. The effects of residue management practices on phosphorus and potassium uptake in pineapple. ´Malays. J. Soil Sci. 3: 29-37.

Bunroj, A., Saridnirun, P., and Shinawong, S. (2011). Changes in Soil Microorganisms, Flowering, and Yield of 'Smooth Cayenne'Pineapple as Affected by Black Plastic Mulch in Organic Production. Thai Journal of Agricultural Science, 44(4), 219-224.

Francisco-Nicolas, Uriza-Ávila, D. E., Zetina-Lezama, R., Toral-Juárez, M. A. y A. Rebolledo M. 2015. Acolchado plástico cómo práctica para reducer la erosion hídrica en Cambisoles cultivador con piña *Ananas comosus* var. Comosus en México. p. 148-158. *In:* II Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical y XXV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2013, Villahermosa Tabasco, México.

Hanafi M.M. and A. Halimah. 2004. Nutrient supply and dry-matter partitioning of pineapple cv. Josapine on sandy tin tailings. Fruits 59: 359–366.

Hanafi, M. M., Selamat, M. M., Husni, M. H. A., M. A. Adzemi. 2009. Dry matter and nutrient partitioning of selected pineapple cultivars grown on mineral and tropical peat soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 40(21-22): 3263-3280.

Hegazi, A. 2000. Plastic mulching for weed control and water economy in vineyards. Acta Hortic. 536: 245-250.

Lacoeuille, J.J. 1975. Etudes sur le controle du cycle de L'ananas en Cote d'Ivore. Fruits 30 (5): 307-312.

Lacoeuille, J.J. 1978. La fumure N-K de L'ananas en Cote d'Ivore. Fruits 33 (5): 341-348.

Memon, M. S., Zhou, J., Guo, J., Ullah, F., Hassan, M., Ara, S. and C. Ji. 2017. Comprehensive review for the effects of ridge furrow plastic mulching on crop yield and water use efficiency under different crops. Int. Agri. Eng. J. 26(2): 58-67.

Omotoso, S. O. y E. A. Akinrinde. 2013. Effect of nitrogen fertilizer on some growth, yield and fruit quality parameters in pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) plant at Ado-Ekiti Southwestern, Nigeria. Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci 3(1): 11-16.

Pegoraro, R. F., Souza, B. A. M. D., Maia, V. M., Amaral, U. D. and M. C. T. Pereira. 2014. Growth and production of irrigated Vitória pineapple grown in semi-arid conditions. Rev. Bras. Frutic. 36: 693-703.

Py, C. (1969). La piña tropical. Colección Agricultura Tropical Barcelona: Editorial Blume. 279 p.

Razzaque, A. H. M. and M. M. Hanafi. 2001. Effect of potassium on growth, yield and quality of pineapple in tropical peat. Fruits, 56(1): 45-49.

Rebolledo M. A. 1992. Análisis del crecimiento y nutrición de la piña en su fase vegetativa en el Bajo Papaloapan. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Edo. de Méx., México. 199 p

Rebolledo M.A., D. Uriza A. y L. Rebolledo M. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. Libro técnico Núm. 20. SAGAR. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México. 159 p.

Rebolledo M., A.; Uriza A., D. E.; del Ángel P. A. L.; Rebolledo M., L., and Zetina L., R. 2016. La piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2021. Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por estado. Consultado el 26 de julio de 2022 de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ AvanceNacionalCultivo.do

Swete K., D. 1993. Nutritional Disorders. p. 33–42. *In*: R. H. Broadley, R. C. Wassman III and E. Sinclair (Eds.). Pineapple Pest and Disorders. Brisbane: Departament of Primary Industries- Queensland.

Uriza-Ávila, D. E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V. H., Zetina-Lezama, R. and Rebolledo-Martínez, A. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACh.

Vásquez-Jiménez J. and Bartholomew D. P. 2018. Plant nutrition, p. 175-202 In: Sanewski, G., D. P Bartholomew, and R E Paull. (Eds.). The pineapple: botany, production and uses. Second edition. CAB International.

Veloso, C. A. C., Oeiras, A. H. L., Carvalho, E. J. e F. R. Souza. 2001. Resposta do abacaxizeiro à adição de nitrogênio, potássio e calcário em latossolo amarelo do nordeste paraense. Rev. Bras. Frutic. 23: 396-402.

Zhang, H. Y., Liu, Q. J., Yu, X. X. and L. Z. Wang. 2014. Influences of mulching durations on soil erosion and nutrient losses in a peanut (*Arachis hypogaea*)-cultivated land. Natural Hazards 72: 1175-1187.

ORGANOGÉNESIS DIRECTA DE EXPLANTES DE HOJA DE *Laelia autumnalis* MEDIADAS POR ÁCIDO SALICÍLICO

Manuel Hernández Bello[1], Martha Elena Mora Herrera[2*], Rómulo García Velasco[2] y Sotero Aguilar Medel[2]

Resumen

Las orquídeas están entre las seis familias con mayor diversidad en México y en la actualidad, están afrontando problemas de disminución de sus poblaciones, derivado de la destrucción del hábitat y del saqueo. La Norma Oficial Mexicana NOM-059, reporta 186 especies de esta familia en alguna categoría de riesgo. Es prioritario el planteamiento de propuestas generales de acción que consideren la conservación de la biodiversidad. La biotecnología vegetal como la organogénesis somática puede contribuir a que, a partir de poco material biológico se pueda obtener suficientes ejemplares para repoblar o conservar la biodiversidad. Se ha reportado que algunas fitohormonas como el ácido salicílico (AS) que está ligado a varias respuestas fisiológicas, podría favorecer la inducción de procesos morfogenéticos en condiciones *in vitro* en orquídeas. En el sur del Estado de México, la especie *Laelia autumnalis*, aunque no está catalogada dentro de una categoría en riesgo, ha disminuido significativamente sus poblaciones, principalmente por extracción ilegal. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar segmentos de hoja de *L. autumnalis* preincubadas en ácido salicílico 10^{-5} M para la inducción de organogénesis directa, utilizando microplantas de *L. autumnalis* cultivadas en medios MS al 50%, con 0 o 10^{-5} M de AS durante seis meses. Posteriormente segmentos de hoja fueron cultivados en medios al 50% de MS en una relación ANA/BAP en concentraciones de 0.1, 0.5, 1.0 y 1.5 mg/L y después de cuatro meses se observó organogénesis directa en los explantes cultivados en las concentraciones de BAP 1.0 y ANA 1.0 mg/L. Por esta razón, los segmentos de hojas preincubados en AS 10^{-5} M son aptos para inducir procesos morfogenéticos, ya que previamente además se encontró que disminuyen la oxidación de los explantes.

[1] Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla.
[2]Centro Universitario Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. *marthaelenam@gmail.com

Palabras clave: microplantas, *in vitro*, ANA y BAP

Introducción

La familia Orchidaceae está conformada por 25 mil especies de orquídeas, de las cuales en México existen más de 1,260, siendo el porcentaje de endemismo de 40% de especies y 8% de géneros. Sus poblaciones, están disminuyendo significativamente, principalmente por destrucción del hábitat y del saqueo ilegal. Aunado a lo complejo de su crecimiento y desarrollo, son especialmente vulnerables, por lo que de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, 16 especies están en peligro de extinción, 58 amenazadas y 107 sujetas a protección especial (SEMARNAT, 2010).

Laelia autumnalis no está clasificada por la SEMARNAT como amenazada; sin embargo, sus poblaciones se han visto significativamente disminuidas y deterioradas por la extracción de ejemplares, ya sea para uso tradicional en festividades en municipios del sur del Estado de México, o por cambio del uso del suelo de los ecosistemas que las albergan (Emeterio-Lara *et al*., 2016).

La biotecnología es uno de los muchos recursos que pueden contribuir en forma importante a la rehabilitación de ecosistemas y paisajes degradados (ONU, 1992), especialmente en la propagación, multiplicación y rescate de materiales vegetales. La organogénesis somática permite que, a partir de poco material biológico se puedan obtener suficientes ejemplares para repoblar o conservar la biodiversidad, que además puede ser aprovechada desde distintos enfoques, como el ornamental, educativo y científico. Al utilizar secciones de hojas, raíces o tallos se puede disponer de material vegetal sin depender de la floración de la planta. El uso de reguladores de crecimiento en el medio de cultivo es muy importante para la división y crecimiento celular, y de esta manera inducir la formación de callo y posteriormente órganos o embriones, útiles para la multiplicación. Un problema frecuente en el tipo de explante es su posible oxidación y se han utilizado diferentes compuestos para evitarla (Azofeifa, 2009) y recientemente se reportó el uso de ácido salicílico en la disminución de la oxidación en explantes de hoja de *L. autumnalis* (Hernández *et al*., 2021).

El ácido salicílico (AS) es una fitohormona implicada en la regulación del desarrollo de las plantas con un amplio efecto fisiológico de regulación, como crecimiento y desarrollo, e induce respuestas de tolerancia al estrés biótico y abiótico (Fajardo *et al*., 2015) al modular el sistema antioxidante enzimático y no enzimático que podría coadyuvar para evitar oxidación en explantes para la organogénesis, como lo reportaron Hernández *et al*., 2021); asimismo, Mora y López (2012), reportaron la obtención de organogénesis en microplantas de papa mediadas con ácido acetil salicílico. Por lo anterior, se planteó en este trabajo inducir organogénesis directa en explantes de microplantas de *L. autumnalis* preincubadas en ácido salicílico empleando una relación fitohormonal ANA/BAP.

Materiales y Métodos

Se utilizaron microplantas de *L. autumnalis* del Laboratorio de Fisiología y Biotecnología del Centro Universitario Tenancingo UAEM, y se subcultivaron a medio MS al 50% de sales (Murashige y Skoog, 1962; Espinoza *et al*., 1986) con 0 y 10^{-5} M de AS por seis meses. Después, 25 explantes de hoja de entre 5 y 8 mm por tratamiento fueron cultivados en medios MS al 50% de sales adicionado con ácido naftalenacético (ANA) y bencilaminopurina (BAP) en un barrido de concentración de 0, 0.1, 0.5, 1.0 y 1.5 mg/L en un total de 32 tratamientos. Los cultivos *in vitro* se mantuvieron en un cuarto de incubación con un fotoperíodo de 16 horas a una temperatura de 20 ± 1°C y una radiación de ca 35 µmol m^2/s, 400-700 nm. Cada semana se hicieron observaciones de los explantes. Después de cuatro meses se evaluaron los explantes con organogénesis.

Resultados y Discusión

Las microplantas preincubadas en AS no presentaron alteraciones en su desarrollo; la concentración de AS 10^{-5} M, en la cual fueron cultivadas ha sido ampliamente utilizada en estudios de fisiología y señalamiento celular en algunos cultivos como la papa (Mora-Herrera *et al*., 2005).

De los explantes de hoja cultivados en el barrido de concentraciones de BAP/ANA sólo se obtuvo organogénesis directa en los explantes provenientes de microplantas preincubadas en AS 10^{-5} M y subcultivadas con BAP 1.0/ ANA 1.0 mg/L, observándose un aproximado de ocho brotes por explante (Figura 1).

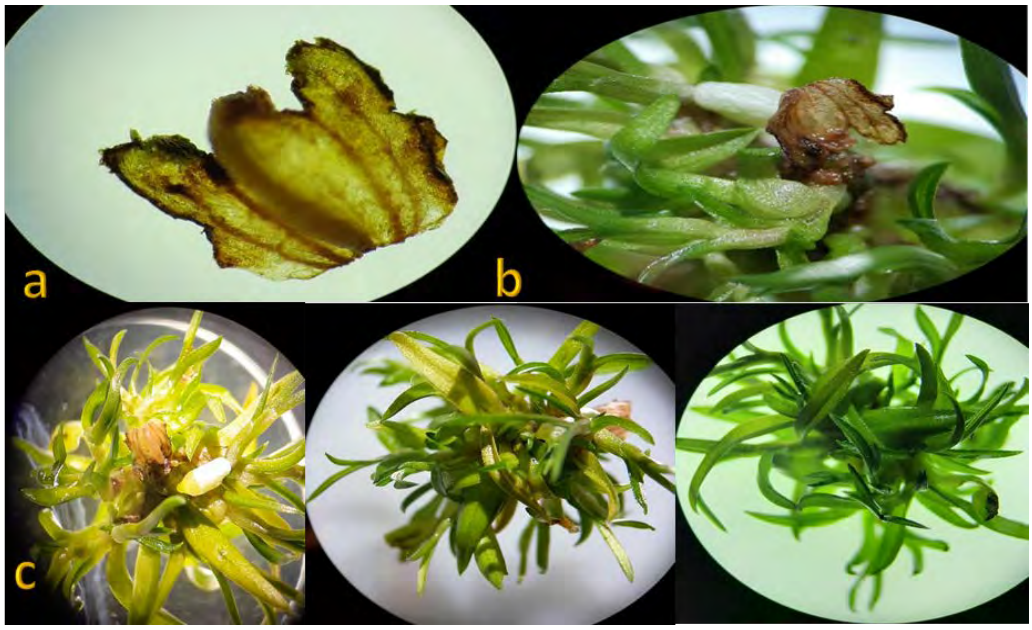


Figura 1. Organogénesis directa de segmentos de hoja preincubados en AS 10^{-5} M con la adición de BAP 1.0/ANA 1.0 mg/L. a) segmento de hoja en el que se dio el proceso de organogénesis b) desprendimiento de la hoja donde se dio el inicio del proceso morfogenético, y c) indica el proceso de la organogénesis directa que muestra la regeneración completa de L. autumnalis.

Los explantes de hoja cultivados en el barrido de BAP/ANA presentaron oxidación; sin embargo, los explantes de hoja provenientes de microplantas preincubadas en AS disminuyeron significativamente la oxidación (Hernández *et al*., 2021).

En los procesos morfogenéticos es importante el tipo de explante a utilizar como mencionan Chugh *et al.* (2009). Los segmentos de hojas son utilizados como explantes por lo fácil de su obtención y porque el daño en la planta donante es menor, aunque la edad de este tipo de explante influye en la respuesta morfogénica; es así que, las hojas jóvenes a diferencia de las maduras aseguran el éxito de la micropropagación en algunas especies (Chugh *et al*., 2009). En este trabajo se utilizaron hojas de la misma edad, pero de diferentes tamaños, lo que pudo influir en la respuesta.

Zeng *et al.* (2013), mencionan que la micropropagación a través de la regeneración directa de brotes, depende de la especie y las condiciones del medio, por lo que se deben probar diferentes concentraciones hormonales para encontrar los niveles óptimos. Las auxinas y citocininas son las fitohormonas que regulan la morfogénesis *in vitro*, ya que combinadas pueden inducir la organogénesis o embriogénesis somática, ya sea de manera directa o indirecta; su balance es crucial para la inducción de brotes y el crecimiento de los mismos (Long *et al.,* 2010).

En este trabajo se utilizaron las fitohormonas ANA/BAP debido a que son las más recomendadas para estos procesos (Gómez *et al.*, 2006). La auxina, ácido naftalenacético (ANA) se encuentra relacionada con procesos activos de división celular (Aguilar *et al.,* 2010) mientras que el uso de la citoquinina bencil amino purina (BAP), interviene principalmente en la división celular, aunque el efecto pudiera variar según el estado de diferenciación de las células, induciendo la formación de órganos (Raven *et al.,* 1992); además, estas fitohormonas son más económicas y fáciles de conseguir.

El ácido salicílico es una fitohormona que poco se ha estudiado en los procesos de morfogénesis *in vitro*, Fajardo *et al*. (2015), encontraron que la adición de AS al medio de cultivo aceleró la formación de callos en clones de cacao, además de incrementar metabolitos secundarios, y Hernández *et al*. (2021), reportaron organogénesis directa en explantes de raíz de microplantas preincubadas en AS de *L. autumnalis*; de acuerdo a lo anterior, se postuló la hipótesis que el pretratamiento con AS en microplantas de *L. autumnalis* podría inducir o favorecer respuestas hacia la morfogénesis. En este trabajo se encontró que favoreció la organogénesis directa de múltiples brotes, efecto similar al encontrado en microplantas de papa empleando salicilatos (Mora y López, 2012), por lo que el uso de AS para procesos morfogénicos en una alternativa.

Conclusiones

1. El uso de explantes de hoja de microplantas de *L. autumnalis* preincubadas en AS 10^{-5} M y cultivadas en BAP 1.0/ANA 1.0 mg/L favoreció la organogénesis directa de múltiples brotes.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal del INIFAP, por la asesoría prestada a este trabajo. A la Dra. Aucencia Emeterio Lara por la información e identificación de la problemática generada sobre *L. autumnalis* en el sur del Estado de México. A Araceli García Vara, Stephanie Ceballos Vásquez y Annet Michel Cruz Sosa por la asesoría a este trabajo.

Literatura Citada

Aguilar, M. C., L. M. Melgarejo y M. Romero. 2010. Fitohormonas. p. 39-62. *In*: Melgarejo, L. M. (ed.). Experimentos en Fisiología Vegetal. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Biología. Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Bogotá, Colombia.

Azofeifa, Á. 2009. Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes cultivados *in vitro*. Agronomía Mesoamericana 20(1):153-175.

Chugh, S., S. Guha, and I. U. Rao. 2009. Micropropagation of orchids: A review on the potential of different explants. Scientia Horticulturae 122(4):507-520.

Emeterio-Lara, A., V. Palma-Linares, L. M. Vázquez-García y J. Mejía-Carranza. 2016. Usos y comercialización de orquídeas silvestres del sur del Estado de México. Polibotánica 42:197-214.

Espinoza, N. O., R. Estrada, D. Silva-Rodriguez, P. Tovar, R. Lizarraga and J. H. Dodds, 1986. The potato: A model crop plant for tissue culture. Outlook on Agriculture 15(1):21-26.

Fajardo, R. L., J. J. Silva P., Y. Viera T. y Y. Cobas R. 2015. Efecto del ácido salicílico sobre la formación de callos en tres clones de *Theobroma cacao* L. Biotecnología Vegetal 15(4):217-225.

Gómez, C., M. Uribe, D. Ríos y M. Sánchez-Olate. 2006. Inducción de callo embriogénico en *Eucaliptus globulus* Labill. Interciencia 31(10):734-738.

Hernández, B. M., J. M. Olivares A., A. García V. y M. E. Mora H. 2021. Evaluación de segmentos de hoja de *Laelia autumnalis* para uso en organogénesis mediado por ácido salicílico. p. 146-149. *In*: Uresti, G. J. y L. Reyes M. (comps.) Memoria Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Ciudad de México.

Long, B., A. X. Niemiera, Z. Y. Cheng and C. L. Long. 2010. *In vitro* propagation of four threatened *Paphiopedilum* species (Orchidaceae). Plant Cell, Tissue and Organ Culture 2(101):151-162.

Mora, H. M. E. y H. López D. 2012. Inducción de organogénesis en microplantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) empleando ácido acetil salicílico. p. 14-15. *In*: Memoria del XXV Congreso de la Asociación Latinoamérica de la Papa. Uberlandia, M.G., Brasil.

Mora-Herrera, M. E., H. López-Delgado, A. Castillo-Morales and C. H. Foyer. 2005. Salicylic acid and H_2O_2 function by independent pathways in the induction of freezing tolerance in potato. Physiologia Plantarum. 125(4):430-440.

Murashige, T., y F. Skoog. 1962. A Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 15(4):473-497.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 1992. Cumbres para la Tierra. Programa 21. https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter15.

Raven, P. H., R. F. Evert y S. E. Eichhorn. 1992. Biología de las plantas. Ed. Reverté. Barcelona, España. 424 p.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2018. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm [consultado el 12 de julio de 2022].

Zeng, S. J., S. Liang, Y. Y. Zhang, K. L. Wu, J. A. Teixeira da S. and J. Duan. 2013. *In vitro* flowering red miniature rose. Biologia Plantarum 57(3):401-409.

CRECIMIENTO DE CAFÉ RESISTENTE Y SUSCEPTIBLE A LA ROYA POR EFECTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN INVERNADERO

Anahí Morillón Navarrete[11], Karina Lizeth Arroyo González[1], Gabriel Rincón Enríquez[1], Nancy Garcia Roa[1], Wilber Belén Aguilar Flores[1] y Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar[1]*

Resumen

En las últimas décadas, la roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, ha sido la enfermedad con mayor impacto económico en el cultivo de café, esto ha llevado a la búsqueda de alternativas a corto y largo plazo para su control, desde el uso de fungicidas preventivos, hasta el empleo tanto del control biológico como de variedades resistentes a la enfermedad. En las variedades susceptibles que se infectan con roya, la incidencia de la enfermedad puede ser muy alta si las condiciones climáticas son favorables. Dado que el café es una planta micotrófica, en los últimos años se ha evaluado el potencial de consorcios nativos de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) como biofertilizantes, ya que han demostrado promover el crecimiento vegetativo de las plantas, además se sabe que la relación HMA-planta no es específica y que la colonización micorrízica puede depender de algunas variables como las condiciones físico-químicas del suelo, la especie de inóculo utilizado o la planta y sus metabolitos secundarios. En el presente trabajo el objetivo fue evaluar el efecto de dos cepas y dos consorcios de HMA en la misma especie de café, pero en dos variedades diferentes, una por su naturaleza resistente (Oro Azteca) y otra susceptible (Caturra) a la roya sobre el crecimiento vegetal, para determinar si existe un patrón de crecimiento similar en ambas variedades. Se realizó un experimento bajo un diseño completamente al azar de 10 tratamientos con 10 repeticiones y las variables de respuesta que se evaluaron tres meses después de la inoculación fueron altura de planta, volumen foliar, volumen radical, peso fresco de la parte aérea y peso fresco de la raíz. Se encontró que la variedad resistente presentó

[1] Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco, Unidad Zapopan. Camino Arenero 1227, El Bajío, C.P. 45019 Zapopan, Jalisco. *Correspondencia: equinones@ciatej.mx

diferencias significativas (Tukey; p≤0.05), donde los mayores efectos positivos en su crecimiento vegetal se dieron con uno de los consorcios micorrízicos, mientras que la variedad susceptible lo hizo con las mono-especies de los HMA (Tukey; p≤0.05).

Palabras clave: biofertilizante, variedades de café, mono-especie, consorcio de HMA

Introducción

Existen más de 100 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) relacionados con la planta de café, la micorriza en este cultivo fue observada por primera vez en 1897 (Hernández *et al*., 2021). Se sabe que una de las contribuciones al desarrollo de la agricultura sostenible es el uso de los HMA, que han surgido como una alternativa a la sustitución de fertilizantes químicos en el suelo debido principalmente a que en los últimos años se ha observado un incremento en el costo de los fertilizantes comerciales, ha aumentado la producción de café orgánico principalmente en los estados del sureste del país y se ha demostrado que confieren ciertas ventajas a las plantas con respecto a las que no cuentan con micorriza (Hernández *et al*., 2021). Dentro de estas ventajas se encuentra ayudar a la planta a tomar nutrientes de poca o nula disponibilidad en el suelo, aumentar su tolerancia ante condiciones de estrés abiótico, conferir protección indirecta contra ciertos patógenos, además de contribuir a mantener la fertilidad del suelo al formar agregados y por ende a la restauración del ecosistema. Las asociaciones micorrízicas son cosmopolitas y generalistas, ya que están presentes en la mayoría de hábitats naturales y en la mayoría de plantas (Álvarez, 2012). La roya se ha posicionado como la principal amenaza al cultivo de café y al ser este cultivo considerado como el producto agrícola más importante en el comercio internacional (SENASICA, 2017), es sumamente importante su control para disminuir su impacto en las economías totalmente dependientes de las exportaciones de este cultivo, así como para buscar la manera de que afecte lo menos posible la producción y el rendimiento. Además del uso de variedades resistentes a la roya, se ha evaluado el efecto bioprotector de los HMA frente a ella, al conferir a la planta mayor fortaleza en el sistema radicular que lo vuelve más resistente a los patógenos. Se ha encontrado que con el uso de HMA tanto de una sola especie como de un consorcio

nativo es posible observar una menor incidencia y menor nivel de severidad de la enfermedad en la variedad de café Caturra (Vallejos *et al*., 2021), en las variedades Típica y Costa Rica 95 (Flores, 2022) y en las variedades Sarchimor y Bourbon (Aguilar, 2022). Por lo cual, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto en el crecimiento vegetal de dos variedades de café con distinto grado de susceptibilidad a la roya del café inoculadas con distintas especies de hongos micorrízicos arbusculares a nivel de invernadero.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el invernadero de Fitopatología del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), ubicado en la ciudad de Zapopan, Jalisco. Los materiales biológicos utilizados fueron plantas de café (*Coffea arabica* L.) de dos variedades, una susceptible a la roya (Caturra) y otra resistente a ella (Oro Azteca), y cinco tipos de inóculos de HMA: dos mono-especies: *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices* y dos consorcios: Cerro del Metate (CM), aislado de muestras de suelo del Cerro del Metate, municipio de Tzitzio, Michoacán (Trinidad *et al*., 2017) y Las Campesinas (LC) aislado de muestras del suelo de Las Campesinas, Municipio de Madero, Etúcuaro, Michoacán (Trinidad *et al*., 2017) y un control sin esporas de HMA.

Trasplante de las plantas de café e inoculación de los HMA

Se utilizaron plantas de café con dos hojas verdaderas, las cuales se trasplantaron a macetas de 5 kg que contuvo sustrato compuesto por: suelo, arena y agrolita (60:30:10; v/v/v) esterilizado en autoclave (120°C, 1.05 kg cm^2, 6 h). Las plantas se inocularon al momento del trasplante en el área de la raíz con 100 esporas de HMA por planta y se mantuvieron bajo condiciones de invernadero con control de humedad, mediante dos riegos a capacidad de campo por semana.

Diseño experimental

Se estableció un experimento completamente al azar con 10 tratamientos y 10 repeticiones cada uno. Los tratamientos consistieron en la combinación de dos factores de estudio: variedad de café (dos niveles: Caturra, Oro Azteca) e inóculo de HMA (cinco niveles: *F. mosseae*, *R. intraradices,* consorcio CM, consorcio LC y sin HMA). A los 30 meses del establecimiento del

experimento se realizó un muestreo destructivo final, se separó la parte aérea de la raíz para ser cuantificados.

Variables de respuesta y análisis estadístico

A los 30 meses se evaluaron las variables de respuesta siguientes: altura de la planta (AP) partiendo de la base del tallo hasta el ápice de la última hoja con una cinta métrica; volumen foliar (VF) por medio de una probeta graduada; volumen de raíz (VR); peso fresco de la parte aérea (PFPA) por medio de una balanza analítica y peso fresco de raíz (PFR). El análisis estadístico consistió en un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico StatGraphics (StatPoint, 2005).

Resultados y Discusión

Efecto de los HMA en el crecimiento de las plantas de café

La variable altura de la planta como se muestra en la Figura 1, denota mejores resultados en la variedad Caturra que es susceptible a la roya que en la variedad Oro Azteca que es resistente a la roya. Para la variedad Caturra el mejor tratamiento, con el que se obtiene una mayor altura, se observó con el consorcio Cerro del Metate, seguido de *F. mosseae* y *R. intraradices,* sin embargo, esta altura es similar a la obtenida en el control que no contiene HMA. Por otra parte, la variedad Oro Azteca, aunque tuvo menores alturas presentó una mayor diferencia con respecto al control y se obtuvo la mayor altura con el consorcio Las Campesinas, seguida por el consorcio Cerro del Metate. De manera general, en ambas variedades, se obtiene un mejor resultado con el uso de consorcios que con el uso de mono-especies de HMA para esta variable. Anteriormente, se ha evaluado la influencia de los HMA en la altura de las plantas, se ha reportado que en caña de azúcar el tratamiento con el uso de HMA superó en altura de planta a un tratamiento con un testigo que usó 100% fertilización química. Asimismo, en café se ha observado un aumento de la altura en un 45% utilizando como inóculo *R. clarus* (Hernández *et al*., 2021). Esto es benéfico ya que en un periodo corto de tiempo como lo son 5 meses, plantas de café inoculadas con un consorcio de HMA pueden alcanzar alturas superiores a 30 cm y ser trasladadas a campo optimizando el tiempo de permanencia en vivero (Flores, 2022).

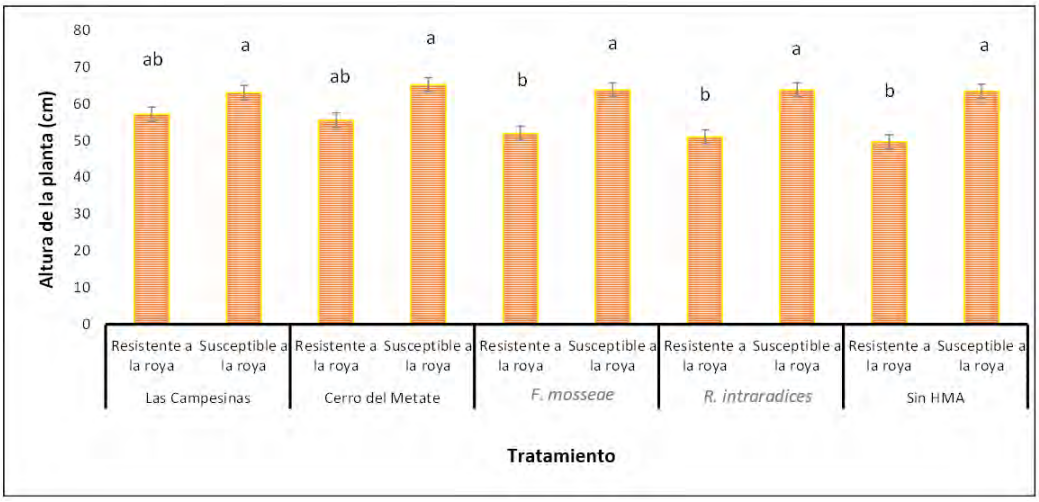


Figura 1. Efecto de distintos inóculos de HMA en la altura de plantas de café resistentes (Var. Oro Azteca) o susceptibles (Var. Caturra) a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en condiciones de invernadero después de 30 meses de establecido el experimento. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0.05). Las barras en cada rectángulo indican ± el error estándar.

En cuanto al volumen foliar, como se observa en la Figura 2A, se obtienen mejores resultados en la variedad Caturra en comparación con la variedad Oro Azteca, a excepción del tratamiento con el consorcio Cerro del Metate, que incluso es el mejor tratamiento para el caso de la variedad Oro Azteca, seguido del tratamiento con *F. mosseae,* sin embargo, el tratamiento con *R. intraradices* fue el mejor para la variedad Caturra, seguido del consorcio Las Campesinas, pero en este último no se encontraron diferencias significativas (p≤0.05) en comparación al control sin HMA. De acuerdo con Del Aguila (2016), con el uso de HMA, la producción de área foliar de café en vivero se incrementa entre 10 al 263% con respecto a los controles. En este caso, esa aseveración no se cumple para la variedad Oro Azteca al utilizar como inóculo a *R. intraradices* y para la variedad Caturra al utilizar como inóculo el consorcio Cerro del Metate con el que se obtiene un valor incluso menor que con el control, ni al utilizar *F. mosseae.* El incremento en el área foliar se atribuye a la capacidad de los HMA de formar una red extensiva de hifas extrarradicales, que permite una mayor exploración de suelo, lo que favorece la actividad fotosintética y la nutrición (Cristóbal *et al*., 2022).

Los HMA pueden incrementar la intensidad de ramificación de las raíces (Flores, 2022), como se observa en la Figura 2B*,* se obtienen mejores resultados para el volumen radicular con la variedad Caturra, sin embargo, el mejor resultado se obtiene con el control sin HMA, seguido del consorcio Cerro del Metate y de *F. mosseae.* Para el caso de la variedad Oro Azteca, el

mejor resultado se obtuvo con el consorcio Cerro del Metate seguido de *F. mosseae* y se observa una mayor diferencia entre el control sin HMA.

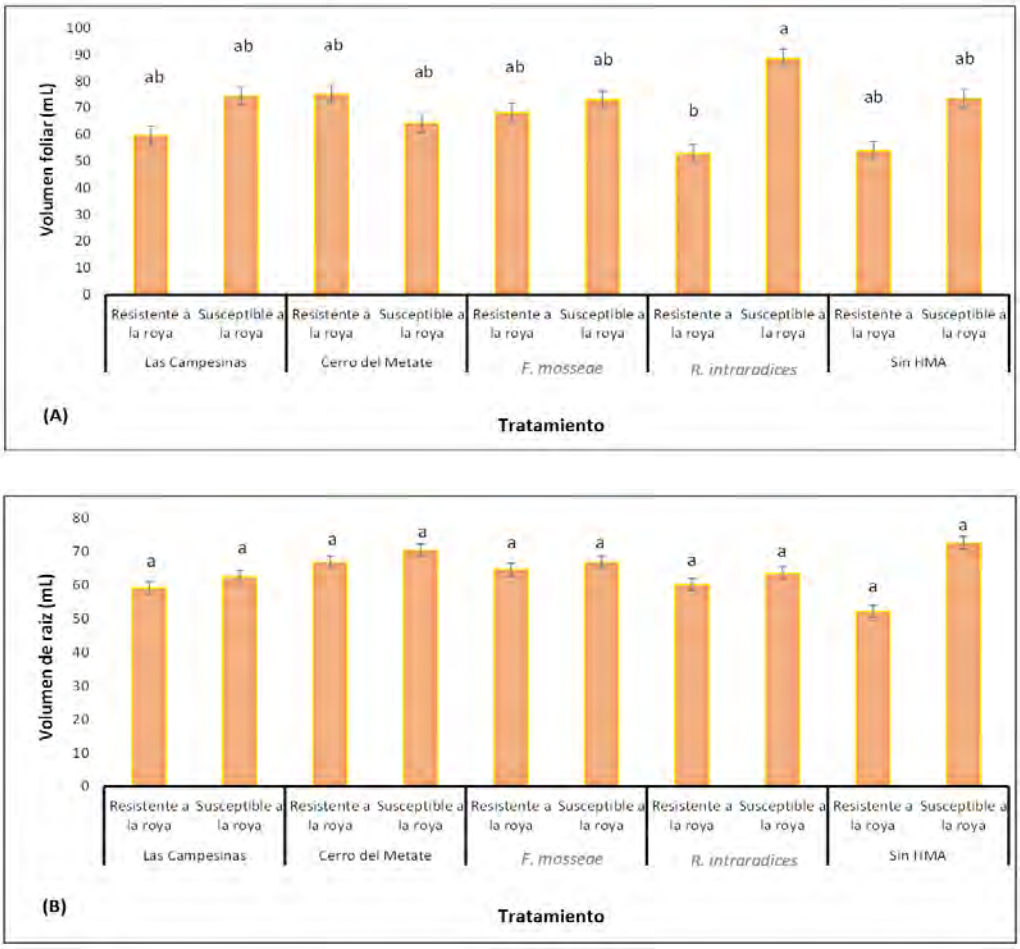


Figura 2. Efecto de distintos inóculos de HMA en el volumen foliar (A) o radical (B) en plantas de café resistentes (Var. Oro Azteca) o susceptibles (Var. Caturra) a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en condiciones de invernadero después de 30 meses de establecido el experimento. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0.05). Las barras en cada rectángulo indican ± el error estándar.

Con respecto al peso fresco de la parte aérea, como se puede observar en la Figura 3A, para la variedad Caturra se obtuvo el mejor tratamiento con *R. intraradices*, seguido del consorcio Las Campesinas, mientras que para la variedad Oro Azteca el mejor tratamiento fue con el consorcio Cerro del Metate, seguido de *F. mosseae.* De acuerdo con Rodríguez (2001), el volumen radical tiene mucha relación con el peso fresco y existe una influencia positiva de una mayor cantidad de raíces para la planta, lo que podría explicar el efecto de bioprotección de

los HMA al disminuir el daño de nemátodos cerrándoles de alguna manera los espacios de infección, que resultan en raíces más ramificadas y largas.

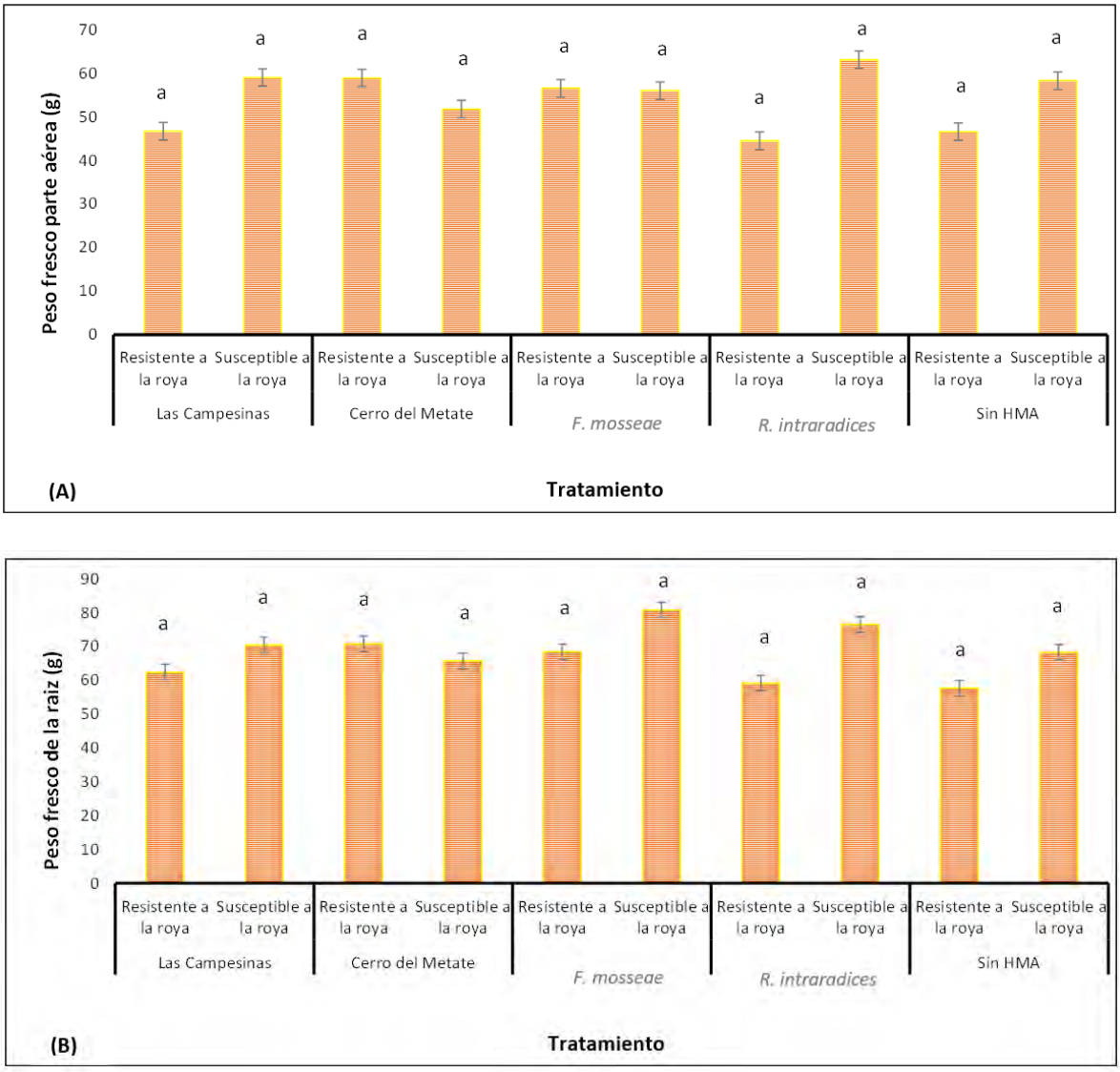


Figura 3. Efecto de distintos inóculos de HMA para el peso fresco de la parte aérea (A) o radical (B) en plantas de café resistentes (Var. Oro Azteca) o susceptibles (Var. Caturra) a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en condiciones de invernadero después de 30 meses de establecido el experimento. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0.05). Las barras en cada rectángulo indican ± el error estándar.

En este sentido, la variedad Oro Azteca tuvo el mismo comportamiento para volumen radical, lo que podría confirmar esta relación, pero no aplica lo mismo en el caso de la variedad Caturra. La raíz micorrizada tiene ventajas sobre la no micorrizada porque el micelio externo se extiende

a mayor distancia que los pelos radicales absorbentes, lo cual favorece el crecimiento y producción de materia seca (Barrera, 2012). En el caso del peso fresco de raíz, como se observa en la Figura 3B, el mejor resultado para la variedad Caturra se obtiene con *F. mosseae* seguido de *R. intraradices* y del consorcio Las Campesinas, pero en el caso de la variedad Oro Azteca, el mejor resultado se obtiene con el consorcio Cerro del Metate, seguido de *F. mosseae* y del consorcio Las Campesinas.

Conclusiones

Se observó una tendencia en la variedad resistente a la roya (Oro Azteca) con respecto al inóculo del consorcio Cerro del Metate y en segundo lugar con *Funneliformis mosseae* con los cuales se genera un mayor crecimiento en las variables de respuesta de volumen foliar, volumen radical, peso fresco de la parte aérea y peso fresco de la raíz, con excepción de la altura de la planta, en la que el mejor resultado se obtuvo con el consorcio Las Campesinas, lo que muestra una mejor respuesta de las plantas de café a los consorcios. En el caso de la variedad susceptible a la roya (Caturra), se observó un mayor crecimiento con las mono-especies utilizadas y en segunda instancia con los consorcios de los HMA, predominando la afinidad con el consorcio Las Campesinas. Distintas variedades de una planta de café presentan respuestas de crecimiento diferentes ante los mismos tratamientos de HMA.

Agradecimientos

Anahí Morillón-Navarrete agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para sus estudios de maestría (CVU 1135666). Esta investigación fue apoyada por proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ.

Literatura Citada

Aguilar, W. 2022. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de café orgánico y su efecto sobre *Hemileia vastatrix*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. 62 p.

Álvarez, J. y A. Monroy. 2012. Técnicas de estudio de los HMA y sus impliaciones en la restauracion. SEMARNAT-CONACyT 2002-c01-668. Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria, CDMX, México. 231 p.

Barrera, L. 2012. Evaluación de micorrizas nativas en plantas de plátano Hartón (*musa AAB* Simmonds) en fase de vivero. Acta Agronomica 61(4): 315-324.

Cristóbal, J., A. Lima, y J. Tun. M. 2022. Hongos micorrízicos arbusculares aceleran el tiempo de crecimiento de portainjertos de guanábana (*Annona muricata* L.). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 9(1): 3226. 13 p.

Del Aguila, K. 2016. Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares a plantones de café (*Coffea arabica*), variedad caturra a nivel de vivero en la región san martín. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. 94 p.

Flores, E. 2022. Efecto bioprotector con hongos micorrizícos arbusculares nativos sobre *Hemileia vastatrix* de la región Frailesca, Chiapas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. 58 p.

Hernández, E., J. Banuelos y D. Trejo. 2021. Revisión: Distribución y efecto de los hongos micorrízicos en el agroecosistema de café. Revista de Biología Tropical 69 (2): 445-461.

Hernández, E., D. Trejo, A. Rivera y R. Ferrera. 2021. La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. Terra Latinoamericana 38: 613-628.

Rodríguez, J. L. 2001. Efecto del biofertilizante Mycoral (micorriza arbuscular) en el desarrollo del cafe (*Coffea arabica* L.) en vivero en Zamorano, Honduras. Tesis de licenciatura. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. 40 p.

SENASICA 2019. Roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome). Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Ciudad de México. Última actualización: mayo de 2019. Ficha Técnica No. 40. 16 p.

StatPoint, Inc. StatGraphics Centurion XV version 15.02.06, 2005. Warrenton, Virginia, USA. www.statgraphics.com

Trinidad, J. R., E. E. Quiñones, L. V. Hernández, L. López, y G. Rincón. 2017. Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de Agave cupreata en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. Scientia Fungorum 45: 13-25.

Vallejos, G., A. Saboya y L. Arévalo. 2021. Efecto Bioprotector de Micorrizas Arbusculares en la Reducción de Roya (*Hemileia vastatrix*) en la Región San Martín. Revista Agrotecnológica Amazónica 1(1): 34-44. 13 p.

TRATAMIENTOS NO QUÍMICOS PARA EL CONTROL *in vitro* DE *Neofusicoccum parvum* Y *Eschericha coli* (ATCC 8739)

Juan Antonio Herrera González[1 2]*, Porfirio Gutiérrez Martínez[1], Cristina Moreno Hernández[1], Carlos A. Rodríguez Guzmán[1], Surelys Ramos Bell[1], Rosamaría Esparza Nevárez[1] y Rita M. Velázquez Estrada[1]

Resumen

Las enfermedades post-cosecha son la principal causa de pérdidas de calidad en el fruto de aguacate. México es el principal productor y exportador de aguacate en el Mundo con 1.8 millones de toneladas producidas en el 2021 y el 29.3% a nivel global. Por lo que las enfermedades post-cosecha son inherentes a su producción y exportación de aguacate a mercados nacionales e internacionales. Los patógenos causan el deterioro de la calidad el fruto llegando a ocasionar perdidas entre 20 a 40% en cortos periodos de refrigeración y hasta un 95% en largos periodos de refrigeración. *Neofusicoccum parvum* es un hongo patógeno que ya ha sido reportado como causante de enfermedades en frutos (mancha negra) y en ramas (muerte regresiva) de aguacate en México, hongo cosmopolita y tiene una amplia distribución geográfica en áreas tropicales y subtropicales. Por otro lado, las enfermedades transmitidas por alimentos del género *Escherichia* [de la familia Enterobacteriaceae, de bacilos anaerobios facultativos Gram-negativos, de metabolismos fermentativo y/o respiratorio] tienen una amplia gama de huéspedes a los cuales tienen que sobrevivir para provocar la infección o intoxicación. Ante la necesidad global de reducir el uso de fungicidas/bactericidas sintéticos, es necesario integrar sistemas de control alternativos, que sean de bajo costo, efectivos y reconocidos generalmente como seguros (GRAS). Los compuestos GRAS que se pueden utilizar deben de tener actividad antifúngica/bactericida y actividad inductora de mecanismo de defensa en el fruto, ya que se pretende su futura aplicación *in vivo*. Se evaluó el crecimiento celular de *N. parvum* y *E. coli* aplicando tratamientos-no-químicos a base de quitosano y

[1] TecNM-Instituto Tecnológico de Tepic, Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos. Av. Tecnológico 2595, Lagos de Country, Tepic, Nayarit 63175, México.
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Uruapan. Av. Latinoamericana 1101, Col. Revolución, Uruapan, Michoacán 60150, México. (herrera.juanantonio@inifap.gob.mx)

compuestos naturales (GRAS). El efecto de los tratamientos-no-químicos sobre el crecimiento del micelio fue diferente. El efecto de los tratamientos-no-químicos sobre el crecimiento (UFC) de *E. coli* (ATCC8739) fue diferente entre los tratamientos. Los tratamientos-no-químicos presentaron actividad antifúngica para *N. parvum* aislado de frutos de aguacate en postcosecha y antimicrobiana para *E. coli*.

Palabras clave: *Persea americana* Miller, enfermedades, fungicida, bactericida

Introducción

Las enfermedades post-cosecha son la principal causa de pérdidas de calidad en el fruto. México es el principal productor y exportador de aguacate en el Mundo con 1.8 millones de toneladas producidas en el 2021 y el 29.3% a nivel global (FAOSTAT, 2020; SIAP, 2020). Por lo que las enfermedades post-cosecha son inherentes a la producción y exportación de aguacate a mercados nacionales e internacionales. Aunque se ha detectado al complejo de especies de *C. gloeosporioides* como causante de antracnosis y a *Lasiodiplodia theobromae* como causante de pudrición peduncular, hay otros patógenos que también están presentes en el fruto al momento de la cosecha y son de gran importancia. Estos patógenos causan el deterioro de la calidad el fruto llegando a ocasionar perdidas entre 20 a 40% en cortos periodos de refrigeración y hasta un 95% en largos periodos de refrigeración (Herrera-González *et al*., 2020).

Neofusicoccum parvum es un hongo patógeno que ya ha sido reportado como causante de enfermedades en frutos (mancha negra) y en ramas (muerte regresiva) de aguacate en México (Molina-Gayosso *et al*., 2012; Becerra-Morales *et al*., 2019) y pudrición peduncular en Nueva Zelanda (Hartill y Everett, 2002). *N. parvum* es un hongo cosmopolita y tiene una amplia distribución geográfica en áreas tropicales y subtropicales. Las enfermedades transmitidas por alimentos del género *Escherichia* [de la familia Enterobacteriaceae, de bacilos anaerobios facultativos Gram-negativos, de metabolismos fermentativo y/o respiratorio] tienen una amplia gama de huéspedes a los cuales tienen que sobrevivir para provocar la infección o intoxicación. Por lo que el sector salud y la industria alimentaria han hecho esfuerzos en la detección

obligatoria de este patógeno en frutas y verduras. Además de realizar análisis de riesgos rigurosos (HACCP, análisis de riesgos y puntos críticos de control). Por lo que unas de las áreas de investigación son la búsqueda de mejoras o alternativas para el control y prevención de patógenos transmitidos por los alimentos (Li *et al*., 2010; Ramos-García *et al*., 2012).

Ante la necesidad global de reducir el uso de fungicidas, es necesario integrar sistemas de control alternativos a los fungicidas químicos, que sean de bajo costo y efectivos reconocidos generalmente como seguros (GRAS). Uno de estos compuestos, el quitosano, biopolímero policatiónico capaz de formar películas, activar mecanismo de defensa en el fruto (efecto inductor) y actividad fungicida. Las sales orgánicas o inorgánicas también tienen efecto inductor y fungicida. Además, otros compuestos naturales como el ácido salicílico, silicato de sodio y el aceite esencial también tienen actividad antimicrobiana e inductora de mecanismo de defensa en frutos (Herrera-González *et al*., 2020; 2021).

Aunque los compuestos naturales o tratamientos-no-químicos se usan en el control de patógenos su aplicación para el control del deterioro de frutos y hongos causantes de enfermedades en aguacate, así como su uso como bactericida o bacteriostático es escaso. Por lo que esta investigación tiene como objetivo determinar el efecto antifúngico o bactericida de tratamientos-no-químicos sobre el crecimiento *in vitro* de *N. parvum* y *E. coli*.

Materiales y Métodos

Se utilizaron cepas de *N. parvum* proporcionadas por el Laboratorio de Biotecnología Alimentaria del Laboratorio Integral de Ingeniería en Alimentos del Instituto Tecnológico de Tepic, el cual fue aislado de frutos de aguacate. La cepa fue reactivada en agar papa dextrosa e incubada a 27°C ± 1°C por tres días. La cepa de *E. coli* (ATCC 8739) también fue proporcionada por el mismo laboratorio. La cual fue activada en agar soya tripto-caseína y 10% de extracto de levadura y se incubaron por 48 h a 37°C ± 1°C por 48 h, después en una solución salina de triptona pancreática se ajustó una concentración de 1 x10^9 unidades formadoras de colonias por mL (UFC) (absorbancia ≥1, 405 mn). Después se realizó una dilución a 10^5 UFC/mL, la cual fue utilizada posteriormente.

Para la preparación de los tratamientos-no-químicos a base de quitosano y compuestos naturales, se solubilizó quitosano a 0.5, 1 y 1.5%, así como soluciones madres de sorbato de potasio, ácido salicílico (solución alcalina con hidróxido de potasio 10%), silicato de sodio, benzoato de sodio y se realizaron nanoemulsiones a base de quitosano y aceite esencial de canela al 2.5%, la mezcla fue homogenizada a 10,000 rpm por 10 min y estabilizada con ultrasonido a una amplitud de 60 por 5 min. Las mezclas de los tratamientos-no-químicos se muestran en el Cuadro 1. Todos los tratamientos fueron usados *in vitro* para ambos patógenos, *N. parvum* y *E. coli*. En ambos patógenos se prepararon los medios: papa dextrosa y soya tripto-caseína más el tratamiento-no-químico. La incubación para *N. parvum* fue a 27°C ± 1°C por 72 h y para *E. coli* 37°C ± 1°C por 48 h. *N. parvum* fue inoculado en el centro de la caja de Petri con micelio de tres días de edad. En el caso de *E. coli*, se vació la mezcla de agar y tratamiento-no-químico en la caja de Petri más 100 µL de una suspensión a una concentración de 10^5 UFC, se realizaron 20 movimientos en forma del número ocho, para lograr que la bacteria se dispersara en el medio.

Variables evaluadas

Al finalizar la incubación de *N. parvum* se midió el diámetro del micelio con un vernier digital y se expresó en milímetros de crecimiento de cada tratamiento. Para *E. coli* se contabilizó el número de colonias que crecieron expresado como UFC por caja de Petri.

Se seleccionaron 4 muestras de *N. parvum* tratadas con tratamientos-no-químicos, para la microscopia electrónica de barrido, los tratamientos seleccionaos fueron Qui 1.5%, Qui 0.5% + Sorbato, Qui 0.5% + salicílico y NanoAEC. Las muestras fueron fijadas en glutaraldehído (2.5%), se eliminaron las burbujas con vacío. Se hicieron tres lavados con buffer fosfato soresen (pH 7.1, 1 M) por 20 min. Después se realizó tres de lavados de etanol con gradientes de 10%, desde 30% hasta 90%. Las muestras fueron secadas con CO_2 por 40 min (Sandri-780A) y se fijaron en el portamuestras y se recubrieron con oro en una ionizadora de metales (Ion Sputter JFC-1100, Jeol, Fine Coat) por 15 min. Las muestras se observaron en un microscopio electrónico de barrido (JEOL- JSM 6390) operado a 10 Kv y se realizó en la unidad de microscopía electrónica, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental uni-factorial, siendo los tratamientos-no-químicos (Cuadro 1) el factor de variación. Se realizaron análisis de varianza con el programa estadístico

STATISTICAL (StatSoft Inc., 2014) y los datos fueron presentados como un promedio ± error estándar.

Cuadro 1. Componentes de las mezclas de tratamientos-no-químicos en el control in vitro de N. parvum y E. coli.

No.	Mezcla de compuestos	Clave
1	Quitosano 0% (control)	Qui 0%
2	Quitosano 0.5%	Qui 0.5%
3	Quitosano 1.0%	Qui 1.0%
4	Quitosano 1.5%	Qui 1.5%
5	Quitosano 0.5% + Sorbato de potasio 1%	Qui 0.5% + Sorbato
6	Quitosano 0.5% + Ácido salicílico 2%	Qui 0.5% + salicílico
7	Quitosano 0.5% + Silicato de sodio 2%	Qui 0.5% + Silicato
8	Quitosano 0.5% + Benzoato de sodio 2%	Qui 0.5% Benzoato
9	Quitosano/nanoemulsión 50/50% (Quitosano 0.5% + 50 Nanoemulsión Chi 2% y aceite esencial)	Qui 50/50% (Qui + NanoAEC)
10	Quitosano/nanoemulsión 75/25% (Quitosano 0.5% + 50 Nanoemulsión Chi 2% y aceite esencial)	Qui 75/25% (Qui + NanoAEC)
11	Fungicida sintético (azoxistrobin 20.51% y fludioxonil 20.51%)	Fungicida
12	Nanoemulsión (Quitosano 2% y aceite esencial de canela)	NanoAEC

Resultados y Discusión

Efecto Antifúngico de tratamientos-no-químicos

El efecto de los tratamientos-no-químicos sobre el crecimiento del micelio de *N. parvum* se muestra en la Figura 1. Los tratamientos-no-químicos presentaron menor crecimiento del micelio respecto al control (Qui 0%) con diferencias significativas ($p < 0.05$). Siendo este último la de mayor crecimiento, el resto de los tratamientos creció por debajo de los 10 mm, incluso algunos tratamientos no presentaron crecimiento o desarrollo de micelio (Qui 0.5% + Silicato, Qui 50/50% [Qui + NanoAEC], Qui 75/25% [Qui + NanoAEC] y 12) NanoAEC). El fungicida sintético, que es el autorizado para el tratamiento postcosecha en aguacate, presentó un bajo crecimiento.

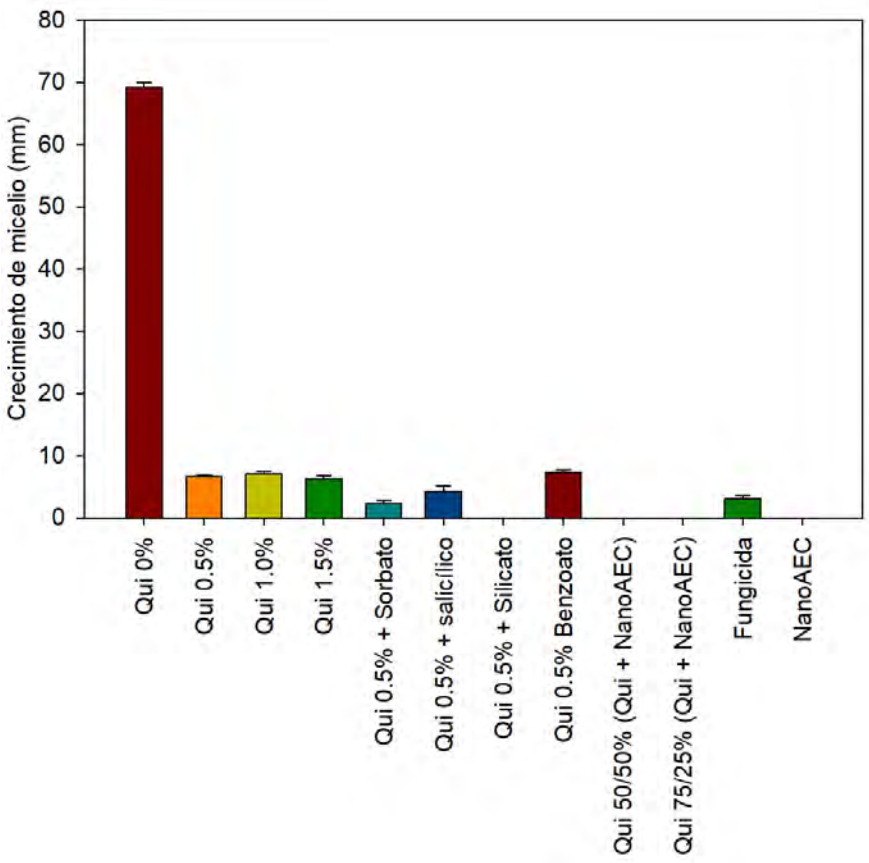


Figura 1. Efecto de tratamientos-no-químicos a base de quitosano y compuestos naturales sobre el crecimiento del micelio de *N. parvum* incubado por 3 días.

En la Figura 2 se muestra la apariencia de *N. parvum* en cajas de Petri con medio papa dextrosa y el tratamiento-no-químico, en algunos casos se puede observar crecimiento de micelio desorganizado, escaso, blanco y escasamente algodonoso de forma irregular. El micelio en el tratamiento con fungicida presentó un crecimiento bajo, pero de forma ordenada y de apariencia esponjosa, diferente a los tratamientos-no-químicos. En otros casos se puede observar bajo crecimiento de forma desorganizada y un gradiente de color alrededor de la muestra inoculada, este gradiente de color indica una interacción entre el micelio inoculado y el medio con el tratamiento-no-químico.

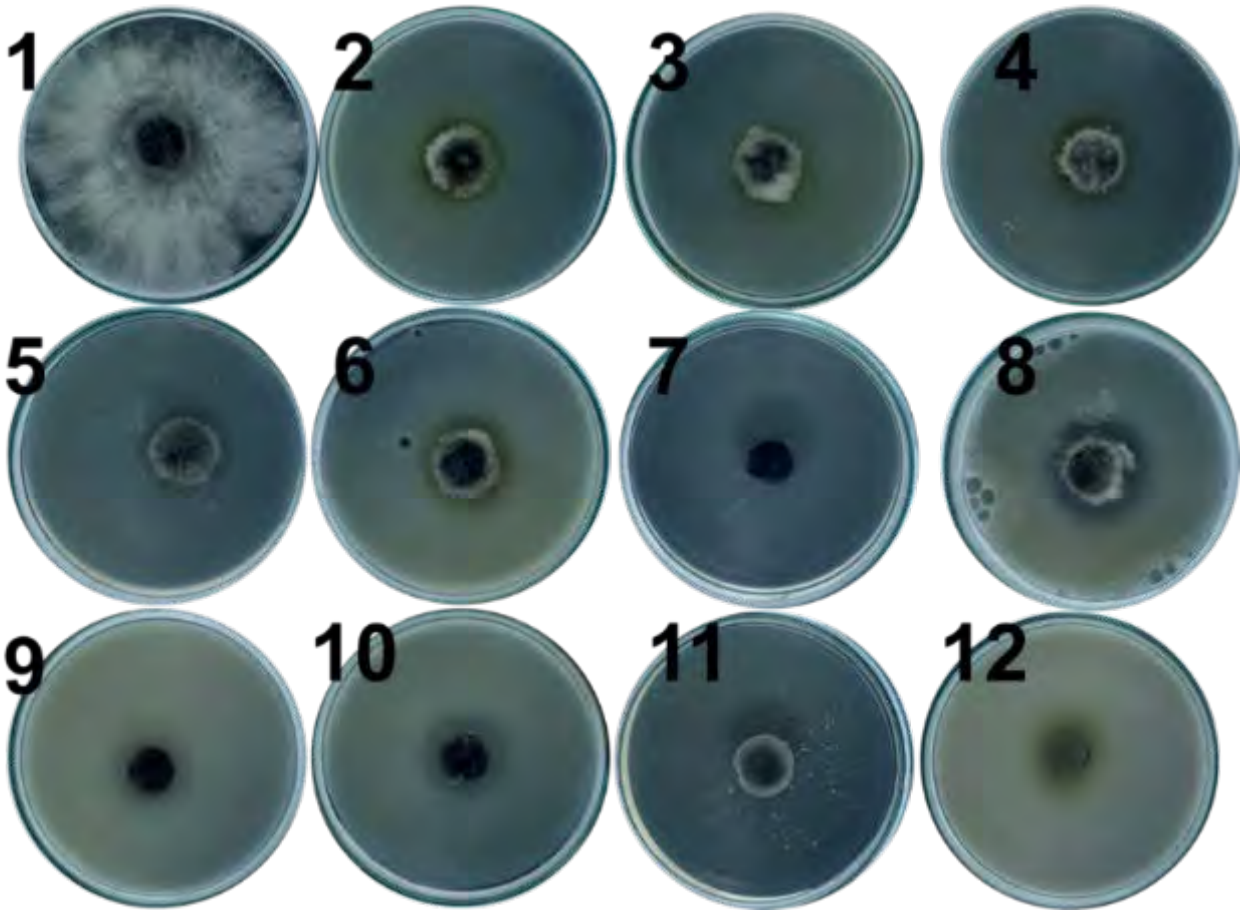


Figura 2. Apariencia de *N. parvum* en cajas de Petri con medio papa dextrosa y tratamientos-no-químicos después de 3 días de incubación. 1) Qui 0%, 2) Qui 0.5%, 3) Qui 1.0%, 4) Qui 1.5%, 5) Qui 0.5% + Sorbato, 6) Qui 0.5% + salicílico, 7) Qui 0.5% + Silicato, 8) Qui 0.5% Benzoato, 9) Qui 50/50% [Qui + NanoAEC], 10) Qui 75/25% [Qui + NanoAEC], 11) Fungicida y 12) NanoAEC.

En la Figura 3 se observan las micrografías de muestras de *N. parvum* tratadas con tratamientos-no-químicos que afectaron el desarrollo del micelio. El micelio en todos los casos se mostró desorganizado, deshidratado, colapsado y escaso.

La aplicación de quitosano ya ha sido reportada con acción antifúngica, en patógenos aislados de frutos de aguacate (Kaleda-Marino *et al*., 2018; Chávez-Magdaleno *et al*., 2019; Herrera-González *et al*., 2022). Este efecto antifúngico se debe que el quitosano se deposita en la superficie del micelio formando una película densa que limita los procesos metabólicos y la interacción con el medio. Por su naturaleza policatiónica, el quitosano interactúa con la pared y membrana celular, lo que conduce a un desequilibrio celular, salida de moléculas (nucleótidos, fosfatos, sustratos de enzimas, entre otros), afectando la respiración y

funcionamiento de la célula de hongo (Bautista-Baños *et al*., 2016; Herrera-González *et al*., 2021).

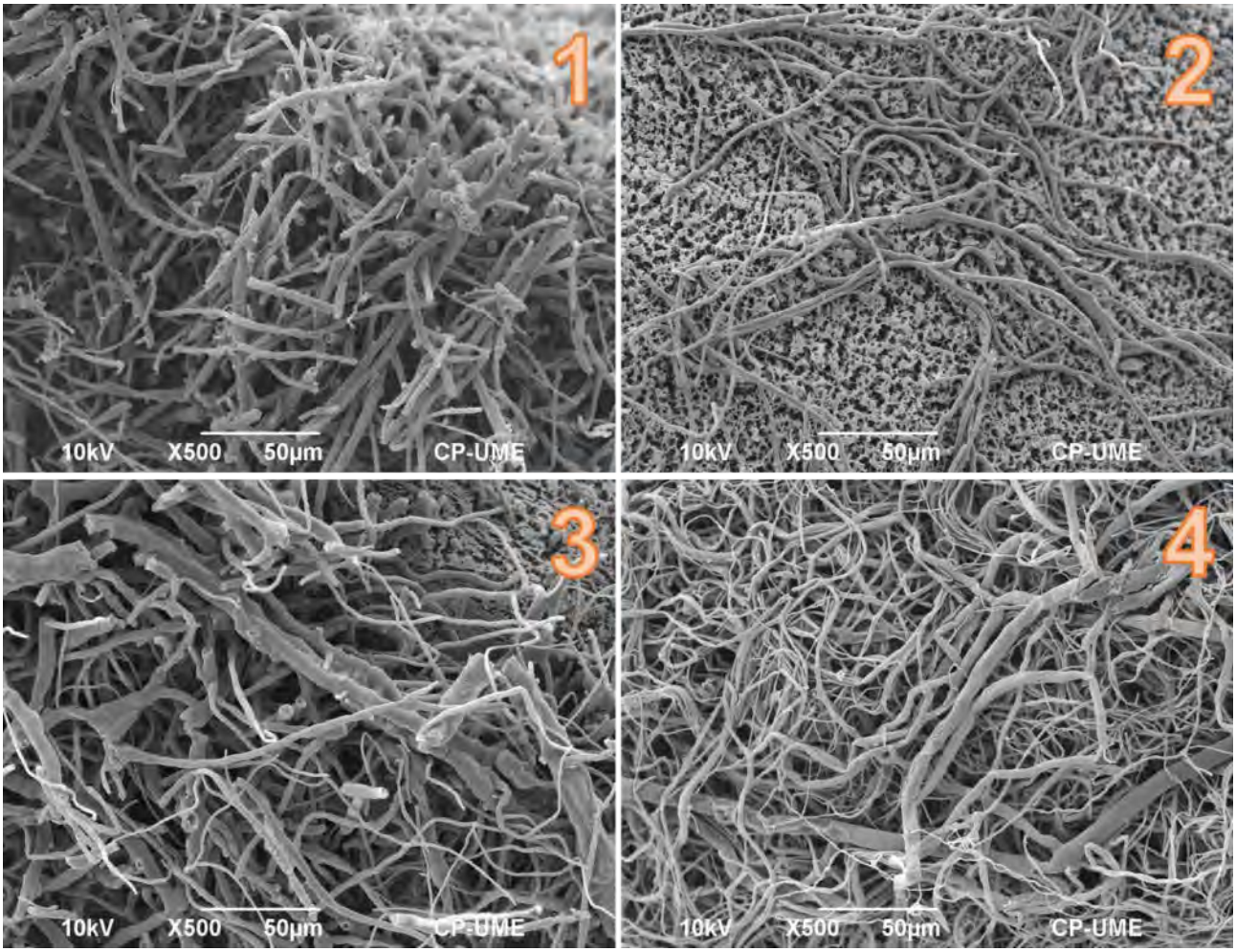


Figura 3. Micrografías de *N. parvum* aislado tratado con tratamientos-no-químicos después de tres días de incubación. 1) Qui 1.5%, micelio desorganizado; 2) Qui 0.5% + Sorbato, micelio escaso; 3) Qui 0.5% + salicílico, micelio colapsado y con rupturas; 4) NanoAEC, micelio colapsado y desordenado.

Los mecanismos de acción antifúngico de las sales es el efecto de amortiguador (modificación de pH) y el nivel osmótico. El efecto amortiguador altera la integridad y permeabilidad de la membrana del hongo. Alterando el transporte de nutrientes, que conducen a la inactivación y muerte celular. La reducción de la turgencia celular colapsa y contrae los conidios y/o higas del hongo (Rodríguez-Guzmán *et al*., 2021). Las nanoemulsiones (partículas < 100 nm) son una nueva herramienta en la preparación de compuestos activos que los transporte a lugares

o sitios específicos, así como una liberación prolongada, mejorando las propiedades de los compuestos activos. El quitosano por su biocompatibilidad y biodegradabilidad ha sido aplicado en el control de patógenos. Aunado a esto, los aceites esenciales, por su naturaleza hidrofóbica atraviesan la pared y membrana celular de los patógenos alterando la permeabilidad y salida de iones de calcio (Ca++), así como de proteínas y radicales. Dentro del patógeno los aceites esenciales alteran el transporte activo, el flujo de electrones, el pH, la respiración y producción de energía. Por lo que el patógeno pierde su homeostasis y muere (Chávez-Magdaleno *et al*., 2018; Warsito y Agustiani, 2021).

Efecto antimicrobiano de tratamientos-no-químicos

El efecto de los tratamientos-no-químicos sobre el crecimiento de *E. coli* (ATCC8739) fue diferente ($p < 0.05$) (Figura 4).

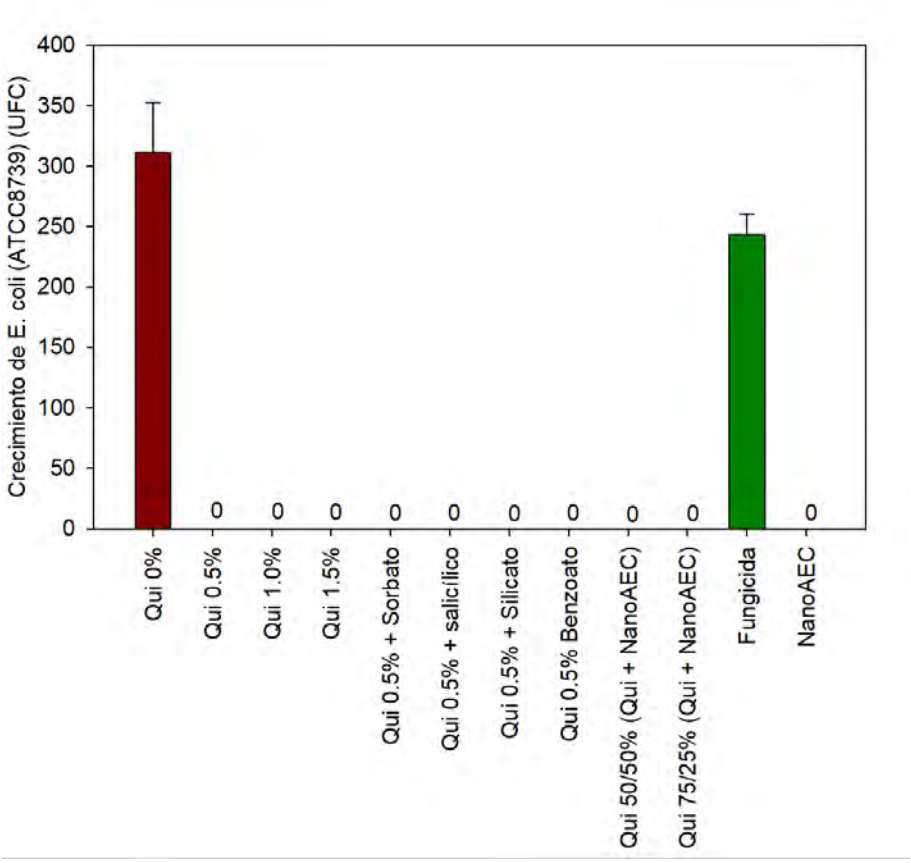


Figura 4. Crecimiento de *E. coli* (ATCC8739) en cajas de Petri que contenía soya y triptocaseía y tratamientos-no-químicos a base de quitosano y compuestos naturales, incubados por 48 h.

Siendo el tratamiento control (Qui 0%) y fungicida, los únicos que presentaron crecimiento de colonias de la bacteria (Figura 3). Los tratamientos a base de quitosano y compuestos naturales no presentaron crecimiento en las 48 h de incubación. Mientras que el fungicida, permitido para su uso en postcosecha de aguacate, no logró inhibir el crecimiento de *E. coli* (ATCC8739). Esto puede deberse a que el fungicida tiene un sitio y modo de acción especifico en los hongos, pero no en las bacterias (azoxistrobin-Modo de acción en hongos: respiración, complejo III, citocromo bc1-ubiquinol oxidasa, grupo químico metoxi-carbamatos; fludioxonil-modo de acción en hongos: traducción de señales, MAP/histidina quinasa, señales de traducción osmótica, grupo químico fenilpirroles) (FRAC, 2022).

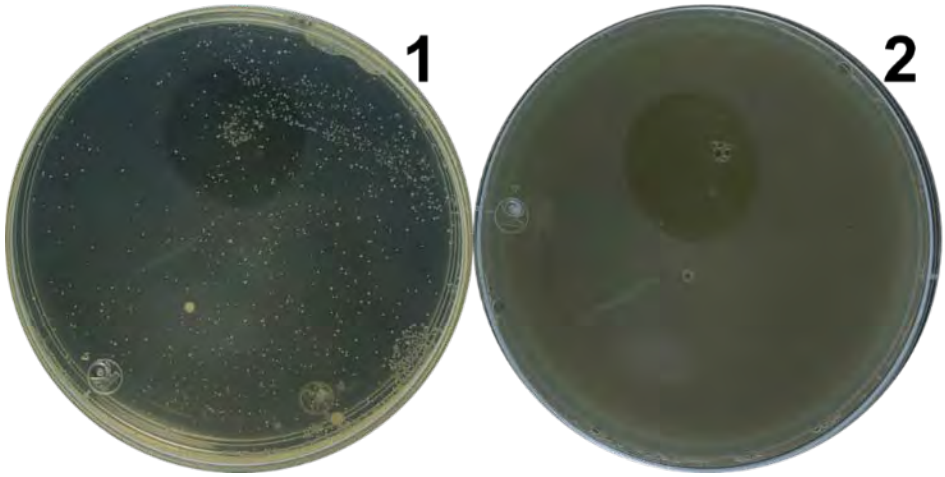


Figura 5. Crecimiento de *E. coli* (ATCC8739) en cajas de Petri que contenía soya y triptocaseía y tratamientos-no-químicos a base de quitosano y compuestos naturales, incubados por 48 h. 1) Qui 0% y 2) Qui 0.5%.

La eficiencia del quitosano como antimicrobiano ha sido bien documentado, encontrando que las bacterias Gram-negativo, como *E. coli*, son susceptibles a quitosano por su naturaleza hidrofílica (Figura 5). Además, la membrana externa de estas bacterias compuesta por lipopolisacáridos y fosfolípidos orientada hacia afuera de la célula, cargada negativamente, que interactúa con la estructura policatiónica del quitosano alterando su permeabilidad (Xing *et al*., 2015). Además, se ha demostrado que altas concentraciones de sales orgánicas (benzoato de sodio y sorbato de potasio) alteran la morfología de bacterias, descritos como cambios en la forma y permeabilidad de la célula. Dentro de la célula, las sales producen abundantes gránulos electrodensos, membrana separada de la pared celular y citoplasma. Por

lo que suponemos que el efecto de las sales aplicadas en este experimento tuvo un efecto sobre la ultraestructura de la bacteria *E. coli* (Santiesteban-López *et al*., 2019). El afecto antimicrobiano de la nanoemulsión, a base de quitosano y aceite esencial de canela, se debe a las propiedades hidrofóbicas que pasan a través de la membrana celular de la bacteria, alterando la permeabilidad que conduce a la salida de iones y material celular conduciendo a la bacteria a la muerte. Esto se debe a que los aceites esenciales tienen sitios y modos de acción múltiples (respiración, síntesis de aminoácido y proteínas, síntesis/transporte de lípidos e integridad/función de la membrana celular) (Bhavaniramya *et al*., 2019).

Conclusiones

Los tratamientos-no-químicos presentaron actividad antifúngica para *N. parvum* aislado de frutos de aguacate en post-cosecha y actividad antimicrobiana para *E. coli*. En futuras investigaciones es necesario establecer su aplicación en pre y post-cosecha de frutos, así como evaluar su efecto inductor de mecanismos de defensa, de formar películas y evaluación *in vivo* de *E. coli.*

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada.

Literatura Citada

Santiesteban-López, N. A., T. G. Cerón-Carrillo, J. L. Carmona-Silva, and J. Castro-Rosas. 2019. Electron microscopic studies in *Escherichia coli* on mode of action of sodium benzoate and potassium sorbate. International Journal of Food Science and Biotechnology 4(4): 82. https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20190404.11

Bautista-Baños, S., L. L. B. Necha, M. Hernández-López and F. Rodríguez-González. 2016. Morphological and ultrastructural modifications of chitosan-treated fungal phytopathogens. In S. Bautista-Baños, G. Romanazzi, and A. Jiménez-Aparicio (Eds.), *Chitosan in the Preservation of Agricultural Commodities* (pp. 251–275). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802735-6.00009-4

Becerra-Morales, D., Corrales García, J. E., Almaraz Sánchez, A., Ayala Escobar, V., and Nieto Ángel, D. (2019). First Report of *Neofusicoccum parvum*, Causal Agent of Dieback on 'Hass' Avocado Branches (*Persea americana* cv. Hass) in Atlixco, México. Plant Disease 103(12): 3283. https://doi.org/10.1094/PDIS-10-18-1808-PDN

Bhavaniramya, S., S. Vishnupriya, M. S. Al-Aboody, R. Vijayakumar and D. Baskaran. 2019. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. Grain and Oil Science and Technology 2(2): 49–55. https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.03.001

Chávez-Magdaleno, M. E., R. R. González-Estrada, A. Ramos-Guerrero, M. Plascencia-Jatomea and P. Gutiérrez-Martínez. 2018. Effect of pepper tree (*Schinus molle*) essential oil-loaded chitosan bio-nanocomposites on postharvest control of *Colletotrichum gloeosporioides* and quality evaluations in avocado (*Persea americana*) cv. Hass. Food Science and Biotechnology 27(6): 1871–1875. https://doi.org/10.1007/s10068-018-0410-5

Chávez-Magdaleno, M. E., P. Gutiérrez-Martínez, B. Montaño-Leyva, and R. R. González-Estrada. 2019. Evaluación *in vitro* del quitosano y aceites esenciales para el control de dos especies patógenas de Colletotrichum aisladas de aguacate (*Persea americana* Mill). TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas 22(1): 51–58. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.189

FAOSTAT. 2020. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FAOSTAT Statistical Database. https://www.fao.org/faostat/es/#data

FRAC. 2022. FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). Fungicide Resistance Action Committee. http://www.frac.info/

Hartill, W. F. T., and Everett, K. R. 2002. Inoculum sources and infection pathways of pathogens causing stem-end rots of 'Hass' avocado (Persea Americana). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *30*(4), 249–260. https://doi.org/10.1080/01140671.2002.9514221

Herrera-González, J. A., S. Bautista-Baños, S. Salazar-García, and P. Gutiérrez-Martínez. 2020. Current situation of postharvest handling and fungal diseases of avocado "Hass" for export in Michoacán, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(7): 1647–1660. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2402

Herrera-González, J. A., S. Bautista-Baños, M. Serrano, G. Romanazzi, and P. Gutiérrez-Martínez. 2021. Non-chemical treatments for the pre- and post-harvest elicitation of defense mechanisms in the fungi–avocado pathosystem. Molecules 26(22): 6819. https://doi.org/10.3390/molecules26226819

Herrera-González, J. A., D. A. Hernández-Sánchez, D. Bueno-Rojas, S. Ramos-Bell, R. M. Velázquez-Estrada, P. U. Bautista-Rosales, and P. Gutiérrez-Martínez. 2022. Effect of commercial chitosan on *in vitro* inhibition of *Colletotrichum siamense*, fruit quality and elicitor effect on postharvest avocado fruit. Revista Mexicana de Ingeniería Química 21(1): 1–5. https://doi.org/doi.org/10.24275/rmiq/Bio2706

Kaleda-Marino, A., J. S. Pinsetta-Junior, K. Marques-Magalhães, and B. H. Mattiuz. 2018. Chitosan-propolis combination inhibits anthracnose in “Hass” avocados. Emirates Journal of Food and Agriculture 30(8): 681. https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i8.1764

Li, X., X. Feng, S. Yang, G. Fu, T. Wang and Z. Su. 2010. Chitosan kills *Escherichia coli* through damage to be of cell membrane mechanism. Carbohydrate Polymers 79(3): 493–499. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.011

Molina-Gayosso, E., H. V. Silva-Rojas, S. García-Morales and G. Avila-Quezada. 2012. First report of black spots on avocado fruit caused by *Neofusicoccum parvum* in Mexico. Plant Disease 96(2): 287–287. https://doi.org/10.1094/pdis-08-11-0699

Ramos-García, M., E. Bósquez-Molina, J. Hernández-Romano, G. Zavala-Padilla, E. Terrés-Rojas, I. Alia-Tejacal, L. Barrera-Necha, M. Hernández-López and S. Bautista-Baños. 2012. Use of chitosan-based edible coatings in combination with other natural compounds, to control *Rhizopus stolonifer* and *Escherichia coli* DH5α in fresh tomatoes. Crop Protection 38: 1–6. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.02.016

Rodríguez-Guzmán, C. A., B. Montaño-Leyva, R. M. Velázquez-Estrada, J. A. Sánchez-Burgos, M. de L. García-Magaña, R. R. González-Estrada and P. Gutiérrez-Martínez. 2021. Estado actual de métodos alternativos, de control de hongos y su efecto en la calidad postcosecha de frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum*). TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas 24(1): 1–15. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.388

SIAP. 2020. Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

StatSoft Inc. 2014. STATISTICA (data analysis software system) (No. 12). http://www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features

Warsito, M. F., and F. Agustiani. 2021. A review on factors affecting chitosan nanoparticles formation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1011, 012027. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1011/1/012027

Xing, K., X. Zhu, X. Peng and S. Qin. 2015. Chitosan antimicrobial and eliciting properties for pest control in agriculture: a review. Agronomy for Sustainable Development 35(2): 569–588. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0252-3

GENES DIFERENCIALMENTE EXPRESADOS IDENTIFICADOS EN EL TRANSCRIPTOMA DE LIMÓN PERSA INFECTADO POR HLB

Humberto Estrella Maldonado[1*], Ricardo Santillán Mendoza[1], Carlos González Cruz[1] y Felipe Roberto Flores de la Rosa[1]

Resumen

El Huanglongbing (HLB) es la enfermedad más destructiva de los cítricos, convirtiéndose en la amenaza más seria para la industria citrícola alrededor del mundo. Los síntomas de esta enfermedad están asociados a la presencia de la α-proteobacteria "*Candidatus* Liberibacter asiáticus", restringida al floema de las plantas hospederas y diseminada por el psílido asiático de los citricos, *Diaphorina citri*. Actualmente, no existe cura para la enfermedad, provocando que los árboles infectados se vuelvan decadentes e improductivos y en algunos casos provoca la muerte. Aunque no existe un cultivar inmune, en el limón Persa (*Citrus x latifolia* Tan.) se ha observado cierta tolerancia de campo al HLB, sin embargo, se desconocen los mecanismos que confieren dicha tolerancia. Para comprender la infección de HLB en limón Persa se realizó un análisis transcriptómico utilizando hojas de plantas de limón Persa sin (asintomático) y con síntomas (sintomático) de HLB. Los resultados mostraron que se expresaron diferencialmente (DE) un total de 652 genes entre las dos condiciones (asintomática y sintomática a HLB). En total, 112 DEGs mostraron expresión únicamente en la muestra asintomática, 371 DEGs en la muestra sintomática, mientras que 169 DEGs mostraron expresión en ambas condiciones. Asimismo, 195 genes mostraron una baja expresión en la hoja asintomática, mientras 457 genes mostraron una alta expresión en hojas sintomáticas a HLB. El análisis de categorías funcionales de los DEGs indicó que estos genes están asociados principalmente a metabolismo energético, metabolismo de carbohidratos, procesos genéticos, procesos de señalización, procesos celulares, entre otros. En general, los resultados presentados en el presente trabajo proporcionan nuevos conocimientos sobre los mecanismos moleculares

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CIR Golfo Centro, Campo Experimental Ixtacuaco, Km 4.5 carretera federal Martínez de la Torre – Tlapacoyan, Cong. Rojo Gómez, CP. 93650, Tlapacoyan, Veracruz, México.
* Autor de correspondencia: estrella.humberto@inifap.gob.mx

involucrados a la respuesta del limón Persa ante la infección por HLB. De igual manera, la evidencia mostrada en nuestros resultados contribuye a una base teórica para un mayor estudio de la base molecular subyacente a la interacción entre el limón Persa y la infección por HLB en condiciones naturales de campo.

Palabras clave: estrés biótico, expresión diferencial, limón Persa, RNA-Seq

Introducción

La citricultura es una actividad económicamente importante en la fruticultura nacional, por lo tanto, su producción y comercialización es un referente atractivo. De esta forma, gran parte de la producción citrícola está destinada a la industria, para la elaboración de concentrados, complementos alimenticios, bebidas, obtención de aceites esenciales y ácido cítrico (SAGARPA, 2016).

A nivel mundial, México se ha posicionado como el quinto productor de cítricos, no obstante, es el segundo exportador mundial de limas y limones consiguiendo el 18% del valor de las ventas mundiales (SIAP, 2021). Actualmente, el país produce un total de 6´851,000 t de cítricos, de los cuales el 60.7% corresponde a la producción de naranjas, 27.4% de limones y limas, 5.7% de toronjas, 5.2% de mandarinas y el 1% de otros cítricos no especificados (SIAP, 2021). Referente al limón Persa (*Citrus x latifolia* Tan.), este cultivo ha adquirido una enorme importancia económica durante los últimos 20 años en México, el cual es reconocido como el segundo país productor en el mundo (Díaz *et al.,* 2013). Además, los estados de Veracruz, Oaxaca y Tabasco se han convertido en los principales productores de limón Persa al lograr casi el 80% del total de la producción a nivel nacional (SIAP, 2021).

Sin embargo, la citricultura mexicana enfrenta nuevos retos debido a las enfermedades producidas por bacterias, virus, hongos, micoplasmas y otros organismos similares, que ponen en riesgo su producción. Entre estas enfermedades se encuentra el Huanglongbing (HLB), o comúnmente conocido como “reverdecimiento de los cítricos”, considerada la enfermedad de los cítricos más destructiva desde el punto de vista económico en todo el mundo. A nivel nacional, el HLB fue reportado en 2009 en el municipio de Tizimin en Yucatán (Trujillo, 2010),

debido a que los cítricos se propagan de forma vegetativa, el HLB se esparció rápidamente en todas las regiones citrícolas del país, afectando a diversos cultivares de limón Persa. En México, Mora-Aguilera *et al.* (2014) reportaron pérdidas productivas por HLB de hasta un 42% para naranja dulce, 62% para limón mexicano y 17.3% en limón Persa. Actualmente, no existen variedades de cítricos que sean resistentes a HLB, por lo tanto, el manejo integrado regional incluye medidas de cuarentena, uso de yemas certificadas, eliminación del inóculo y control de los vectores, convirtiendo a estas medidas como la única alternativa disponible para controlar al HLB (Zhao, 2010).

HLB está asociado a la proteobacteria *Candidatus* Liberibacter asiaticus (*C*Las), la cual reside en el floema de las plantas infectadas causando una enfermedad de tipo vascular (Jagoueix *et al.,* 1994). Los árboles infectados por HLB producen brotes cloróticos, hojas con manchas moteadas, además que los frutos están deformes, reducidos, de baja calidad y cantidad, así como coloración anormal y semillas abortadas (Fu *et al.,* 2016). Aunque no existe un cultivar inmune, se ha descrito que los limones presentan cierta resistencia o tolerancia al HLB en condiciones de campo (Cheema *et al.,* 1982). Por lo anterior, con el fin de dilucidar la tolerancia que presentan los limones al HLB, se han realizado diversos estudios transcriptómicos durante la interacción del cítrico con el HLB mediante tecnologías de nueva secuenciación con la finalidad de desarrollar estrategias para el control de la enfermedad.

En la parcela del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) perteneciente al INIFAP en Veracruz, México, se observaron árboles de limón Persa que presentaban síntomas visibles a la infección por HLB. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio consistió en analizar a nivel del transcriptoma la respuesta de la infección por HLB en limón Persa en condiciones naturales. El estudio transcriptómico nos proporcionará información sobre los genes diferencialmente expresados (DEGs) en árboles que estuvieron infectados por HLB durante al menos varios meses bajo condiciones de campo.

Materiales y Métodos

Colecta de material vegetal

Fueron colectadas hojas de árboles de limón Persa sin indicios de infección por HLB (hojas asintomáticas), así como hojas con síntomas a la infección por HLB (hojas sintomáticas). Todas las muestras fueron colectadas en la parcela experimental de cítricos del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en las coordenadas 20° 2´ 35.48" N y 97° 5´ 52.60" O, Veracruz, México. Todas las muestras fueron almacenadas en nitrógeno líquido para su posterior análisis.

Extracción de ARN total

La extracción de ARN del tejido foliar se realizó usando el kit comercial Direct-zol™ RNA MiniPrep (Zymo Research). La concentración y pureza del ARN se determinaron con un espectrofotómetro Nanodrop One (Thermo Scientific NanoDrop Technologies, LLC, Wilmington, DE, EE. UU.). La integridad del ARN se verificó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1,5% durante 30 min a 80 V.

Preparación y secuenciación de las bibliotecas mediante RNA-Seq

Las muestras de ARN fueron verificadas mediante un Bioanalizador Agilent 2100 (Agilent Technologies). Se utilizaron muestras de ARN con valores RIN superior a 8 para realizar la síntesis de ADN complementario (ADNc) y su posterior secuenciación. La secuenciación de las bibliotecas de ADNc se llevó a cabo en la Unidad Universitaria de Secuenciación Masiva y Bioinformática del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UUSMB IBT-UNAM). El diseño experimental consistió en la construcción de 6 bibliotecas de ADNc (3 bibliotecas provenientes de hojas asintomáticas y 3 bibliotecas provenientes de hojas sintomáticas). Posteriormente, la secuenciación de las bibliotecas de ADNc se realizó utilizando la plataforma Nextseq 500 Illumina. Las bibliotecas multiplexadas se secuenciaron en una celda de flujo único de la para generar lecturas emparejadas de 76 pb. Cada análisis de RNA-Seq consistió de 20 millones de lecturas por muestra.

Ensamblado del transcriptoma

Lecturas de baja calidad fueron removidas con el software FastQC (versión 0.11.3) y solamente lecturas arriba de 32 nt fueron consideradas viables para realizar los posteriores

análisis bioinformáticos. Así las lecturas filtradas fueron alineadas con el software Smalt (versión 0.7.6). El ensamble *de novo* fue realizado con el software Trinity (versión 2.4) (Grabherr *et al.,* 2011) usando parámetros predeterminados. El análisis de calidad del ensamblaje se realizó con el software Quast (Gurevich *et al.,* 2013) donde fueron calculados métricas como el número total y longitud de los contigs usando parámetros L50 y N50.

Genes diferencialmente expresados

Se realizó un análisis de expresión diferencial entre las muestras asintomáticas y sintomáticas por HLB. El mapeo de las lecturas se realizó utilizando el software Bowtie2 (Langmead y Salzberg, 2012). Se usó el software RSEM con Bowtie2 (Li y Dewey, 2011) para contabilizar la abundancia de transcritos. Los resultados obtenidos de la cuantificación por RSEM se procesaron con el paquete DESeq de R/Bioconductor (Anders y Huber, 2010). Un análisis de distribución de Poisson con una p ajustada a ≤ 0,05, fue realizado para establecer genes diferenciales. La anotación funcional de los transcriptos fue realizada mediante los marcos de lectura abiertos, utilizando el software TransDecoder (versión 5.5.0). Se realizó un alineamiento con Blastn y Blastx con la finalidad de alinear los marcos de lectura abierto con un *e*-valor de corte de ≤ 10^{-5} (Altschul *et al.,* 1990). Finalmente, las secuencias de aminoácidos de las transcripciones reguladas negativamente y positivamente se cargaron en BlastKOALA para establecer la anotación funcional de las secuencias.

Resultados y Discusión

Para comprender los mecanismos moleculares en plantas de limón Persa infectadas por HLB, se llevó a cabo un análisis transcripcional en hojas asintomáticas y sintomáticas por HLB bajo condiciones naturales de campo. El ensamblado realizado con el programa Trinity tuvo de una cobertura total de 118´955,352 pares de bases, 247,494 transcritos, un porcentaje de GC de 42%, N50 de 1532, además, 38638 contigs presentaron una longitud de 1000 pb. Los resultados indicaron un buen reporte de calidad durante el ensamblado del transcriptoma de limón Persa infectado o no por HLB (Cuadro 1).

Cuadro 1. Reporte de calidad del ensamblado *de novo.*

# de contigs (>= 0 pb)	247494
# de contigs (>= 1000 pb)	38638
Cobertura total transcrito (>= 0 pb)	118955352
Cobertura total (>= 1000 pb)	77458840
# de contigs	247494
Contigs más largo	13059
Longitud total	118955352
GC (%)	42.01
N50	1532
N75	567
L50	24297
L75	53980

Mediante la tecnología RNA-Seq fue posible identificar los DEGs en ambas muestras (Figura 1). De esta manera, 652 genes fueron diferencialmente expresados. Los resultados indicaron un mayor número de genes regulados negativamente en la muestra asintomática (457 DEGs), mientras que, cuando la planta se encuentra infectada por HLB se mostró un mayor número de genes con expresión positiva (Figura 1a). Nuestros resultados coinciden con lo reportado en diversos análisis transcriptómicos en respuesta a la infección por HLB, donde se ha encontrado un mayor número de genes expresados positivamente cuando la planta está infectada por esta enfermedad de tipo vascular (Albrecht y Bowman, 2008; Kim *et al.,* 2009; Anders y Huber, 2010; Aritua *et al.,* 2013; Mafra *et al.,* 2013; Zhong *et al.,* 2015; Hu *et al.,* 2017).

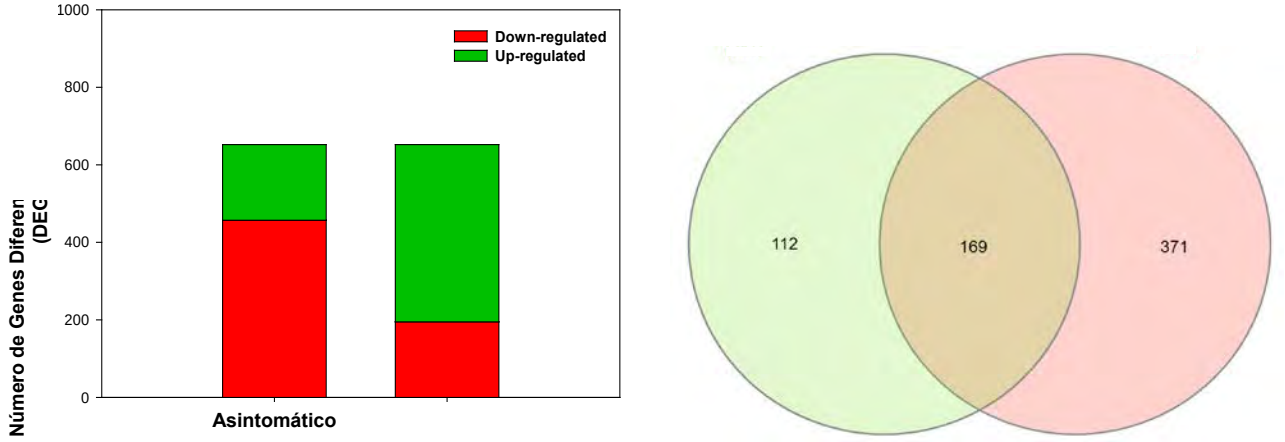


Figura 1. Análisis DEGs evaluados en el transcriptoma de limón Persa. a) Número de DEGs expresados positivamente (up-regulated) y negativamente (down-regulated) en muestras asintomática y sintomática por HLB. b) Diagrama Venn de DEGs en muestras asintomática y sintomática por HLB. Los números de cada intersección representa el número de genes detectados con al menos una lectura de esa intersección.

Los resultados indicaron que la mayoría de los DEGs están clasificados en diferentes rutas que son importantes para metabolismo energético, metabolismo de carbohidratos, procesos genéticos, procesos de señalización, procesos celulares, entre otros (Figura 2).

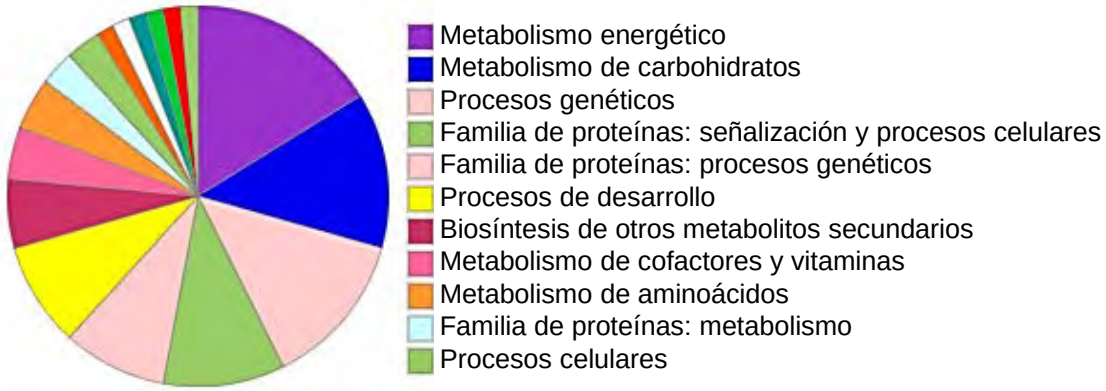


Figura 2. Clasificación de las principales categorías descritas a partir de los DEGs identificados en el transcriptoma de limón Persa infectado por HLB.

Lo anterior, es contundente debido a que los síntomas causados por HLB están relacionados a disturbios en el metabolismo de los carbohidratos al provocar un bloqueo del transporte del floema debido al exceso de almidón, además de provocar un disturbio fotosintético al inhibir el

transporte de fotosintatos (Kim *et al.,* 2009; Folimonova and Achor, 2010). En estudios similares a nivel transcriptómico también se ha reportado que el metabolismo de los carbohidratos y de la fotosíntesis está relacionado con genes expresados negativamente en especies de cítricos infectados por HLB (Albrecht and Bowman, 2008; Kim *et al.,* 2009; Fan *et al.,* 2010; Fan *et al.,* 2012).

Conclusiones

Un mayor número de DEGs fueron expresados positivamente cuando la planta de limón Persa está infectada por HLB. La mayaría de estos DEGs están relacionados al metabolismo energético, carbohidratos, procesos de señalización y celulares, así como procesos genéticos, necesarios para activar mecanismos de defensa y contrarrestar los disturbios en el metabolismo de carbohidratos y del fotosistema provocados ante la infección por HLB. Los resultados presentados en el presente estudio ayudarán a comprender los posibles factores clave que regulan los mecanismos de defensa en el limón Persa con la finalidad de desarrollar programas de mejoramiento genético que ayuden a combatir la enfermedad por HLB.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET). Número de proyecto: 15 1906/2021.

Literatura Citada

Albrecht, U., and K. D. Bowman. 2008. Gene expression in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck following infection with the bacterial pathogen *Candidatus* Liberibacter asiaticus causing Huanglongbing in Florida. *Plant Sci.* 175:291-306.

Altschul, S. F., W. Gish, W. Miller, E. W. Myers and D. J. Lipman. 1990. Basic local alignment search tool. J Mol Biol. 215:403-410.

Anders, S. and W. Huber. 2010. Differential Expression Analysis for Sequence Count Data. *Nat. Preced.* 12:1.

Aritua, V., D. Achor, F. G. Gmitter, G. Albrigo and N. Wang, 2013. Transcriptional and microscopic analyses of citrus stem and root responses to *Candidatus* Liberibacter asiaticus infection. *PLoS ONE.* 8:e73742.

Bao, M., Z. Zheng, X. Sun, J. Chen and X. Deng. 2020. Enhancing PCR Capacity To Detect '*Candidatus* Liberibacter asiaticus' Utilizing Whole Genome Sequence Information. *Plant Disease*. 104:527-532.

Cheema, S. S., S. P. Kapur and J. S. Chohan. 1982. Evaluation of rough lemon strains and other rootstocks against greening-disease in citrus. *Sci Hort.* 18:71-75.

Díaz, A. C., J. P. Garay, O. Montiel, R. U. Sánchez, D. L. Utrera y J.C. Jiménez. 2013. Niveles de poda para incrementar el rendimiento y calidad de fruto del limón Persa (*Citrus* latifolia Tanaka), en Jareros Mpio. Úrsulo Galván, Veracruz.

Fan, J., C. Chen, Q. Yu, A. Khalaf, D. S. Achor, R. H. Brlansky, *et al.* 2012. Comparative transcriptional and anatomical analyses of tolerant rough lemon and susceptible sweet orange in response to '*Candidatus* Liberibacter asiaticus' infection. *Mol. Plant Microbe Interact.* 25:1396-1407.

Fan, J., C. Chen, R. H. Brlansky, F. G. Gmitter, Z. G. Li. 2010. Changes in carbohydrate metabolism in Citrus sinensis infected with "*Candidatus* Liberibacter asiaticus". *Plant Pathol.* 59:1037-1043.

Folimonova, S.Y. and D. S. Achor. 2010. Early events of citrus greening (Huanglongbing) disease development at the ultrastructural level. *Phytopathology*. 100:949-958.

Fu, S., J. Shao, C. Zhou and J. S. Hartung. 2016. Transcriptome analysis of sweet orange trees infected with '*Candidatus* Liberibacter asiaticus' and two strains of *Citrus Tristeza Virus. BMC Genomics. 17:349.*

Grabherr, M.G., B. J. Haas, M. Yassour, J. Z. Levin, D. A. Thompson, I. Amit, *et al.* 2011. Full-length transcriptome assembly from RNASeq data without a reference genome. *Nature Biotechnology*. *29:*644-652.

Gurevich, A., V. Saveliev, N. Vyahhi and G. Tesler, G. 2013. QUAST: quality assessment tool for genome assemblies. *Bioinformatics*. *29:*1072-1075.

Hu, Y., X. Zhong, X. Liu, B. Lou, C. Zhou and X. Wang. 2017. Comparative transcriptome analysis unveils the tolerance mechanisms of *Citrus hystrix* in response to "*Candidatus* Liberibacter Asiaticus" infection. *PLoS ONE.* 12: e0189229.

Jagoueix, S., J. M. Bove, and M. Garnier. 1994. The phloem-limited bacterium of greening disease of citrus is a member of the alpha subdivision of the Proteobacteria. *Int J Syst Bacteriol.* 44:379-386.

Kim, J.-S., U. S. Sagaram, J. K. Burns, J-L. Li and N. Wang. 2009. Response of sweet orange (*Citrus sinensis*) to '*Candidatus* Liberibacter asiaticus' infection: Microscopy and Microarray Analyses. *Phytopathology*. 99:50–57.

Mafra, V., P. K. Martins, C. S. Francisco, M. Ribeiro-Alves, J. Freitas-Astúa and M. A. Machado. 2013. *Candidatus* Liberibacter americanus induces significant reprogramming of the transcriptome of the susceptible citrus genotype. *BMC Genom*. 14: 1-15.

Mora-Aguilera, G., P. Robles-García, J I. López-Arroyo, J. Flores-Sánchez, G. Acevedo-Sánchez, Domínguez-Monge S. *et al.* 2014. Situación actual y perspectivas del manejo del HLB de los cítricos. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 2:108-119.

SAGARPA. 2016. Planeación agrícola nacional. Cítricos: Limón, naranja y toronja mexicanos. 1-23 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consulta: 21 de Julio 2022. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Trujillo, A. J. 2010. Situación actual, regulación y manejo del HLB en México. Memorias del 2° Taller Internacional del Huanglongbing y el psílido asiático de los cítricos. Mérida, Yucatán, México. 141-149 p.

Zhao, X. 2010. Background, current situation and management of the HLB and its vector in China. Memorias del 2° Taller Internacional sobre Huanglongbing de los cítricos (*Candidatus* Liberibacter spp) y el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*). HERMOSILLO, Sonora, México. 2:44-52.

Zhong, Y., C. Cheng, N. and Jiang, B. 2015. Comparative transcriptome and iTRAQ proteome analyses of citrus root responses to *Candidatus* Liberibacter asiaticus infection. *PLoS ONE*. 10: e0126973.

PURIFICACIÓN DE PÉPTIDOS PROVENIENTES DEL VENENO DEL ALACRÁN *Centruroides tecomanus* Y EVALUACIÓN DE SU ACTIVIDAD INSECTICIDA

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán[1*], Juana María Jiménez Vargas[2], Laura Leticia Valdez Velázquez[2], Gisela Jareth Lino López[3] y Gabino González Carrillo[4]

Resumen

El veneno de los alacranes constituye una fuente de compuestos bioactivos que tienen una diversidad de funciones como antimicrobiana, anticancerígena, antiinflamatoria, insecticida, entre otras, esta última de especial interés en el área agrícola debido a su potencial uso bioinsecticida para el control biológico de plagas. El objetivo de este estudio fue purificar la totalidad de péptidos provenientes del veneno de *Centruroides tecomanus* y evaluar su actividad insecticida. Se extrajo el veneno de *C. tecomanus* mediante estimulación eléctrica y se solubilizó en agua para su separación por cromatografía de exclusión molecular (CEM). A las fracciones obtenidas se les realizó un SDS-PAGE y bioensayos con grillos para detectar la actividad insecticida. Los componentes de la FII fueron separados por cromatografía de intercambio iónico (CII) y, finalmente, todos las subfracciones obtenidas de FII se separaron por cromatografía líquida de alta resolución en fase reversa (RP-HPLC) para obtener péptidos puros. Se obtuvo una cantidad de aproximadamente 1.6 g de veneno de *C. tecomanus* equivalente a 5,279 alacranes. La CEM tuvo un perfil de 3 fracciones donde la FII fue la mayoritaria con un promedio de 73% y se determinó mediante SDS-PAGE y bioensayos con grillos que esta fracción contiene péptidos que están por debajo de los 10 kDa y 40% de actividad insecticida. Posteriormente la FII fue separada por CII obteniéndose un total de 15 fracciones, que posteriormente fueron separadas por RP-HPLC dando como resultado al menos 99 componentes. Los bioensayos con grillos realizados a todas estas toxinas

[1] Campo Experimental Tecomán, INIFAP. *bermudez.manuel@inifap.gob.mx
[2] Facultad de Ciencias Químicas (FCQ), Universidad de Colima (U de C).
[3] Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, SENASICA DGSV CNRF.
[4] Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Tecnológico Nacional de México.

identificaron actividad insecticida en 32 de ellas, de las cuales Ct-IT1 y Ct-IT2 causan parálisis inmediata y eventual muerte de 100% de grillos a bajas dosis. Estos datos sugieren que las Ct-IT tienen el potencial bioinsecticida para control biológico de plagas de importancia económica, por lo que resulta importante su posterior caracterización bioquímica mediante espectrometría de masas y secuenciación para obtener las insectotoxinas de manera recombinante.

Palabras clave: alacrán, toxinas, insectotoxinas, cromatografía, bioensayos

Introducción

La producción de alimentos constituye una actividad agrícola esencial para asegurar su abasto para la humanidad. Se estima que la población mundial aumentará de 7.7 billones en 2019 a 11.2 billones para finales de siglo (Roser, 2014). En México se tiene proyectado para el año 2030 que la población alcanzará un volumen de 138´070,271 personas con una tasa de crecimiento de 0.62% anual y para el año 2050 llegará a 148,209,594 habitantes con un ritmo de crecimiento menor, 0.1% anual (CONAPO, 2019). Por otra parte, los cultivos de importancia económica son afectados por una gran diversidad de plagas que causan daños directamente a las plantas o son transmisores de enfermedades, disminuyendo así su rendimiento. En México las principales plagas que afectan los cultivos son gusanos, palomillas y pulgones de una gran diversidad de especies (Ruiz *et al*., 2013).

Se ha hecho uso principalmente del control químico para la disminución de las poblaciones de los insectos plaga que afectan a los cultivos de importancia económica. En nuestro país, los principales agroquímicos empleados para este propósito son insecticidas y herbicidas, los cuales representan aproximadamente el 60% de la producción nacional de agroquímicos, sin embargo, está documentado que su uso causa problemas a la salud humana y al medio ambiente (Sharma *et al*., 2019). Los métodos de control biológico de plagas constituyen una alternativa viable al uso de agroquímicos ya que no causan daños colaterales. En este sentido podemos mencionar a diversos microorganismos como hongos, bacterias, baculovirus y diversos compuestos bioactivos que se encuentran en los venenos de diversos animales (Ullah

et al., 2017). Éstos últimos, pueden ser obtenidos por ejemplo del veneno del alacrán que normalmente es utilizado por la especie para cazar o autodefensa. Los componentes mayoritarios del veneno de los alacranes son un grupo de proteínas compuestas de 30-80 aminoácidos que se denominan toxinas (Possani *et al*., 1999), de las cuales se han reportado péptidos con actividad insecticida (Oukkache *et al*., 2015; Yoshimoto *et al*., 2019).

En el estudio del veneno del alacrán *C. tecomanus*, Valdez-Velázquez *et al*. (2016), identificaron dos péptidos con actividad insecticida que no fueron letales para mamíferos (ratón). Los pesos moleculares de estas toxinas son de 7,013 y 7,538 Da, sin embargo, su secuencia de aminoácidos no se ha determinado experimentalmente. Otros trabajos adicionales con el veneno de este mismo arácnido se han enfocado en la purificación de péptidos que afectan a los canales de sodio de mamíferos (Possani *et al*., 1980; Ramírez *et al*., 1988). A pesar de que existen una gran cantidad de trabajos que han purificado y caracterizado biológicamente toxinas con especificidad para insectos a partir de una amplia variedad de alacranes, hasta la fecha no existen informes detallados sobre la caracterización bioquímica de insectotoxinas aisladas de *C. tecomanus*. El objetivo de este trabajo fue purificar y evaluar la actividad insecticida de las toxinas provenientes del veneno del alacrán *C. tecomanus*.

Materiales y Métodos

Colecta de alacranes y extracción de veneno. Se colectaron alacranes de la especie *Centruroides tecomanus* en el estado de Colima procedentes del municipio de Tecomán dentro de las instalaciones del Campo Experimental Tecomán del INIFAP (18° 58' 2.52" N y 103° 50' 40.88" O). La colecta nocturna de los especímenes estuvo respaldada por el permiso oficial de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SGPA/DGVS/12063/2015).

Extracción y cuantificación de veneno de alacranes. El veneno fue extraído mediante estimulación eléctrica a 4 V y se solubilizó en agua destilada estéril. Las muestras de veneno fueron secadas en una centrífuga concentradora por vacío (MaxiVac) a 1,500 rpm y 30°C y se almacenaron a -20°C. Para todos los pasos metodológicos donde se menciona la cuantificación de muestras, esta se realizó mediante la medición de la absorbancia a 280 nm

asumiendo que cada unidad de absorbancia equivale a 1 mg/mL de proteína. Para lo anterior, se utilizaron los espectrofotómetros Evolution 300 UV-VIS (Thermo Scientific), cuando se cuantificaron muestras de veneno soluble y fracciones procedentes de CEM y CII, y el NanoDrop 2000 (Thermo Scientific), cuando se cuantificaron muestras procedentes de RP-HPLC.

Cromatografía de exclusión molecular (CEM) de veneno soluble de *C. tecomanus*. El veneno se rehidrató en 1.5 mL de agua destilada estéril, se cuantificó y fue separado en una columna cromatográfica de exclusión molecular utilizando como fase estacionaria el polímero Sephadex G-75 (Pharmacia) y como fase móvil el buffer acetato de amonio 20 mM, pH 4.7. Se empleó un sistema automatizado de colector de fracciones hasta eluir la totalidad del veneno con un flujo por gravedad. Las fracciones obtenidas fueron cuantificadas y se graficaron contra el volumen de elución.

SDS-PAGE de veneno y fracciones de *C. tecomanus*. El gel de electroforesis en una dimensión bajo condiciones desnaturalizantes se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito por Gallagher (1995) utilizando el sistema de Bio-Rad para montar los geles. Se utilizó marcador de peso molecular de 10-250 kDa (PageRuler Prestained, Thermo Scientific) y se corrió el gel a un voltaje de 40 V durante 1 h y a 70 V el resto de la corrida. Finalmente, el gel se tiño con solución de azul de Coomassie y se escaneo para su documentación.

Cromatografía de intercambio iónico de la fracción II del veneno de *C. tecomanus*. La columna que contiene carboximetilcelulosa como fase estacionaria fue equilibrada utilizando 10 volúmenes de acetato de amonio 20 mM pH 4.7. La fracción II obtenida de varias CEM se introdujo a la columna. Se eluyeron todos los componentes con un gradiente lineal con NaCl de 0 a 0.5 M y un flujo de 1 mL/min con ayuda de una bomba peristáltica y fueron cuantificados. Se graficó la absorbancia contra el volumen de elución y el gradiente de NaCl. Las fracciones se almacenaron a 4°C.

Purificación de componentes del veneno de *C. tecomanus* de subfracciones de FII mediante RP-HPLC. Se utilizaron las subfracciones de la FII del veneno procedente de la CII y fueron sometidas a RP-HPLC. Para lo anterior, las subfracciones fueron aplicadas dentro de una columna analítica de fase reversa C18 (250 X 4.6 mm, con un tamaño de partícula de 5 µm). Los componentes del veneno fueron purificados utilizando un gradiente lineal de 10 a 60% de solvente B (acetonitrilo en 0.1% de TFA) durante 75 min previo equilibrio con solvente

A ([gua en 0.12% de ácido trifluoroacético (TFA)]. Las fracciones fueron colectadas manualmente monitoreando la absorbancia a 230 nm con ayuda de un sistema de detección de diodos y se secaron utilizando una centrifuga concentradora por vacío (Maxivam) a 1,500 rpm y 30°C. Se almacenaron las muestras a -20°C.

Bioensayos con grillos y estimación de la dosis letal media (DL50). La actividad insecticida de los componentes purificados por cromatografías secuenciales CEM-CII-RP-HPLC se evaluaron utilizando grillos (*Acheta domesticus*) los cuales tuvieron un peso promedio de 0.3 g. Para los bioensayos, 20 o 30 µg de cada péptido fueron inyectados por vía subcutánea en la parte lateral entre el tercer y cuarto segmento abdominal del grillo en un volumen de 10 µL utilizando agua destilada estéril. Como control negativo se inyectaron 10 grillos con agua. Los grillos estuvieron en observación durante 24 h. Los signos de intoxicación que se midieron fueron “no tóxico”, cuando el comportamiento de los grillos fue idéntico al control; tóxico, cuando mostraron parálisis temporal, pero se recuperaron después de 24 h y “letal” cuando los individuos murieron (Valdez *et al*., 2016).

Resultados y Discusión

La cantidad de veneno soluble obtenida por alacrán fue de 333.61 ± 66.42 µg de proteína. Possani *et al*. (1980) determinaron un rendimiento similar en la misma especie con un valor de 574 ± 184 µg de proteína por alacrán. Los altos valores de desviación estándar pueden deberse a el almacenamiento de un volumen variable de veneno en el telson de cada alacrán (van der Meijden *et al*., 2015). Se extrajo el veneno de 5,279 alacranes obteniéndose aproximadamente 1.6 g de veneno. La Figura 1 muestra el perfil cromatográfico de exclusión molecular (CEM) donde se cargaron 171.81 mg de veneno soluble del alacrán *C. tecomanus*. Se obtuvo un perfil de 3 fracciones correspondientes a diferentes pesos moleculares de los componentes del veneno de alacrán.

La fracción II fue la más abundante y representa un promedio del 73.25% del veneno soluble. Perfiles de CEM similares al obtenido en este estudio (tres fracciones) fueron reportados previamente en los años 80s para la misma especie de alacrán (Possani *et al*., 1980; Ramírez *et al*., 1988), sin embargo, se observaron diferencias en la abundancia de las fracciones I y II,

que en este trabajo representaron 6.3 y 72.1%, respectivamente. Estas diferencias en abundancia de FI y FII pueden deberse a la optimización de uso del veneno que realizan los alacranes a través de respuestas evolutivas, plasticidad fenotípica y mecanismos de comportamiento (Evans *et al*., 2019).

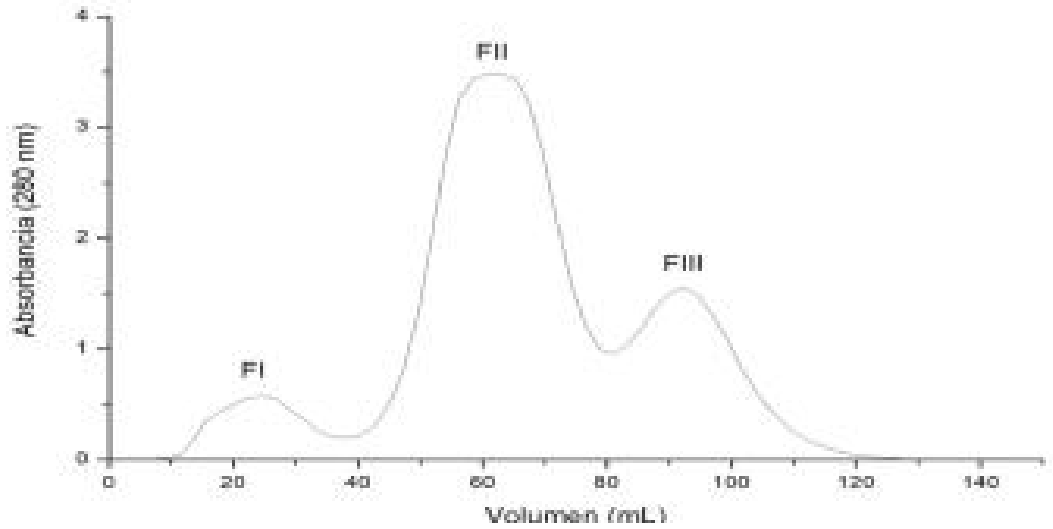


Figura 1. CEM del veneno soluble de *C. tecomanus*.

Se cargaron aproximadamente 171.81 mg de proteína del veneno soluble sobre una columna con Sephadex G-75, equilibrada con buffer de acetato de amonio 20 mM, pH 4.7. Las proteínas se eluyeron con el mismo buffer con flujo por gravedad. Las fracciones se nombraron FI, FII y FIII (Figura 1).

La Figura 2 muestra un perfil electroforético en gel de poliacrilamida, el carril 4 es la separación de la fracción FI y se obtuvieron bandas de elevado peso molecular (25 y 70 kDa), las cuales probablemente corresponden a enzimas fosfodiesterasas, fosfolipasas y metaloproteasas (Amorim *et al*., 2019). La FII (carril 5) contiene péptidos de bajo peso molecular en el rango de los 10 kDa, que se presentaron como una banda gruesa; esta fracción contiene las neurotoxinas que son los componentes más abundantes (53%) en *C. tecomanus* (Valdez *et al*., 2013). Finalmente, en el carril 6 (FIII) se observa una banda difusa por debajo de los 10 kDa, probablemente correspondiente a péptidos antimicrobianos (Wang y Wang, 2016). La comparación con otros perfiles electroforéticos de veneno total como el de los alacranes *C. edwardsii* y *C. margaritatus* evidenció perfiles diferentes, sin embargo, de manera similar se

observa una banda gruesa de bajo peso molecular por debajo de los 14 kDa (Estrada *et al*., 2014), sugiriendo que un grupo de componentes de bajo peso molecular (toxinas de afectan a canales iónicos) contenidas en el veneno de los alacranes están altamente conservados en diferentes especies. Los carriles 2 y 3 son veneno crudo (directo del alacrán) y veneno soluble (solubilizado en agua) y se obtuvieron patrones de bandas idénticos, indicando que no se perdieron componentes durante el proceso de solubilización.

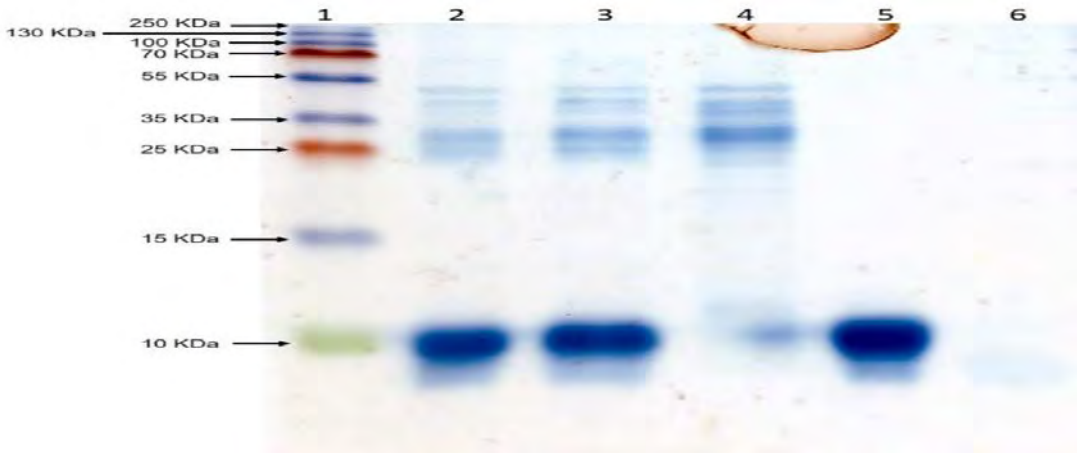


Figura 2. SDS-PAGE al 20% de veneno y fracciones de *C. tecomanus* obtenidas por CEM. 1: Marcador de peso molecular 10-250 kDa (PageRuler Prestained, Thermo Scientific); 2: Veneno crudo; 3: Veneno soluble; 4, 5 y 6: Fracciones I, II y III, respectivamente. Para cada carril se cargaron 30 µg de proteína.

En el Cuadro 1 se muestra el resumen de los bioensayos realizados con las tres fracciones (FI, FII y FIII) procedentes de la CEM en grillos de la especie *Acheta domesticus* después de 24 horas de la inyección. La FII causó toxicidad, los grillos se paralizaron inmediatamente después de la inyección debido a que en esta fracción se encuentran los péptidos específicos para canales de Na^+ (Valdez *et al*., 2013) que pueden alterar los pulsos eléctricos en el sistema nervioso del grillo causando la parálisis o incluso la muerte. Los grillos presentaron parálisis, temblores en patas, desorientación y salivación excesiva, signos provocados por toxinas β con especificidad en insectos (excitatorias y/o depresantes) del veneno de alacranes de acuerdo con lo reportado en la literatura (Zlotkin *et al*., 2000). Las fracciones FI y FIII no fueron analizadas por contener enzimas y péptidos antimicrobianos (AMPs), respectivamente, los cuales no fueron objeto de este estudio.

Cuadro 1. Porcentajes de toxicidad de los bioensayos realizados en grillos inyectados con 25 µg de proteína de las fracciones de *C. tecomanus* procedentes de CEM. Control: Sales de acetato de amonio resuspendidas en solución fisiológica PBS 1X. FI, FII y FIII: Fracciones I, II y III, respectivamente.

Fracciones	Grillos	Proteína (µg)	%CSC	%Parálisis	%Muerte
Control	10	25	100%	0	0
FI	10	25	30	70	10
FII	10	25	0	100	40
FIII	10	25	100	0	0

CSC: Comportamiento Similar al Control.

La Figura 3 muestra un perfil de CII de la FII de *C. tecomanus* donde se introdujeron a la columna 149.43 mg de proteína. Para obtener una mayor cantidad de toxinas se realizaron otras 5 CII cuyos perfiles fueron idénticos en todos los casos. Al realizar el gradiente lineal con NaCl de 0 a 0.5 M, se obtuvieron un total de 15 subfracciones, considerando los componentes que no se adhirieron a la columna.

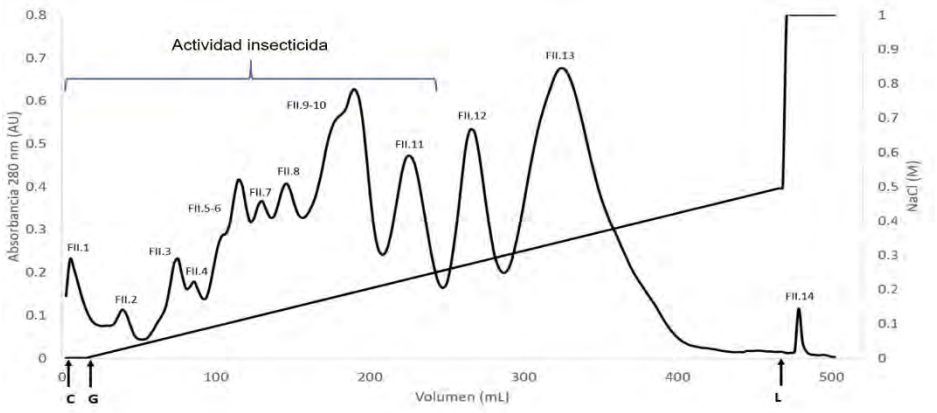


Figura 3. Perfil cromatográfico de la Fracción II de *C. tecomanus* realizada por intercambio catiónico utilizando carboximetilcelulosa como fase estacionaria y buffer de acetato de amonio 20 mM, pH 4.7 como fase móvil. Se cargaron 149.43 mg de proteína. C: Muestra cargada; G: Inicio de gradiente; L: lavado.

En el estudio de Ramírez *et al*. (1988), los componentes tóxicos y letales para mamífero (ratón) fueron localizados en las últimas fracciones eluidas con el gradiente de NaCl (FII.19-FII.24), y son homólogos a las fracciones FII.12 y FII.13 del presente estudio. Por otra parte, los componentes de veneno denominados FII.1-FII.18 por Ramírez *et al*. (1988) son homólogos a las fracciones FII.1-FII.11 de este estudio (Figura 3) y no fueron tóxicos para ratón a dosis

elevadas de hasta 100 µg. Estos datos indican que las insectotoxinas están localizadas en estos componentes.

La separación mediante RP-HPLC de todos los componentes de la FII de *C. tecomanus* se llevaron a cabo con un gradiente de 10-60% de B en 75 minutos. En la Figura 4 se muestra el perfil cromatográfico obtenido por RP-HPLC de la FII.2; se observan tres picos mayoritarios (FII.2.12, FII.2.13 y FII.2.14). También se muestra una imagen insertada con los grillos paralizados por la FII.2. Se realizó el mismo procedimiento para el resto de las fracciones de la CII. Los perfiles cromatográficos de los componentes FIIPXC, FII.1 y FII.2 fueron similares (datos no mostrados), sugiriendo un arrastre de los componentes entre fracciones cromatográficas.

En el Cuadro 2 se muestra un resumen de todos los péptidos de *C. tecomanus* que presentaron actividad insecticida, aunque en total se obtuvieron al menos 99 componentes mediante la ruta CEM-CII-RP-HPLC, la cual tiene la ventaja de reducir la complejidad del veneno al separar pequeños componentes moleculares (<1kDa) y proteínas de alto peso molecular (> 10kDa) durante la CEM (Erdeş *et al*., 2014). Las fracciones FII.1.5, FII.4.11, FII.5-6.7 y FII.9-10PXC.4-2, presentaron elevados porcentajes de muerte sobre los grillos (83.33-100%).

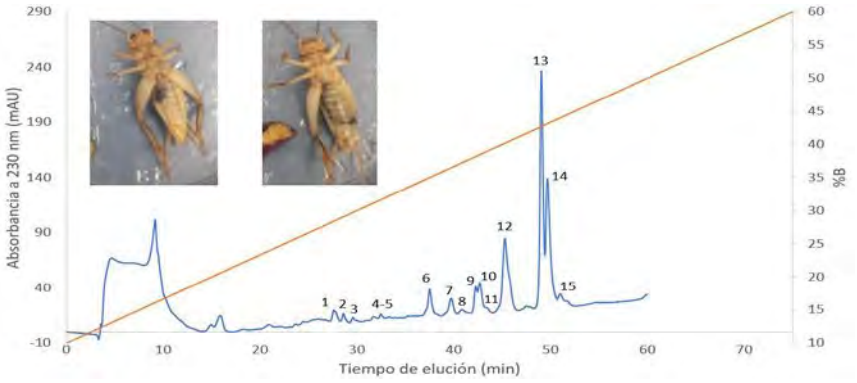


Figura 4. Perfil cromatográfico de 90 µg de FII.2 del veneno de *C. tecomanus* obtenido mediante RP-HPLC con una columna C18 y eluído con un gradiente lineal de solvente A (0.12% de TFA en agua) y 10-60% de solvente B (0.10% de TFA en ACN) durante 75 minutos. Los números corresponden a los picos purificados. Las fotos insertadas corresponden a muerte por fracción FII.2 completa.

Cuadro 2. Resumen de los péptidos con actividad insecticida purificados del veneno de *C. tecomanus* mediante RP-HPLC con una columna C18 y eluído con un gradiente lineal de solvente A (0.12% de TFA en agua) y 10-60% de solvente B (0.10% de TFA en ACN) durante 75 minutos.

No.	Fracción	Tiempo de retención (min)	Péptido (µg)	Inyección (µg)	Ensayo (grillos)	Porcentaje de Muerte (grillos)
1	FII.1.3	42	69.75	30	2	50
2	FII.1.5 (Ct-IT1)	44	525	30	6	100
3	FII.1.6	45.5	58	30	1	100
4	FII.2.12	42.25	64.4	30	2	50
5	FII.2.14	44.26	157.6	30	5	100
6	FII.3.5	40.77	38.05	30	1	0
7	FII.3.6	42.92	104.7	30	3	66.66
8	FII.3.7	45.26	34.84	30	1	0
9	FII.4.6	36.2	120.7	30	3	0
10	FII.4.11	43	334.4	30	6	83.33
11	FII.5-6.3	33.14	72.34	30	2	0
12	FII.5-6.7 (Ct-IT2)	42.42	1304.35	30	6	100
13	FII.5-6.8	43.95	156	30	4	75
14	FII.5-6.9	45.56	102.9	30	3	33.33
15	FII.5-6.10	49.22	169.6	30	5	20
16	FII.7.7	45.93	482.5	20	6	0
17	FII.7.8	47.9	138.9	20	6	0
18	FII.7.11	53.75	33.9	20	1	100
19	FII.8.3	39.28	704.8	20	6	16.66
20	FII.8.4	41.1	163.8	20	3	0
21	FII.8.5	44.03	178.6	20	3	33.33
22	FII.8.7	51.41	120.4	20	5	16.66
23	FII.8.8	52.36	214.5	20	5	0
24	FII.9-10 PXC.1	39	1154.4	20	6	0
25	FII.9-10 PXC.4	43.5	206.1	20	5	33.33
26	FII.9-10PXC.2-2	36.57	1228.8	30	6	33.33
27	FII.9-10PXC.3-2	37.85	112.8	30	3	33.33
28	FII.9-10PXC.4-2	39.61	220.3	30	3	100
29	FII.9-10.1.2	32.48	56.3	20	2	0
30	FII.9-10.1.5	37.6	201.6	20	5	0
31	FII.11.4.1	35.6	437.3	30	6	50
32	FII.11.4.3	40.65	133.2	20	6	83.33

PXC: Pasado por columna; se refiere a componentes de veneno que no se adhirieron a la columna de carboximetilcelulosa de la CII.

En particular, el péptido FII.1.5 al ser inyectado ocasionó movimientos descoordinados en los grillos, los cuales quedaron paralizados de forma inmediata a los pocos segundos y permanecieron así con signos de espasmos o contracciones en patas. Este efecto es característico de toxinas β depresantes y fue reportado por Zlotkin *et al*. (2000), sugiriendo que el péptido FII.1.5 de *C. tecomanus* es una potente insectotoxina.

Las insectotoxinas aisladas de los venenos de los alacranes comúnmente son expresadas de forma recombinante porque se encuentran en concentraciones bajas; por ejemplo, la insectotoxina LqhIT5 representa un 0.5% del veneno crudo de *Leiurus quinquestriatus hebraeus* (Moskowitz *et al*., 1998), de manera similar la toxina Im-1 representa un 0.12% del veneno total de *Isometrus maculatus* (Miyashita *et al*., 2010). En este trabajo los péptidos FII.1.5 y FII.5-6.7 representan 2.1 y 1% del veneno total de *C. tecomans*, respectivamente. Lo anterior representa un obstáculo para subsecuentes experimentos donde las toxinas son requeridas a mayores cantidades para una diversidad de ensayos (actividad insecticida, antifúngica, anticancerígena, antiviral, analgésica, espectrometría de masas, secuenciación, etc.). En este trabajo los péptidos FII.1.5 y FII.5-6.7, fueron denominados como Ct-IT1 y Ct-IT2, respectivamente, donde las primeras dos letras corresponden al género y especie de donde se aislaron (*Centruroides. tecomanus*) y las dos siguientes letras se derivan del inglés “insect toxin”. Finalmente, el número indica la cantidad y orden de las insectotoxinas que se han aislado de este arácnido. Los péptidos Ct-IT son las primeras insectotoxinas purificadas de *C. tecomanus*.

Conclusiones

El rendimiento promedio de veneno por alacrán de aproximadamente 333.61 µg de proteína permitió obtener una cantidad aproximada de 1,662.25 mg, suficiente para la purificación y caracterización de las insectotoxinas. El desdoblamiento de la FII a través de la ruta de purificación CEM-CII-RP-HPLC permitió la obtención de al menos 99 componentes individuales. La caracterización biológica mediante bioensayos con grillos identificó dos toxinas (Ct-IT1 y Ct-IT2) con elevada actividad insecticida (100% de muerte) a dosis de 30 µg.

Literatura Citada

Amorim, F. G., H. T. Longhim, C. T. Cologna, M. Degueldre, E. D. Pauw and L. Quinton *et al*. 2019. Proteome of fraction from *Tityus serrulatus* venom reveals new enzymes and toxins. J. Venom. Anim. Toxins Trop. Dis. 25: 1-11.

CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2019. Cuadernillos estatales de las Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050. https://www.gob.mx/conapo [Consultado el 25 de julio de 2022].

Erdeş, E., T. S. Doğan, I. Coşar, T. Danışman, K. B. Kunt, T. Şeker *et al*. 2014. Characterization of *Leiurus abdullahbayrami* (Scorpiones: Buthidae) venom: peptide profile, cytotoxicity, and antimicrobial activity. J. Venom. Anim. Toxins Trop. Dis. 20(48): 1-8.

EstradaG. S., N. I. Cupitra, W. M. Arango y L. J. V. Muñoz. 2014. Intraspecific variation of *Centruroides edwardsii* venom from two regions of Colombia. Toxins 6: 2082–2096.

Evans, E. R. J., T. D. Northfield, N. L. Daly y D. T. Wilson. 2019. Venom Costs and Optimization in Scorpions. Front. Ecol. Evol. 7(196): 1-7.

Gallagher, S. R., 1995. One-dimensional SDS gel electrophoresis of proteins. Curr. Protoc. Protein Sci. 00, 10.1.1-10.1.34.

Miyashita, M., A. Sakai, N. Matsushita, Y. Hanai, Y. Nakagawa and H. Miyagawa. 2010. A novel amphipathic linear peptide with both insect toxicity and antimicrobial activity from the venom of the scorpion *Isometrus maculatus*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 74: 364-369.

Moskowitz, H., R. Herrmann, A. D. Jones and B. D. Hammock. 1998. A depressant insect-selective toxin analog from the venom of the scorpion *Leiurus quinquestriatus hebraeus*--purification and structure/function characterization. Eur. J. Biochem. 254: 44-49.

Oukkache, N., R. ElJaoudi, F. Chgoury, M. T. Rocha and J. M. Sabatier. 2015. Characterization of Am IT, an anti-insect β-toxin isolated from the venom of scorpion *Androctonus mauretanicus*. Sheng Li Xue Bao 67: 295-304.

Possani, L. D., B. Becerril, M. Delepierre and J. Tytgat. 1999. Scorpion toxins specific for Na+-channels. Eur. J. Biochem. 264: 287-300.

Possani, L. D., P. L. Fletcher, A. B. C. Alagón, A. C. Alagón and J. Z. Juliá. 1980. Purification and characterization of a mammalian toxin from venom of the Mexican scorpion, *Centruroides limpidus tecomanus* Hoffmann. Toxicon 18: 175–183.

Ramírez, A. N., G. B. Gurrola, B. M. Martin and L. D. Possani. 1988. Isolation of several toxins from the venom of the scorpion *Centruroides limpidus tecomanus* Hoffmann. Toxicon 26: 773-783.

Roser, M. 2014. Future Population Growth. Our World Data. https://ourworldindata.org/future-population-growth [Consultado el 26 de julio de 2022].

Ruiz C. J.A., E. Bravo-Mosqueda, G. Ramírez-Ojeda, A. D. Báes-González, M. Álvarez-Cilva, J. L. Ramos-González *et al*. 2013. Plagas de importancia económica en México: aspectos de su biología y ecología. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 447 p.

Sharma, A., V. Kumar, B. Shahzad, M. Tanveer, G. P. S. Sidhu, N. Handa *et al*. 2019. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. SN Appl. Sci. 1: 1-16.

Ullah, M. I., M. Arshad, K. Ahmad, A. Khaliq, Y. Iftikhar, S. Ali. 2017. Arthropods venom used as bio-pesticides: a new challenge to manage insect pests. Int. J. Agric. Appl. Sci. 9(1): 122-131.

Valdez V. L. L., V. Quintero H., M. T. Romero G., F. I. V. Coronas y L. D. Possani. 2013. Mass fingerprinting of the venom and transcriptome of venom gland of scorpion *Centruroides tecomanus*. PLoS ONE 8(6): 1-15.

Valdez V. L. L., M. T. Romero G., I. Delgado E., O. Dobrovinskaya, V. Melnikov, V. Quintero H. 2016. Comprehensive analysis of venom from the scorpion *Centruroides tecomanus* reveals compounds with antimicrobial, cytotoxic, and insecticidal activities. Toxicon 118: 95-103.

Van der Meijden, A., P. Coelho y M. Rasko. 2015. Variability in venom volume, flow rate and duration in defensive stings of five scorpion species. Toxicon 100: 60-66.

Wang, X. y G. Wang. 2016. Insights into antimicrobial peptides from spiders and scorpions. Protein Pept. Lett. 23: 707-721.

Yoshimoto, Y., M. Miyashita, M. Abdel-Wahab, M. Sarhan, Y. Nakagawa y H. Miyagawa. 2019. Isolation and Characterization of Insecticidal Toxins from the Venom of the North African Scorpion, *Buthacus leptochelys*. Toxins 11(236): 1-11.

Zlotkin, E., Y. Fishman y M. Elazar 2000. AaIT: from neurotoxin to insecticide. Biochimie 82: 869-881.

CARACTERIZACIÓN BIOQUÍMICA DE PÉPTIDOS CON ACTIVIDAD INSECTICIDA PROVENIENTES DEL VENENO DEL ALACRÁN *Centruroides tecomanus*

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán[1*], Laura Leticia Valdez Velázquez[2], Juana María Jiménez Vargas[2], Fernando Zamudio[3] y Gisela Jareth Lino López[4]

Resumen

El veneno de los alacranes contiene compuestos bioactivos con actividad insecticida con potencial uso para control biológico de plagas de importancia económica. El objetivo del estudio fue caracterizar bioquímicamente los péptidos con actividad insecticida provenientes del veneno del alacrán *Centruroides tecomanus*. A partir de fracciones del veneno de *C. tecomanus* purificadas previamente mediante cromatografías secuenciales se obtuvieron 32 componentes con actividad insecticida, a los cuales se les determinó su masa molecular mediante el sistema de ionización de espectrometría de masas acoplada a cromatografía de líquidos (LC/MS). Para la secuenciación de los péptidos, estos fueron sometidos directamente a reacciones de degradación de Edman para obtener secuencias parciales de los extremos N-terminal. Para obtener las secuencias completas de los péptidos, estos fueron digeridos con la enzima proteolítica GluC y los productos fueron separados por cromatografía líquida de alta resolución de fase reversa (RP-HPLC). Finalmente, los fragmentos generados fueron nuevamente secuenciados y ensamblados. Los resultados obtenidos mediante espectrometría de masas evidenciaron la presencia de péptidos con masas moleculares de entre 3,051.49-7,569.86 Da, las cuales la mayor parte corresponden a toxinas que afectan a canales de sodio. Estas toxinas con actividad insecticida fueron comparadas con las reportadas previamente para *C. tecomanus*. Finalmente, únicamente fueron obtenidas las secuencias completas de Ct-IT1 y Ct-IT, que en ambos casos tuvieron una longitud de 63 residuos aminoácidos. Además,

[1] Campo Experimental Tecomán, INIFAP.
[2] Facultad de Ciencias Químicas (FCQ), Universidad de Colima (U de C).
[3] Instituto de Biotecnología, UNAM.
[4] Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, SENASICA DGSV CNRF.
Correo de correspondencia: bermudez.manuel@inifap.gob.mx

estas insectotoxinas fueron las toxinas más potentes y se encontraron en mayor cantidad. El resto de las toxinas no se secuenciaron porque no estaban puras (contenían de dos a tres péptidos) o porque la cantidad de péptido fue insuficiente. Los resultados de este estudio permitirán realizar una serie de análisis bioinformáticos con las secuencias primarias obtenidas (alineamientos múltiples de secuencias, análisis filogenéticos, modelado por homología, entre otros) para comprender más a detalle la especificidad hacia insectos de las toxinas Ct-IT.

Palabras clave: alacrán, insectotoxinas, espectrometría de masas, secuenciación de Edman

Introducción

El veneno es una mezcla compleja de componentes de origen proteico y no proteico. Entre estos últimos se han identificado agua, mucosa, nucleótidos, mucopolisacáridos, lípidos, metales y compuestos inorgánicos; mientras que los componentes de origen proteico están formados por proteínas de elevado peso molecular y péptidos de entre 2-10 kDa (Tobassum *et al*., 2020). Los péptidos son clasificados en dos categorías: péptidos con puentes disulfuro (DBPs, por sus siglas en inglés) y péptidos que no tienen puentes disulfuro (NDBPs, por sus siglas en inglés) (Almaaytah y Albalas, 2014). La mayoría de los DBPs contienen tres a cuatro puentes disulfuro en su estructura tridimensional estabilizados por cisteínas (Mouhat *et al*., 2004). Estos péptidos se subclasifican en función del canal iónico transmembranal dependiente de voltaje al que presentan afinidad: Na_v (canales de sodio), K_v (canales de potasio), Ca_v (canales de calcio) o ClC (canales de cloruro) (Dueñas *et al*., 2020). La modificación de estos canales iónicos (receptores) por la interacción con los péptidos (ligando) del veneno del alacrán provocan alteraciones en el funcionamiento normal del canal, lo que desencadena los síntomas de envenenamiento en los organismos afectados (Housley *et al*., 2017).

Los péptidos con afinidad a Na_v se clasifican en toxinas α y toxinas β en función de su efecto fisiológico y propiedades de unión. Las toxinas α y β que afectan a Na_v también se pueden clasificar de acuerdo con los canales iónicos de los organismos blanco que afectan. Los grupos de toxinas donde se encuentran las insectotoxinas son toxinas α anti-insecto (activas en

insectos), toxinas β excitatorias con selectividad anti-insecto y toxinas β depresantes con selectividad anti-insecto (Pedraza y Possani, 2013).

La insectotoxina AaIT fue la primera toxina purificada del veneno de un alacrán: *Androctonus australis*. AaIT es una toxina excitatoria de cadena larga específica para insectos y está compuesta de 70 aminoácidos con cuatro puentes disulfuro (Zlotkin *et al*., 1971). La especificidad de AaIT hacia los insectos fue demostrada a nivel de individuo y a nivel tisular (Zlotkin *et al*., 2000). La toxina Im-3 comparte similitud con toxinas β de alacrán que afectan específicamente a canales de sodio de insectos. Esta toxina tiene una masa molecular de 6,894 Da, la cual fue determinada por análisis ESI-LC/MS. La estructura primaria de Im-3 fue determinada por análisis de secuenciación de Edman y contiene 63 aminoácidos.

En otro trabajo, la toxina Am IT (Insectotoxina de *Androctonus mauretanicus*) fue purificada y secuenciada, los análisis de similitud de secuencias sugieren que se trata de una toxina de tipo β y los bioensayos en larvas de cucarachas demostraron que tiene propiedades de toxina anti-insecto. Esta toxina parece ser estructural y funcionalmente similar a la toxina anti-insecto AaH IT4 (Oukkache *et al*., 2015). En México, hay un reporte de una insectotoxina llamada Phaiodotoxina aislada del alacrán *Anuroctonus phaiodactylus* y clasificada como un péptido de cadena larga que afecta a los canales de sodio. Sin embargo, no se especifica si se trata de una toxina α anti-insecto o alguna toxina β excitatoria o depresante con selectividad anti-insecto. La phaiodotoxina está formada por 72 aminoácidos, tiene una masa molecular de 7,971 Da y es letal para grillos a dosis de 1 µg/grillo y no tóxica para ratón (Valdez *et al*., 2004).

El objetivo del estudio fue caracterizar bioquímicamente mediante espectrometría de masas y secuenciación por degradación de Edman las masas moleculares y secuencias primarias de péptidos con actividad insecticida purificados del alacrán *C. tecomanus*.

Materiales y Métodos

Material biológico. Se utilizaron péptidos purificados del alacrán *Centruroides tecomanus* con actividad insecticida, los cuales fueron obtenidos mediante procesos cromatográficos de acuerdo Bermúdez-Guzmán *et al*. (2022).

Análisis de espectrometría. Los péptidos purificados se resuspendieron en agua tipo I estéril y se cuantificaron. Se hicieron alícuotas con 2 microgramos de cada péptido, los cuales fueron diluidos en acetonitrilo al 50% conteniendo ácido acético al 1% a una concentración final de entre 0.1 a 0.5 mg/mL y fueron inyectados directamente dentro del sistema de ionización de espectrometría de masas acoplada a cromatografía de líquidos (LC/MS) (Valdez *et al*., 2016). Para lo anterior, se utilizó un espectrómetro de masas LCQ Fleet (Thermo Fischer Scientific) con sistema de ionización por electrospray (ESI), analizador de masas de cuadrupolo y sistema de detección de fotodiodos (PDA). Los valores de las masas moleculares de los péptidos calculados por el equipo fueron comparados con los cálculos manuales. Para lo anterior, se utilizaron los valores de la relación masa/carga (m/z) de las series iónicas obtenidas en la salida de datos. Estos valores fueron utilizados para la determinación de las masas moleculares de cada uno de los componentes analizados de acuerdo con la resolución del siguiente sistema de ecuaciones, donde se asume que p1 y p2 son picos adyacentes y difieren por una unidad de carga, la cual es equivalente a la adición de un solo protón. Dicho sistema de ecuaciones se detalla a continuación. De las ecuaciones 2 y 3 se determinan las incógnitas: Mr y z1.

$p = m / z$ Ecuación 1

$p1 = (Mr + z1) / z1$ Ecuación 2

$p2 = [Mr + (z1-1)] / (z1-1)$ Ecuación 3

Donde, p = un pico en el espectro de masas;

m = masa total de un ion

z = carga total

Mr = masa promedio del péptido

p1 = valor de m/z para p1

p2 = valor de m/z para p2

z1 = carga sobre el pico p1.

Secuenciación de péptidos mediante degradación de Edman. Primero fueron reducidos y alquilados 100 µg de cada péptido purificados previamente mediante RP-HPLC y espectrometría de masas. Para la reducción de los péptidos, estos fueron resuspendidos en 50 µL de buffer Tris-HCl (200 mM), pH 8.6 conteniendo EDTA (1 mg/mL) y cloruro de guanidina (6 M); a esta mezcla se adicionaron 2 mg de ditiotreitol (DTT) previamente resuspendidos en

50 µL de la misma mezcla, haciendo un volumen total de 100 µL. Posteriormente, se incubaron las muestras a 55°C durante 45 minutos en un tubo de 1.5 mL cubierto con papel aluminio para proteger la muestra de la luz. Después de atemperar la muestra unos 30 segundos a temperatura ambiente se agregaron 2.5 mg de iodoacetamida y se incubaron las muestras durante 30 minutos a temperatura ambiente en oscuridad. Finalmente, los péptidos reducidos y alquilados fueron purificados mediante RP-HPLC bajo las condiciones descritas por Bermúdez *et al*. (2022) para eliminar los excesos de reactivos empleados en la reducción y alquilación.

Nuevamente, los péptidos fueron secados como se describió anteriormente y 0.5 nmoles de cada uno fueron utilizados para la determinación de las secuencias polipeptídicas del N-terminal utilizando el sistema automatizado de degradación de Edman en un secuenciador de proteínas PPSQ-31A (Shimadzu Scientific Instruments, Inc.) utilizando los reactivos y procedimientos recomendados por el fabricante. Previo a la digestión proteolítica de los péptidos se llevó a cabo la predicción de las secuencias, para lo cual se llevaron a cabo análisis BLAST para cada péptido parcial en la base de datos de NCBI y en una base de datos local con secuencias de alacranes del género *Centruroides*. Posteriormente, los péptidos fueron digeridos utilizando las enzimas proteolíticas: tripsina, Glu-C y/o Asp-N, según sea el caso. Para lo anterior, se utilizaron como sustrato 50 µg de cada péptido reducido y alquilado, los cuales fueron resuspendidos en buffer NH_4HCO_3 100 mM, pH 7.8 o Tris-HCl 100 mM, pH 7.8 y en cada caso se agregó la cantidad de enzima recomendada el fabricante. Las muestras fueron incubadas a 37°C toda la noche. Los péptidos digeridos fueron separados por RP-HPLC, secados y cuantificados según lo descrito por Bermúdez *et al*. (2022). Estos fragmentos nuevamente fueron secuenciados y se determinaron sus masas moleculares por espectrometría de masas como se describió anteriormente. Las masas moleculares experimentales fueron cotejadas con las masas moleculares teóricas de los fragmentos obtenidos. Finalmente, con ayuda del programa bioinformático CLC Main Workbench versión 8.1 se generaron las secuencias completas de los péptidos a partir de los fragmentos digeridos y secuenciados.

Resultados y Discusión

A partir de las series iónicas de los péptidos purificados de *C. tecomanus* se determinaron sus estados de carga y masas moleculares de acuerdo con el sistema de ecuaciones mencionado en materiales y métodos. En la Figura 1 se muestra un ejemplo del espectro de masas de la toxina Ct-IT1, las masas moleculares de todas las toxinas con actividad insecticida calculadas con el sistema de ecuaciones coincidieron con las determinadas por el equipo en todos los casos.

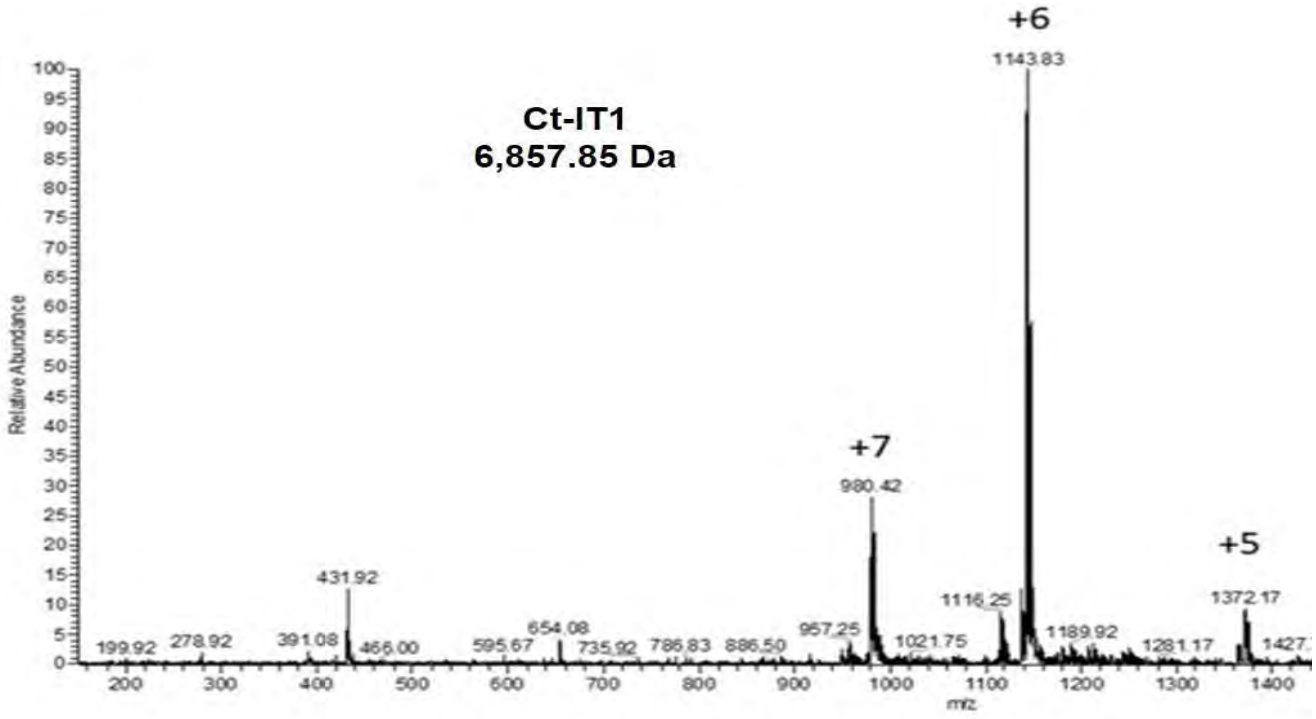


Figura 1. Análisis de espectros de masas de la toxina Ct-IT1 utilizando el espectrómetro LCQ-Fleet con sistema de ionización por electrospray (ESI).
Los números con signo + sobre los valores de m/z de las series iónicas indican el estado de carga.

Las masas moleculares de los péptidos purificados en este trabajo estuvieron en un rango de entre 3,051.49-7,569.86 Da. Estas masas corresponden a las esperadas para péptidos de cadena corta (3,000-4,500 Da) y cadena larga (6,000-8,000 Da) (Miyashita *et al*., 2010), los cuales corresponden a las toxinas de potasio y sodio, respectivamente (Guerrero *et al*., 2012; Kawachi *et al*., 2013; Valdez *et al*., 2013). En el trabajo de Valdez *et al*., (2013), el análisis proteómico en *C. tecomanus* reveló la presencia de componentes en el rango de 259-44,392

Da, los cuales fueron agrupados de la siguiente forma según las masas moleculares obtenidas: 200-1,000 Da (8.7%), 1,000-5,500 Da (47%), 5,500-8,500 Da (33.7%) y 8,500-44,392 Da (10.6%). Estos datos nos confirman que las masas moleculares determinadas en este estudio de la FII de *C. tecomanus* corresponden principalmente a toxinas que afectan a canales de sodio.

Un total de 14 masas moleculares de los componentes determinados en este estudio corresponden a los reportados previamente por Valdez *et al*., (2013) para *C. tecomanus*, los cuales tuvieron un rango de variación menor a 1 Da. Esta es la variación aproximada del equipo LCQ Feet para la determinación de masas moleculares de péptidos en el rango de 7,000 Da (García *et al*., 2020). Previamente, Valdez *et al*., (2018), exploraron la actividad insecticida de componentes del veneno de *C. tecomanus* y reportaron dos componentes con masas moleculares de 7,013 y 7,538 Da que fueron letales para grillos y no tóxicos para ratones y acociles. De los dos componentes mencionados, en este estudio solo fue posible identificar el componente de 7,013 Da que se encontró en las fracciones FII.7.2, FII.9-10.1.5 y FII.9-10PXC.3-2 y cuyas masas moleculares se detallan en el Cuadro 1.

En otras especies del mismo género *Centruroides*, también se detectaron coincidencias en masas moleculares de los componentes purificados. Las masas moleculares de 5,162.37 (FII.9-10PXC.4), 7,167.61 (FII.8.6) y 6,987.77 Da (Ct-IT2) (Cuadro 1) también se encontraron en *C. ornatus* (García *et al*., 2020). Esta última masa molecular representa un componente mayoritario en *C. tecomanus* y presentó alta actividad insecticida. Además, otro componente de 7´097,49 Da (FII.5-6.8) se encontró en *C. hirsutipalpus* (Valdez *et al*., 2018). Esto sugiere que estas toxinas podrían estar altamente conservadas en el género *Centruroides*, sin embargo, se deben comparar sus secuencias primarias para confirmarlo. El análisis por espectrometría de masas de las fracciones FII.1.5 y FII.2.14 permitió determinar que se trata del mismo componente (Ct-IT1) ya que se obtuvieron las masas moleculares de 6´857.85 y 6´857.18 Da, respectivamente.

Cuadro 1. Relación de masas moleculares de péptidos con actividad insecticida procedentes del alacrán *C. tecomanus*.

No.	Fracción	Masa molecular (Da)
1	FII.1.3	7,090.16
2	FII.1.5 (Ct-IT1)	6,857.85
3	FII.1.6	6,812.24; 6,829.39; 3,502.1
4	FII.2.12	7,090.37
5	FII.2.14	6,857.18
6	FII.3.5	7,089.8; 6,856.7
7	FII.3.6	7,062.22; 7,046.1
8	FII.3.7	6,869.93; 6,854.70
9	FII.4.6	6,199.94; 6,646.39; 4,477.17
10	FII.4.11	7,061.4
11	FII.5-6.3	7,291.15; 3,897.51; 7,307.1
12	FII.5-6.7 (Ct-IT2)	6,987.77
13	FII.5-6.8	7,097.49
14	FII.5-6.9	7,042.25; 6,210.64; 7,069.8
15	FII.5-6.10	6,986.95; 7,003.7
16	FII.7.7	6,853.35
17	FII.7.8	6,855; 6,836
18	FII.7.11	6,588.5
19	FII.8.3	6,332.52
20	FII.8.4	7,451.94; 6,333.6
21	FII.8.5	6,837.31
22	FII.8.7	6,574.01
23	FII.8.8	6,588.62
24	FII.9-10 PXC.1	7,291.15
25	FII.9-10 PXC.4	6,988.14; 5,162.37
26	FII.9-10PXC.2-2	7,291.73
27	FII.9-10PXC.3-2	7,569.86; 7,014.45
28	FII.9-10PXC.4-2	6,987.74; 5,162.87
29	FII.9-10.1.2	3,858.17; 3,501.49; 4,083.1
30	FII.9-10.1.5	7,013.66; 4,295.8
31	FII.11.4.1	7,289.82; 7,387.7
32	FII.11.4.3	7,346.71

PXC: Pasado por columna; se refiere a componentes de veneno que no se adhirieron a la columna de carboximetilcelulosa de la cromatografía de intercambio iónico.

El análisis de espectrometría de masas de la región C-terminal de las toxinas Ct-IT permitió determinar que el extremo C-terminal está amidado. Muchos péptidos procedentes de los venenos de alacranes están amidados en su extremo C-terminal mediante modificaciones postraduccionales, lo cual es muy importante para la función biológica correcta de los péptidos (Delgado *et al*., 2019). Es muy probable que las toxinas Ct7 y Ct25 no estén en su forma madura ya que ambas contienen señales de amidación (Gly seguida de uno o dos aminoácidos básicos) en su extremo C-terminal: Gly64 y Lys65. Estos aminoácidos pueden ser eliminados mediante una modificación postraduccional en la que el enlace peptídico con Lys se escinde mediante acción de una carboxipeptidasa y el NH^{3+} del residuo Gly64 es unido al extremo C-terminal de Gly63 mediante la acción de una enzima de α-amidación (Merkler, 1994).

Los péptidos Ct-IT1 y Ct-IT2 aparentemente tienen este proceso postraduccional. La eliminación enzimática de estos dos residuos, Gly-Lys, en el extremo C-terminal, fue descrita previamente por Guerrero *et al*. (2012), en las toxinas To1, To2 y To3 del escorpión *T. obscurus*. En otro estudio, Coelho *et al*. (2014), evaluaron la afinidad por los canales de sodio de las toxinas Ts1 maduras (amidadas) y su isoforma Ts1-G (no amidadas) y observaron menor afinidad en esta última, confirmando la importancia de la amidación en el extremo C-terminal sobre la actividad Ts1 en el escorpión *T. serrulatus*.

Por otra parte, en relación con la secuenciación, un total de 6 péptidos fueron analizados (Ct-IT1, FII.4.11, Ct-IT2, FII.8.3, FII.8.5 y FII.9-10PXC.2), de los cuales se obtuvieron secuencias parciales de sus extremos amino terminal de entre 17 y 54 aminoácidos (Figura 2).



Figura 2. Secuenciación parcial de los extremos amino terminal de péptidos de *C. tecomanus* mediante degradación de Edman.

Para poder determinar la estructura primaria completa de las toxinas Ct-IT1 y Ct-IT2, estas fueron digeridas con la enzima GluC, previamente seleccionada mediante análisis proteolítico *in silico* a partir de la toxina Ct7 reportada por Valdez *et al*. (2013), la cual fue seleccionada de la base de datos de NCBI debido a su elevado porcentaje de identidad con las toxinas Ct-IT. Los productos de la digestión fueron purificados por RP-HPLC según lo descrito por Bermúdez *et al*. (2022). Las masas moleculares teóricas (de fragmentos obtenidos *in silico*) de la toxina Ct-IT1 y algunas masas moleculares experimentales de componentes mayoritarios de la misma toxina se muestran en la Cuadro 2. El componente mayoritario con tiempo de retención de 16.51 min (datos no mostrados) tuvo una masa molecular experimental de 1,176 Da, sin embargo, el análisis de escisión proteolítica realizado al péptido Ct-IT1 con GluC mostró una masa molecular de 1,121 Da para dicho fragmento. Esta diferencia de masa se debe a que dicho fragmento contiene modificaciones postraduccionales: una Cys62 carboxamidometilada (masa promedio de 57 Da; se debe sumar a la masa teórica), y un carboxilo terminal de la Cys62 amidado por el grupo NH^{3+} de la Gly63 ubicada en el C-terminal (-1 Da), lo que da como resultado una masa molecular teórica de 1,177 Da, similar a la masa molecular experimental obtenida (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escisión proteolítica *in silico* y experimental de la toxina Ct-IT1 de *C. tecomanus* con la enzima GluC para la determinación de la secuencia completa del péptido.

Posición inicial	Posición final	Longitud	Fragmento	Masa molecular teórica (Da)	Masa molecular experimental (Da)
1	9	9	KDGYPMNSE	1,040.11	1,039.25
10	25	16	GCKISCVIGNTFCDTE	1,689.93	ND
26	46	21	CKMLKASSGYCWTLGLACYCE	2,330.79	ND
47	50	4	GLPE	414.45	414
51	53	3	NVE	360.36	ND
54	63	10	VWDKATNKCG	1,121	1,176

La identidad del fragmento correspondiente al tiempo de retención de 16.51 min se confirmó por secuenciación por degradación de Edman y tiene 10 residuos aminoácidos (posición 54-63) que coinciden con el carboxilo terminal del péptido Ct-IT1; además se empalma con la

secuencia parcial de 54 residuos aminoácidos obtenidos previamente. De manera similar se obtuvo la secuencia completa del péptido Ct-IT2 (Figura 3).

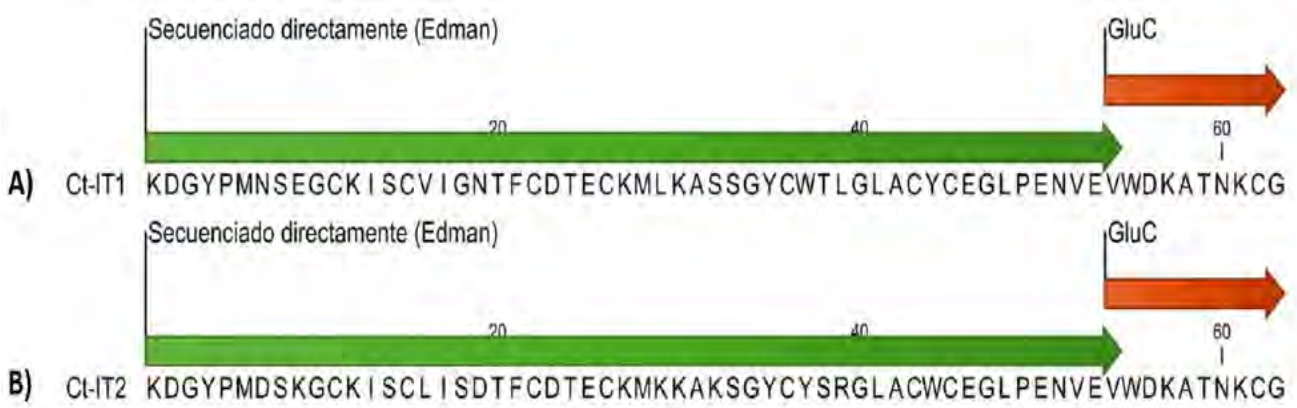


Figura 3. Secuencias de aminoácidos completas de las toxinas Ct-IT1 y Ct-IT2. El fragmento del amino terminal obtenido mediante secuenciación directa (Verde) se ensambló con el fragmento digerido con GluC del carboxilo terminal (Rojo).

Conclusiones

La caracterización química de Ct-IT1 y Ct-IT2 mediante espectrometría de masas evidenció masas moleculares de 6,857.85 y 6,987.77 Da, respectivamente, y permitió determinar que los extremos C-terminal de estas insectotoxinas están amidados.

Este análisis también confirmó que las fracciones FII.1.5 y FII.2.14 son el mismo componente (Ct-IT1). La secuenciación por degradación de Edman proporcionó las secuencias primarias completas de los péptidos Ct-IT con una longitud de 63 aminoácidos para ambas insectotoxinas.

Literatura Citada

Almaaytah, A. y Q. Albalas. 2014. Scorpion venom peptides with no disulfide bridges: a review. Peptides 51: 35-45.

Bermúdez G. M. J., J. M. Jiménez-Vargas, L. D. Possani, F. Zamudio, G. Orozco G., E. Oceguera C. *et al*. 2021. Biochemical characterization and insecticidal activity of isolated peptides from the venom of the scorpion *Centruroides tecomanus*. Toxicon Off. J. Int. Soc. Toxinology 206: 90-102.

Coelho, V. A., C. M. Cremonez, F. A. P. Anjolette, J. F. Aguiar, W. A. Varanda y E. C. Arantes. 2014. Functional and structural study comparing the C-terminal amidated β-neurotoxin Ts1 with its isoform Ts1-G isolated from *Tityus serrulatus* venom. Toxicon 83: 15-21.

Delgado P. G., L. D. Possani, B. Becerril and E. Ortiz. 2019. The Dual α-Amidation System in Scorpion Venom Glands. Toxins 11(425): 1-15.

Dueñas C.R. A., C. J. C. Santana, A. C. M. Magalhães, O. R. Pires, W. Fontes and M. S. Castro. 2020. Scorpion toxins and ion channels: potential applications in cancer therapy. Toxins 12(326): 1-18.

García G.I.A., E. Cárcamo N., F. Gómez L., E. González S., F. Zamudio, G. B. Gurrola *et al*. 2020. Biochemical characterization of the venom from the Mexican scorpion *Centruroides ornatus*, a dangerous species to humans. Toxicon Off. J. Int. Soc. Toxinology 173: 27-38.

Guerrero V., J. A., C. B. F. Mourão, V. Quintero H., L. D. Possani and E. F. Schwartz. 2012. Identification and phylogenetic analysis of *Tityus pachyurus* and *Tityus obscurus* novel putative Na^+-channel scorpion toxins. PLoS ONE 7(2): 1-13.

Housley, D. M., G. D. Housley, M. J. Liddell and E. A. Jennings. 2017. Scorpion toxin peptide action at the ion channel subunit level. Neuropharmacology, Venom-derived Peptides as Pharmacological Tools 127: 46-78.

Kawachi, T., M. Miyashita, Y. Nakagawa and H. Miyagawa. 2013. Isolation and characterization of an anti-insect β-toxin from the venom of the scorpion *Isometrus maculatus*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 77: 205-207.

Merkler, D. J., 1994. C-Terminal amidated peptides: Production by the *in vitro* enzymatic amidation of glycine-extended peptides and the importance of the amide to bioactivity. Enzyme Microb. Technol. 16: 450-456.

Miyashita, M., A. Sakai, N. Matsushita, Y. Hanai, Y. Nakagawa, and H. Miyagawa. 2010. A novel amphipathic linear peptide with both insect toxicity and antimicrobial activity from the venom of the scorpion *Isometrus maculatus*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 74: 364-369.

Mouhat, S., B. Jouirou, A. Mosbah, M. De Waard y J. M. Sabatier. 2004. Diversity of folds in animal toxins acting on ion channels. Biochem. J. 378: 717-726.

Oukkache, N., R. ElJaoudi, F. Chgoury, M. T. Rocha and J. M. Sabatier. 2015. Characterization of Am IT, an anti-insect β-toxin isolated from the venom of scorpion *Androctonus mauretanicus*. Sheng Li Xue Bao 67: 295-304.

Pedraza Escalona, M. y L. D. Possani. 2013. Scorpion beta-toxins and voltage-gated sodium channels: interactions and effects. Front. Biosci. Landmark Ed. 18: 572-587.

Tobassum, S., H. M. Tahir, M. Arshad, M. T. Zahid, S. Ali y M. M. Ahsan. 2020. Nature and applications of scorpion venom: an overview. Toxin Rev. 39: 214-225.

Valdez C. N.A., Batista, C.V.F., Zamudio, F.Z., Bosmans, F., Tytgat, J., Possani, L.D., 2004. Phaiodotoxin, a novel structural class of insect-toxin isolated from the venom of the Mexican scorpion Anuroctonus phaiodactylus. Eur. J. Biochem. 271, 4753–4761. https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.2004.04439.x**.**

Valdez, L. L., T. Olamendi P., R. Restano-C., F. Zamudio y L. D. Possani. 2018. Mass fingerprinting and electrophysiological analysis of the venom from the scorpion *Centruroides hirsutipalpus* (Scorpiones: Buthidae). J. Venom. Anim. Toxins Trop. Dis. 24(17): 1-8.

Valdez V. L. L., V. Quintero H., M. T. Romero G., F. I. V. Coronas y L. D. Possani. 2013. Mass fingerprinting of the venom and transcriptome of venom gland of scorpion *Centruroides tecomanus*. PLoS ONE 8(6): 1-15.

Valdez V. L. L., M. T. Romero G, I. Delgado E., O. Dobrovinskaya, V. Melnikov y V. Quintero H. 2016. Comprehensive analysis of venom from the scorpion *Centruroides tecomanus* reveals compounds with antimicrobial, cytotoxic, and insecticidal activities. Toxicon 118: 95-103.

Zlotkin, E., Y. Fishman and M. Elazar 2000. AaIT: from neurotoxin to insecticide. Biochimie 82: 869-881.

Zlotkin, E., H. Rochat, Kopeyan, F. Miranda and S. Lissitzky. 1971. Purification and properties of the insect toxin from the venom of the scorpion *Androctonus australis* Hector. Biochimie 53: 1073-1078.

SISTEMA DE INMERSIÓN POR GRAVEDAD MEJORA EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE PITAHAYA

Gabriela Hernández Hernández[1*], Genaro Pérez Jiménez[2] y César Romero Morante[3]

Resumen

El trabajo se desarrolló con el objetivo de valorar la eficiencia de los sistemas de incubación (BIG, cultivo *in* y *ex vitro* en medio líquido), de pitahaya (*Hylocereus* spp.) bajo cámaras de iluminación LED (rojo, azul, verde y fluorescente). Se utilizaron semillas de pitahaya colectadas en el municipio de Tehuacán Puebla, los tratamientos fueron: T1; cultivo *ex vitro* T2; cultivo *in vitro,* T3; BIG, se utilizó el medio de cultivo al 30%, sin agar, más 0.5 mg/L de AG_3 (ácido Giberelico) y piridoxina (vitamina B_6) 0.3 mg/L. Se habilitaron cuadros con luz LED, en espectros de color rojo, azul, verde y un testigo con luz fluorescente; la temperatura fue de 19°C ± 3°C. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar generalizado, las variables a evaluar: porcentaje de germinación (Ger), largo de la raíz (Lr), largo del tallo (LT), largo de los cotiledones (LC), diámetro del tallo (DT), peso fresco de la plántula (PP), peso de la raíz (PR), peso del tallo (PT), peso del cactus (PC) y eficiencia lumínica (EL). Los datos se analizaron por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y se registraron a los 53 días sistema BIG, 64 *in vitro* y 180 *ex vitro*. Los resultados, para el sistema BIG LF en la fecha 4 (11 días después de la siembra) fue del 93.75%, superior a los demás sistemas, en cuanto a las variables fisiológicas se observó en el sistema BIG Luz LR y LR datos diferentes en eficiencia lumínica y LIQ estimula el crecimiento de la raíz. El sistema BIG constituye una herramienta eficaz para la multiplicación *in vitro* de pitahaya, en adicción con luz artificial LED las plántulas muestran mayor crecimiento, tal es el caso de la luz verde en raíz y cotiledones.

Palabras clave: cultivo *in vitro*, cotiledones, espectros

[1] Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. *Correspondencia: hernandezgabriela@itat.edu.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
[3] Universidad Tecnológica de Huejotzingo.

Introducción

La aplicación del cultivo de tejidos *in vitro,* contribuye a la propagación masiva de especies con importancia económica que permite obtener material vegetal representativo de la variabilidad genética; representa un método generador de una alta cantidad de plántulas en un corto tiempo y espacios reducidos (Pérez *et al*., 2015).

El empleo de medios líquidos es primordial para lograr la automatización de los procesos de cultivo *in vitro* (Chávez *et al*., 2018). Sin embargo, el contacto constante de los explantes con el medio de cultivo líquido provoca efectos negativos sobre los tejidos de los brotes, bien sea por hiperhidricidad o hipoxia (Pérez *et al*., 2012). El desorden fisiológico es eliminado o minimizado mediante la agitación del medio de cultivo líquido o sistemas que permiten la aireación parcial o continúa (Farah y Majd, 2012), al respecto, para reducir o eliminar este problema se proponen sistemas donde el explante esté en contacto intermitente con el medio líquido y se produzca una renovación continua de la atmósfera del envase para evitar acumulación de gases tóxicos como el etileno (Mancilla *et al*., 2021).

El uso de biorreactores de inmersión por gravedad (BIG) se han convertido en una eficiente herramienta para la micropropagación, debido a que incrementa la multiplicación y mantiene la pureza genética de los explantes, además, es posible controlar los tiempos de inmersión y reducir problemas de hiperhidricidad (frecuentes en sistemas de cultivo en medios líquidos) (Stefano, 2020). Mediante el uso de este sistema de micropropagación se puede incrementar considerablemente el coeficiente de multiplicación de brotes en comparación con las formas convencionales de propagación.

El desarrollo de explantes en condiciones *in vitro* se modula a partir de cuartos de crecimiento, donde la luz puede afectar el desarrollo de las plantas ya sea como calor o por el espectro emitido de las fuentes de energía. La composición espectral, intensidad, dirección y fotoperiodo son aspectos que cambian y afectan su crecimiento por la excitación que perciban los fotorreceptores contenidos en los tejidos activos de crecimiento (Stefano, 2020). Según Montiel (2017), el comportamiento de muchos cultivos depende de la calidad, intensidad y fotoperiodo de la luz que reciben, debido a varias enzimas involucradas en el desarrollo. Sin embargo, la bibliografía documentada aun es escasa. El presente estudio tiene como objetivo evaluar los sistemas de incubación, bajo cámaras de iluminación artificial LED en plántula de pitahaya.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo experimental San Martinito, localizado en el municipio de Santa Rita Tlahuapan, Puebla. Se colectaron frutos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en el municipio de Tehuacán, Puebla; posteriormente los frutos se llevaron a laboratorio para identificar y extraer el material seminal. La selección de semillas fue visual a la calidad física, sin daños mecánicos o patológicos.

Ensamble de sistema de inmersión por gravedad

El sistema BIG estuvo compuesto por dos frascos de cultivo de 250 mL de capacidad, uno para el crecimiento de brotes y otro como reservorio de solución. Los frascos de cultivo se conectaron entre sí por una manguera de silicona de seis milímetros de diámetro mediante conectores que atravesaron la parte baja de los frascos. El medio de cultivo circuló de un frasco de cultivo a otro en dependencia de la gravedad. La presión del aire fue proveniente de un compresor de la marca TRUPER® de 2 hp de potencia que fue conectado a un temporizador programable de la marca VOLTECK® a un minuto cada ocho horas de frecuencia de inmersión. A la entrada de los frascos de cultivo y en cada tapa se colocaron filtros hidrofóbicos (0.22 µm, MIDISART® 2000, de la compañía SARTORIUS) para garantizar la esterilidad del aire.

Establecimiento *ex vitro*

Se establecieron semillas de pitahaya previamente seleccionada y caracterizada, colocando 100 semillas en cada caja petri de plástico, con una base de papel absorbente para mantener la humedad, esto en seis repeticiones por cuatro tratamientos desde la siembra a la germinación.

Tratamientos *in vitro*

Se introdujeron cuatro frascos de plástico con 25 mL de medio de cultivo y un trozo de algodón como soporte, cada uno con cuatro semillas de pitahaya previamente tratadas.

Medio de cultivo

Se utilizó el medio de cultivo propuesto por Murashige y Skoog (1962), al 30%, sin agar, más 0.5 mg/L de AG_3 (ácido Giberelico) y piridoxina (vitamina B6) 0.3 mg/L.

Acondicionamiento de cámaras de incubación

Se habilitaron cuadros con luz LED, en espectros de color rojo (LR), azul (LA), verde (LV) y un testigo con luz fluorescente (LF); se utilizó un fotoperíodo de 16 horas de luz y ocho horas de oscuridad, programado por un temporizador Steren®, se calculó el flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) con un luxómetro (Steren®, modelo HER-408) donde se obtuvo que para el espectro rojo fue de 63.1 Lu m2-1, azul de 40.9 Lu m2-1, verde 26.7 Lu m2-1 y el testigo de 65.1 Lu m2-1, la temperatura dentro de cada cámara de ambiente se mantuvo constante entre 19°C ± 3°C.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar generalizado, con un arreglo factorial 4 x 3, con seis repeticiones por cada tratamiento; las variables a evaluar: Largo de la raíz (LR), largo del tallo (LT), largo de los cotiledones (LC), diámetro del tallo (DT), peso fresco de la plántula (PP), peso de la raíz (Pr), peso del tallo (PT), peso del cactus (PC), eficiencia lumínica (EL).

Los datos se tomaron a partir de los 53 dds (días después de la siembra) en el sistema BIG, 180 dds en el cultivo *ex vitro* y 64 dds en el *in vitro*, dichos datos se analizaron por medio de un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el procedimiento GLM del SAS (Statical Analysis System, Ver. 9.4), donde se mostraron diferencias estadísticas se realizó una comparación múltiple de medidas con la prueba de Tukey, en un nivel de significancia del 95%.

Resultados y Discusión

La Figura 1 muestra el porcentaje de germinación de acuerdo a cuatro fechas, inciso a) seis días después de la siembra, se observa 45.8% del total en germinación en LR, dato superior a los demás sistemas, sin embargo, en la fecha cuatro correspondiente a los 11 días después de la siembra se nota un incremento en el sistema BIG LF 93.75%, LR 81.25%, LA 75%, LV 81.25%, en cuanto al medio liquido LR 83%, LA 66.6%, LV 50%, LM 83%, LB 87.5% y en el medio solido LR 20.8%, LA 8.3%, LV 25%, LM 4.1%, y LB 8.3%, datos que confirman que durante la fase de germinación la luz LED no es un factor determinante, sin embargo, la consistencia del medio de cultivo si modifica la germinación.

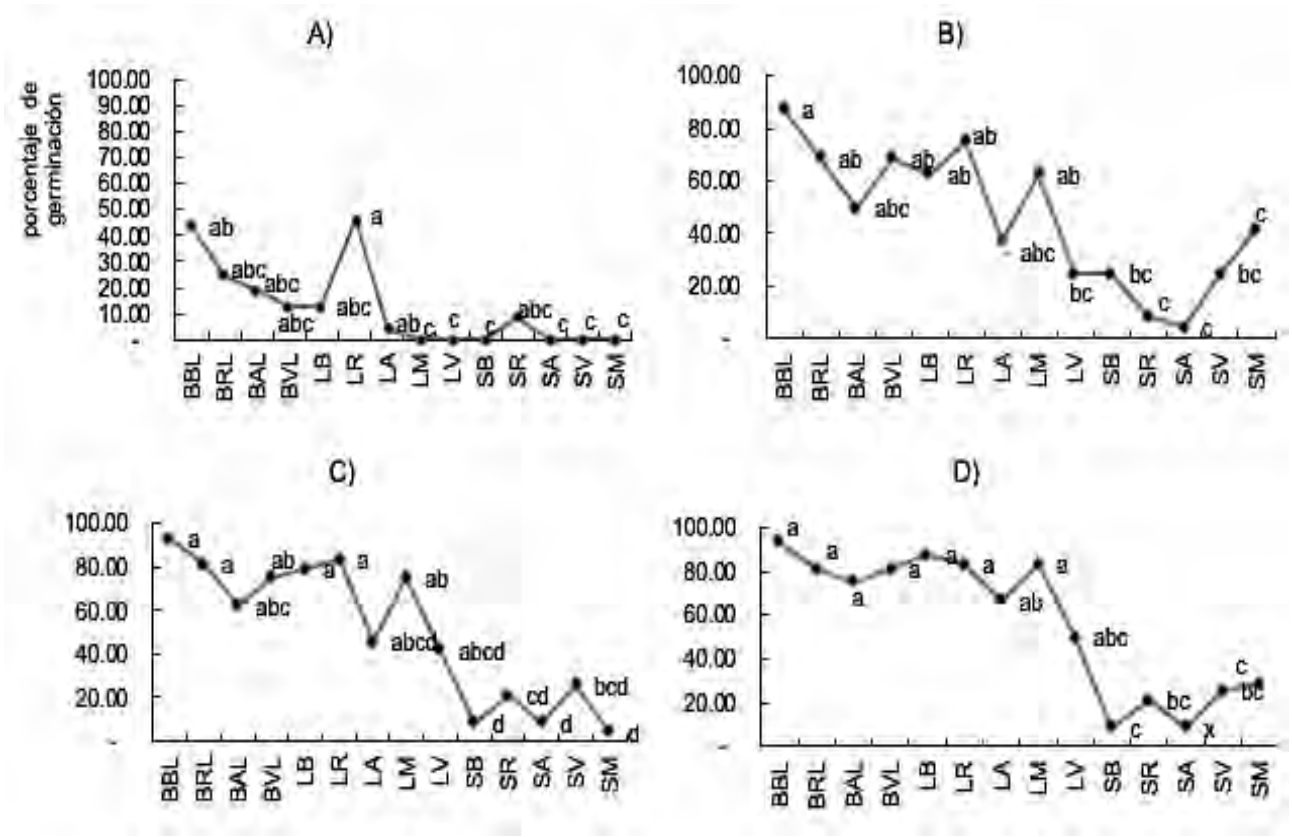


Figura 1. Comparación de medias por Tukey por fecha de muestreo. A) Datos de la fecha 1; B) Datos de la fecha 2: C) Datos de la fecha 3: D) Datos de la fecha 4; BBL: BIG luz fluorescente; BRL: BIG luz roja; BAL: BIG luz azul; BVL: BIG luz verde; LB: medio liquido luz fluorescente; LR: medio liquido luz roja; LA: medio liquido luz azul; LM: medio liquido luz morada LV: medio liquido luz verde; SB: medio solido luz fluorescente; SR: medio solido luz roja; SA: medio sólido luz azul; SV: medio solido luz verde; SM: medio solido luz morada.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) mostraron que para la variable de viabilidad GER (Cuadro 1), se observan diferencias estadísticamente significativas ($p<0.0005$) en la interacción de luz por sistema (LxS), por lo cual, podemos deducir que el sistema en el que se siembra la semilla adicionada con luz artificial LED influye en la activación del metabolismo y proceso de respiración para el crecimiento del embrión, así como en otros procesos de desarrollo de las plantas, tales como la elongación y floración.

Las variables fisiológicas en respuesta a la luz LED mostraron valores altamente significativos en DT, EL y valores significativos en Lr, LC, PC, así como, en los efectos fisiológicos en reacción con el sistema de incubación en donde se establecieron, se observan valores significativos en todas las variables, por último, en la interacción luz por sistema, las variables; LR, LC, DT, PC y EL, son altamente significativos.

Cuadro 1. ANOVA efectos de la interacción sistemas de incubación y diferente luz LED en plántulas de pitahaya.

V	Media	Luz	Sistema	CM†			
				LxS	Error	R^2	CVϕ
Variable de viabilidad							
Ger	2.078	10.265		1.429 *	0.84	0.72	44.86
Variables fisiológicas							
LR	10.24	284.75*	1141.2*	206.28**	30.08	0.7	53.56
LC	13.11	36.61*	9.46ns	9.29**	3.012	0.5	13.23
DT	1.35	2.23**	5.54*	0.05**	0.055	0.84	17.27
PC	4.81	66.34*	1654.81*	66.36**	0	0.99	0.25
EL	19.14	1150**	24927.6*	1152.2**	31.5	0.96	29.32

CM†: cuadrados medios; CVϕ: coeficiente de variación; R2: Coeficiente de determinación; *: significativo ($p < 0.0005$); **: altamente significativo ($p<.0001$); ns: no significativo al ($p \leq 0.5$). LR: largo de la raíz; LC: largo de las cotiledóneas; DT: diámetro del tallo; PC: peso de las cotiledóneas; EL: eficiencia lumínica; LF: luz fluorescente; LR: luz roja; LA: luz azul; LV: luz verde.

El Cuadro 2 muestra la comparación de datos obtenidos por Tukey en donde se observó que en el sistema *ex vitro* muestra datos diferentes en el largo de los cotiledones, en cuanto a LIQ describe un mayor crecimiento de raíz y peso de los cotiledones por último en el sistema BIG se observó un aumento en el diámetro del tallo y eficiencia lumínica.

Cuadro 2. Efectos en la plántula de pitahaya bajo diferentes sistemas de incubación en comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.5$).

	LR	LC	DT	PC	EL
Ex vitro	5.65^{b}	13.54^{a}	1.07^{b}	0.01^{b}	0.52^{b}
LIQ	18.17^{a}	12.39^{a}	1.09^{b}	14.40^{a}	0.55^{b}
BIG	6.89^{b}	13.41^{a}	1.91^{a}	0.016^{b}	56.36^{a}
DMS*	3.80	1.20	0.16	0.00	3.89

DMS*: Diferencia mínima significativa; valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$); LR: Largo de la raíz; LC: Largo de los cotiledones; DT: Diámetro del tallo; PC: Peso de las cotiledóneas; EL: Eficiencia lumínica; BIG: Biorreactor de inmersión por gravedad; LIQ: Cultivo *in vitro* en medio líquido.

En el Cuadro 3 se muestra la respuesta fisiológica de las plántulas de Pitahaya en exposición a la luz LED, se observa una eficiencia lumínica en la luz roja. En cuanto a LF se observa el crecimiento del Lr Y PC en LA, la variable DT presenta valores diferentes y la luz verde en LC.

Los valores de las variables fisiológicas conforme al sistema y la luz LED que estuvieron expuestas las plántulas, se pueden observar en el Cuadro 4, donde se muestran valores estadísticamente diferentes; el sistema LIQ bajo el efecto de la luz fluorescente y verde en Lr y PC solo en la luz fluorescente. En el sistema BIG, bajo el efecto de la luz roja y verde EL y únicamente en la luz roja LC, por último, en la luz azul DT.

Cuadro 3. Influencia de luz LED en plántula de pitahaya por comparación de medias por Tukey (p ≤ 0.5).

Espectros de luz	Lr	LC	DT	PC	EL
LF	13.11^{a}	12.5^{b}	1.34^{b}	7.69^{a}	19.09^{b}
LR	4.35^{b}	14.27^{a}	1.2^{bc}	3.85^{b}	26.51^{a}
LA	11.63^{a}	11.39^{b}	1.85^{a}	3.85^{b}	8.05^{c}
LV	11.86^{a}	14.29^{a}	1.03^{c}	3.84^{b}	22.93^{ab}
DMS	4.83	1.52	0.20	0.01	4.94

DMS*: Diferencia mínima significativa; valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes (p ≤ 0.5); Lr: Largo de la raíz; LC: Largo de las cotiledóneas; DT: Diámetro del tallo; PC: Peso de las cotiledóneas; EL: Eficiencia lumínica; LF: Luz fluorescente; LR: Luz roja; LA: Luz azul; LV: Luz verde; LIQ: Cultivo *in vitro* en medio líquido.

Cuadro 4. Interacción sistema de incubación bajo el efecto de diferente iluminación LED en plántula de pitahaya spp., por comparación de medias por Tukey general (p ≤ 0.5).

	Lr (cm)	LC (cm)	DT (cm)	PC (g)	EL (HL/h)
			LF		
Ex vitro	5.05^{c}	12.45^{ac}	1.10^{e}	0.015^{c}	0.77^{d}
LIQ	24.68^{a}	13.08^{ab}	0.96^{e}	23.04^{a}	1.03^{d}
BIG	9.59^{bc}	11.96^{bc}	1.97^{b}	0.01^{c}	55.47^{b}
			LR		
Ex vitro	3.01^{c}	14.01^{ab}	0.98^{e}	0.015^{c}	0.46^{d}
LIQ	4.58^{c}	12.96^{ab}	0.98^{e}	11.52^{b}	0.39^{d}
BIG	5.46^{c}	15.85^{a}	1.63^{bc}	0.01^{c}	78.68^{a}
			LA		
Ex vitro	11.71^{bc}	12.55^{ac}	1.46^{cd}	0.02^{c}	0.44^{d}
	Lr (cm)	**LC (cm)**	**DT (cm)**	**PC (g)**	**EL (HL/h)**
LIQ	17.61^{ab}	9.35^{c}	1.65^{bc}	11.52^{b}	0.40^{d}
BIG	5.58^{c}	12.27^{bc}	2.44^{a}	0.02^{c}	23.30^{c}
			LV		

Continúa Cuadro 4…					
Ex vitro	2.83^{c}	15.15^{ab}	0.73^{e}	0.015^{c}	0.38^{d}
LIQ	25.80^{a}	14.18^{ab}	0.76^{e}	11.52^{bc}	0.40^{d}
BIG	6.94^{bc}	13.56^{ab}	1.61^{bc}	0.006^{c}	67.98^{a}
DMS*	10.76	3.40	0.46	0.024	11.02

DMS*: diferencia mínima significativa; valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$); Lr: largo de la raíz; LC: largo de las cotiledóneas; DT: diámetro del tallo; PP: peso fresco de la plántula; PC: peso de las cotiledóneas; EL: eficiencia lumínica; BIG: Biorreactor de inmersión por gravedad; LIQ: cultivo *in vitro* en medio líquido; LF: luz fluorescente; LR: luz roja; LA: luz azul; LV: luz verde.

Conclusiones

El uso de los biorreactores de inmersión por gravedad promueve la multiplicación y crecimiento de pitahaya (*Hylocereus* spp), logrando reducir el tiempo de cultivo y aumentando la eficiencia lumínica. La iluminación artificial luz LED no es un factor determinante en la germinación de semilla de pitajaya, sin embargo, si influye en el desarrollo de la plántula tal, fue el caso de; Luz verde que estimula la división celular mostrando mayor longitud de tallo y raíz.

Literatura Citada

Chávez G. J. A., M. Andrade R., P. Juárez L., O. G. Villegas T., H. Sotelo N. y F. Perdomo R. 2018. Evaluación de tres sistemas de cultivo in vitro para la multiplicación de microcormos de gladiolo. Revista Fitotecnia Mexicana 41(4A): 551-554.

Farah F. y M. Ahmad. 2012. Comparison of liquid culture methods and effect of temporary immersion bioreactor on growth and multiplication of banana (Musa, cv. Dwarf Cavendish). African Journal of Biotechnology 11 (33): 8302-8308.

Mancilla A. E., J. A. Pérez S., R. Núñez P., J. L. Spinoso C. y J.J. Bello B. 2021. Comparison of different semi-automated bioreactors for in vitro propagation of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott). Plants 10 (5): 1010.

Montiel L. 2017. Conservación in vitro de pitahaya (*Hylocereus* spp) mediante el cultivo de mínimo crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, 62.

Pérez M. B. E., M. S. Santos D., R. Ramírez M. y N. Ochoa A. 2015. Tissue culture of ornamental cacti. Scientia Agricola 72 (6): 540-561.

Pérez M. B., V. M. Vega, E. O. Gálvez, M.T. Delgado, J. L. Torres, M.C. Jova *et al*. 2012. Empleo de Sistemas de Inmersión Temporal como alternativa para la multiplicación in vitro del cultivar de plátano vianda INIVITPV06-30 (Musa AAB). Biotecnología Vegetal 12 (1).

Stefano, V., R. Z. 2020. Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas in vitro: Revisión de Literatura. Agrícola Panamericana, 25.

EFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO Y CERIO EN EL CRECIMIENTO DE PAPAYA MICORRIZADA EN INVERNADERO

Ricardo Ceballos Salazar[1], Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar[1], Edgar René López Mena[2], Diego Eloyr Navarro Lopez[2] y Gabriel Rincón Enriquez[1]*

Resumen

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son organismos biótrofos con interacción comensalita en la mayoría de las plantas terrestres. Éstos tienen un impacto importante en el desarrollo y crecimiento de las raíces. Por otro lado, las nanopartículas (NPs) tienen un efecto significativo en el metabolismo de la planta, así como asimilación y síntesis de micronutrientes, sin embargo, algunas pueden ocasionar resultados adversos en la morfología de la planta, sobre todo en combinación con microorganismos presentes en la rizósfera. Por lo cual el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las nanopartículas en la interacción de HMA con plantas de papaya. Se realizo un experimento bifactorial con 4 niveles de HMA y 4 de NPs en un diseño completamente al azar en invernadero. Las Nps de hierro y cerio demostraron tener un efecto positivo en *Rhizophagus intraradices* y el consorcio Cerro del Metate, mientras que *Funneliformis mosseae* tuvo crecimiento significativo sin el uso de las NPs. Adicional, las NPs de ferrita de zinc mostraron tener un resultado significativo en el crecimiento de todas las plantas micorrizadas. No obstante, no se observó el mismo resultado con las nanopartículas de cerio a excepción de las plantas sin el HMA. A pesar de haber tenido un efecto neutro, las NPs de óxido férrico no demostraron fitotoxicidad en las plantas. La concentración de las NPs a 20 mg/mL fue considera como baja, por lo cual se requieren más estudios que involucren concentraciones mayores de las NPs.

Palabras clave: hongos micorrízicos arbusculares, nanotecnología, iones, *Carica papaya* L.

[1] Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco, Unidad Zapopan. Camino Arenero 1227, El Bajío, C.P. 45019 Zapopan, Jalisco. *Autor correspondencia: *grincon@ciatej.mx

[2] Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara, Av. Gral. Ramón Corona No 2514, Colonia Nuevo México, C.P. 45201 Zapopan, Jalisco.

Introducción

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos reconocidos dentro del reino Fungi bajo el nombre de la clase *Glomeromycota* con más de 230 especies reconocidas actualmente (Schüßler, 2011) y con propiedades únicas diferente de cualquier otro microorganismo terrestre fúngico. Los HMA son simbiontes obligados de plantas terrestres que colonización directamente a las raíces por medio de estructuras internas llamados arbúsculos donde ocurre un intercambio de nutrientes que mejora en gran parte el crecimiento y desarrollo metabólico de la planta. Sin embargo, las rutas metabólicas que acompañan a este proceso consisten en miles de mecanismos más evolucionados e independientes que hasta la fecha aún no se han estudiado en su totalidad (Kokkoris *et al.,* 2021). Pues los HMA poseen en sus esporas entre 130 a 35000 núcleos individuales, cada uno con una función única e individual. El estudio de estos microorganismos es de crucial importancia debido a que han ido evolucionado junto a las plantas en el planeta por millones de años y han contribuido con efectos potenciadores en más del 90% de las plantas terrestres (Kokkris *et al.,* 2021). La perturbación humana que involucra a estos HMA en cultivos de cualquier planta es perjudicial para los ecosistemas (Clavel *et al.,* 2021). Estudios previos con plantas no nativas en un área en específico inoculadas con esporas de HMA, demostraron tener mejor rendimiento en el crecimiento en comparación con plantas sin HMA. El empleo de nanopartículas (NPs) metálicas puede tener efectos positivos en la morfología, crecimiento y germinación de semilla o plantas, así como en la formación y alargamiento de raíces y brotes (Taran *et al.,* 2014). Esto es propiciado debido a las propiedades iónicas de las NPs al formar parte de las reacciones enzimáticas dentro de las propias células vegetales, permitiendo una transferencia de electrones entre la rizosfera y éstas. Debido a estos efectos como la conversión de nitratos a amonio, intensificación de la respiración de la planta y procesos fotosintéticos, síntesis de aminoácidos y el aumento en la nutrición de nitrógeno y carbono se favorece el crecimiento vegetal (Kole *et al.,* 2013). Combinadas las NPs con los HMA han demostrado tener un efecto potenciador en el rendimiento de biomasa y nutrientes propios de la planta (El Gazzar *et al.,* 2020; Taran *et al.,* 2014). El estudio de este último punto es limitado debido a la naturaleza de las propias nanopartículas. El tamaño, forma, carga neta, área de superficie y potencial zeta son algunas propiedades fisicoquímicas de las NPs, las cuales, a su vez, determinarán la

efectividad en la concentración de las soluciones coloidales administradas a las plantas micorrizadas. Existe poca información al respecto que involucre a interacción planta-micorriza-nanopartícula. No obstante, se ha probado directamente el efecto que tienen las NPs sobre el crecimiento de las plantas. Naseer *et al.* (2021) determinó un efecto positivo por parte de las NPs de hierro al mejorar el rendimiento en el área foliar y el crecimiento de la raíz respecto a los controles (sin nanopartículas). Por otro lado, las nanopartículas de zinc a altas concentraciones (500 mg/mL) mostró efectos positivos en el crecimiento de la planta, pero efectos adversos en el desarrollo de la espora de HMA (Li *et al.,* 2015). Por su parte, las nanopartículas de cerio son de las nanopartículas más prominentes de la última década al favorecer un intercambio de electrones más eficiente entre los minerales de la rizosfera que cualquier otro tipo de NPs al mejorar también la fijación biológica de fósforo en plantas (Kshitji *et al.,* 2020; Moll *et al.,* 2016). Este y otras muchas propiedades se pretenden resolver en este estudio involucrando la triple interacción entre planta-micorriza-nanopartícula. Al igual que determinar el efecto de las nanopartículas de hierro y cerio en la colonización micorrízica de la planta de la papaya. Por lo cual el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que tiene las NPs en el crecimiento de plantas micorrizadas de papaya en condiciones de invernadero.

Materiales y Métodos

Síntesis de nanopartículas de ferrita de zinc

Se utilizó el método planteado por García *et al.* (2019) con ligeras modificaciones. Las nanopartículas de ferrita de zinc fueron sintetizadas en las instalaciones del CIATEJ. Acetato de zinc y sulfato férrico fueron usados como precursores de zinc e hierro respectivamente. Los reactivos se combinaron y molieron en mortero y el polvo fino se colocó en una mufla a 500°C por 3 h usando un crisol de porcelana. Se realizaron 3 lavados en centrífuga a 8000 rpm por 10 min. Posteriormente se dejó en horno a 60°C por 24 h y se trituraron usando mortero hasta obtener un polvo fino de color café, denominado como FeZnNPs.

Síntesis de nanopartículas de óxido férrico

Una muestra de 4 g de quitosano se disolvió en 200 mL de solución previamente preparada de ácido acético al 2% (v/v) y 0.2 mL de glutaraldehído (25%) con agitación vigorosa por 24 h

hasta formación de hidrogel con consistencia viscosa y de color trasparente. Se realizó una mineralización *in situ* en las instalaciones del ITESM Campus Guadalajara preparando soluciones usando los reactivos $FeCl_3$ y $FeCl_2$ a 0.15 y 0.075 mol/L ajustando el pH de ambas a 1.0 usando HCl. Se añadieron al hidrogel con agitación hasta completa homogenización y se dejó reposar 40 min, después se añadió una solución de NaOH a 1.25 mol/L hasta obtener un compuesto negro de magnetita/quitosano. Se deja reposar 24 h hasta la formación total del complejo donde el líquido sobrante fue desechado. El sólido formado se degradó usando solución de ácido acético (5% v/v) y agua oxigenada (5% v/v) en agitación constante por 24 h. Finalmente, se realizaron lavados hasta total clarificación del agua usando un imán de 10000 Gauss de potencia entre decantación. El compuesto obtenido se dejó en horno a 120°C por 20 min para evaporar el agua restante. A este polvo se le denominó FeONPs.

Síntesis de nanopartículas de óxido de cerio

Las nanopartículas de cerio fueron sintetizadas en los laboratorios del ITESM (México). Una muestra de 3.8 g de nitrato de cerio se añadieron a una solución previamente preparada usando 3.2 g de sacarosa y 0.4 g de PVA a 80°C con agitación constante. El pH se ajustó a 2.0 usando ácido cítrico anhídrido durante la agitación. Se mantuvo en estas condiciones hasta la formación de una esponja de color amarillo en el fondo del vaso. Posteriormente se llevó a horno a 180°C por 4 h usando como tapa del vaso una hoja de aluminio ajustada. Se obtuvo un compuesto de color café metálico el cual se traspasó a un recipiente de alúmina para meter a mufla por 3 h a 400°C. Al final, se obtuvo un polvo de color amarillo verdoso al cual se denominó CeONPs.

Preparación de las nanopartículas (NPs) e inóculos de HMA

Las NPs de hierro y cerio se prepararon a una concentración de 100 mg/mL. 70 mg de cada nanopartícula se agitaron en agua desionizada evitando usar agitador magnético. De la solución se realizaron alícuotas correspondientes para 50 y 20 mg/mL respectivamente. Inóculos de *F. mosseae* (20 g), *R. intraradices* (2 g) y el consorcio CM (4 g) previamente obtenidos de macetas trampa conteniendo 100 esporas de cada uno fueron utilizados. Las soluciones coloidales (20 mg/mL) y los inóculos correspondientes se añadieron directamente en la raíz al momento del trasplante.

Condiciones experimentales en invernadero

La germinación y crecimiento de papaya se realizó en el invernadero del CIATEJ. La

preparación del sustrato (2 kg por unidad experimental) consistió en macetas de 23x15 cm con 60% suelo, 30% arena y 10% perlita (esterilizado: 120°C, 1.05 kg cm^2, 6 h). Semillas de papaya sin mucílago y lavadas se depositaron en charolas; posteriormente a los 30 días después de la siembra se emplearon plantas homogéneas para su trasplante a macetas. Las plantas se dejaron en observación por 60 días. El riego fue cada tres días a capacidad de campo.

Diseño experimental y de tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo de tratamientos bifactorial; factor 1 = hongos micorrízicos arbusculares (HMA; con 4 niveles: *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, un consorcio Cerro de Metate "CM" y sin HMA); y factor 2 = nanopartículas (NPs, con 4 niveles: ferrita de zinc (Fe-Zn), óxido férrico (Fe_3O_4), óxido de cerio (CeO_2) y sin NPs). La combinación de los niveles de los factores de estudio dio 16 tratamientos con 8 repeticiones cada uno. Se evaluó la altura de la planta cada 10 días empleando un vernier electrónico (Trupper®) hasta los 60 días posinoculación (DPI) de los HMA.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de la variable de respuesta altura de la planta se analizó con un análisis de varianza (ANOVA) uni y multifactorial y con pruebas de comparación múltiple de medias Tukey ($p \leq 0.05$) mediante el paquete estadístico StatGraphics (StatPoint, 2005).

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la cinética de crecimiento de plantas de papaya (altura de planta) en condiciones de invernadero hasta los 60 días posinoculación (DPI). De manera general se puede indicar que para los tratamientos que fueron inoculados por HMA a partir de los 30 DPI se observa diferencias significativas respecto a los tratamientos sin HMA.

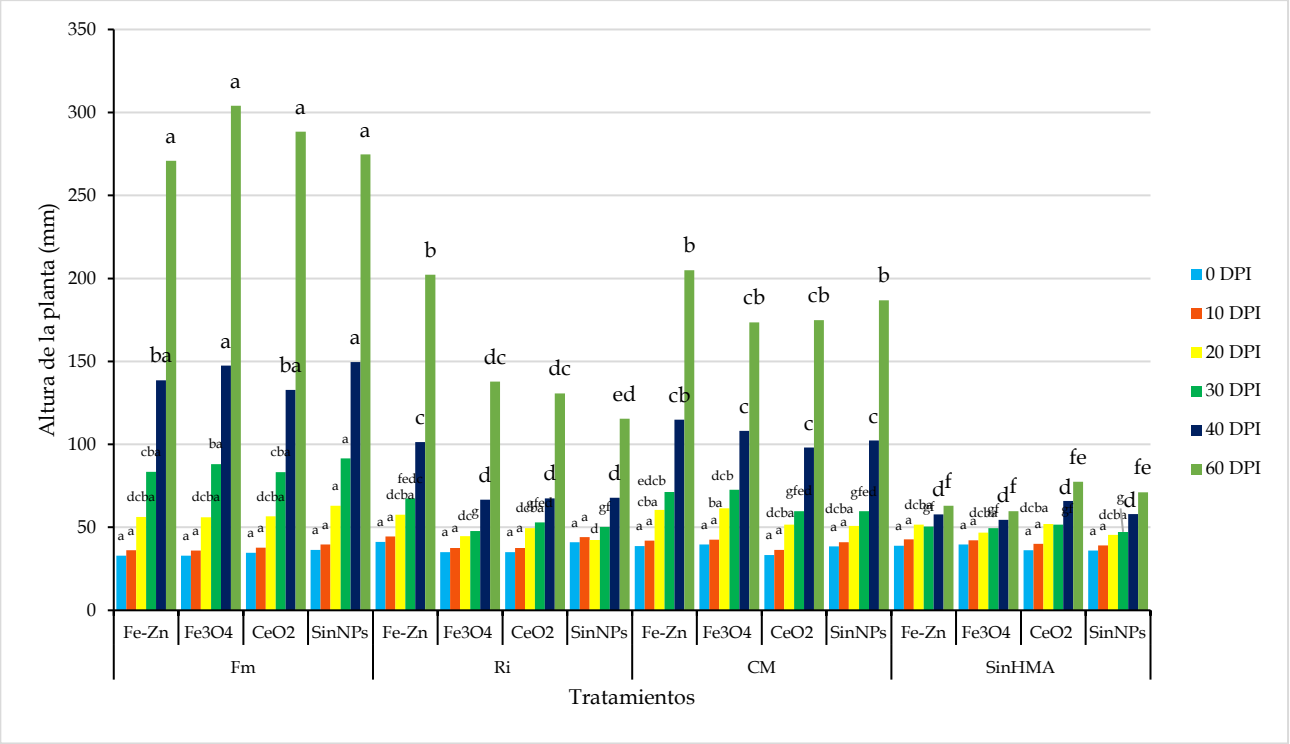


Figura 1. Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y nanopartículas (NPs) en el crecimiento de plantas de la papaya en un periodo de 60 días posinoculación (DPI) en condiciones de invernadero. Letras distintas para cada color de barra indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0.05). Sin HMA= Sin micorriza; Ri = *R. intraradices*; Fm = *Funneliformis mosseae*; CM = consorcio de HMA.

Los hongos micorrízicos *R. intraradices* (Ri) y el consorcio CM (CM) mostraron diferencias significativas en la altura de planta, además se observa que al agregar alguna NPs no muestran diferencias significativas con respecto a las plantas con HMA y sin NP (Figura 1). A pesar de ser éstas NPs potenciales mejoradores en el crecimiento de la altura de planta; los HMA tienen un efecto protector en general hacia las raíces de la planta. Esto les permite a las plantas evitar tenga un efecto negativo debido a la adsorción de iones metálicos por medio de la raíz hacia el resto de ésta. *F. mosseae* resultó tener mayor altura y demostró ser la micorriza más efectiva significativamente en el experimento a los 60 DPI (Figuras1, 2 y 4).

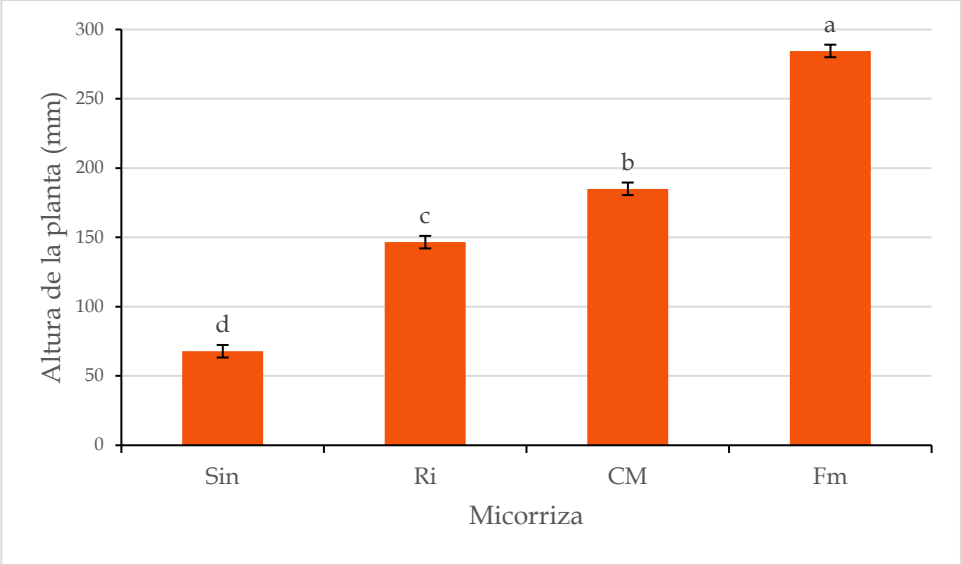


Figura 2. Comportamiento de los niveles del factor hongo micorrízico arbuscular (HMA) en la altura de la planta de papaya a los 60 días después de la posinoculación en condiciones de invernadero. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0.05). Las barras en cada rectángulo indican ± el error estándar. Sin = Sin HMA; Ri = *R. intraradices*; Fm = *Funneliformis mosseae*; CM = consorcio de HMA.

Las CeONPs no tuvieron un efecto significativo sobre las plantas inoculadas con los HMA antes de los 60 DPI (Figuras 1 y 3).

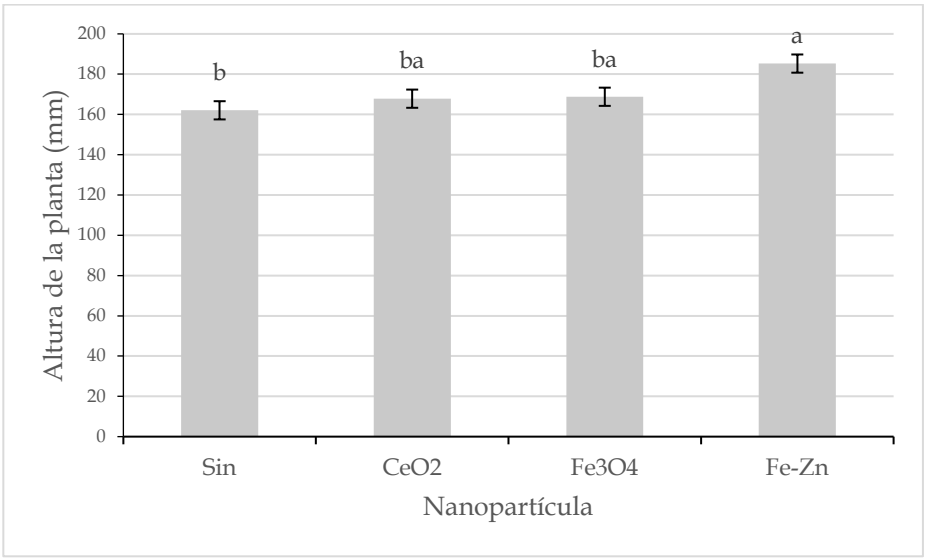


Figura 3. Comportamiento de los niveles del factor nanopartícula en la altura de la planta de papaya a los 60 días después del trasplante en condiciones de invernadero. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (p≤0.05). Las barras en cada rectángulo indican ± el error estándar. Fe-Zn = ferrita de zinc; Fe_3O_4 = óxido férrico; CeO_2 = óxido de cerio; Sin = sin NPs).

Puede ser que en posteriores estados del crecimiento vegetal estas nanopartículas de Cerio puedan tener un efecto potencializador del efecto de los HMA, dado que el Ce tiene la propiedad de variar el número de iones presentes en su estructura atómica (Wu *et al.,* 2017) y a su vez, permite que la planta las adsorba en bajas concentraciones debido a su área de superficie mayor al entrar en contacto con la célula de la raíz. La interacción iónica entre el Ce^{3+} y Ce^{4+} con otros iones presentes en la raíz y suelo no está estudiada en plantas aún, por lo que el modelo de cómo interactúan puede ser descrito.

F. mosseae muestra una clara pero ligera interacción hacia cualquier tipo de nanopartícula (Figuras 1 y 4), a excepción de las nanopartículas de Fe_3O_4 (concentración de 20 mg/mL). Esto puede ser explicado que al incrementar la concentración de las soluciones coloidales de las NPs se pueda observar con mayor claridad el efecto potenciador del HMA al proteger a la planta de contaminación contra iones de metales pesados presentes en el suelo (Feng *et al.,* 2013). Por otro lado, plantas inoculadas con *R. intraradices* y CM tienen una particular preferencia por las NPs en general, sobre todo para FeZnNPs para ambos y óxido férrico para CM (Figuras 1 y 4).

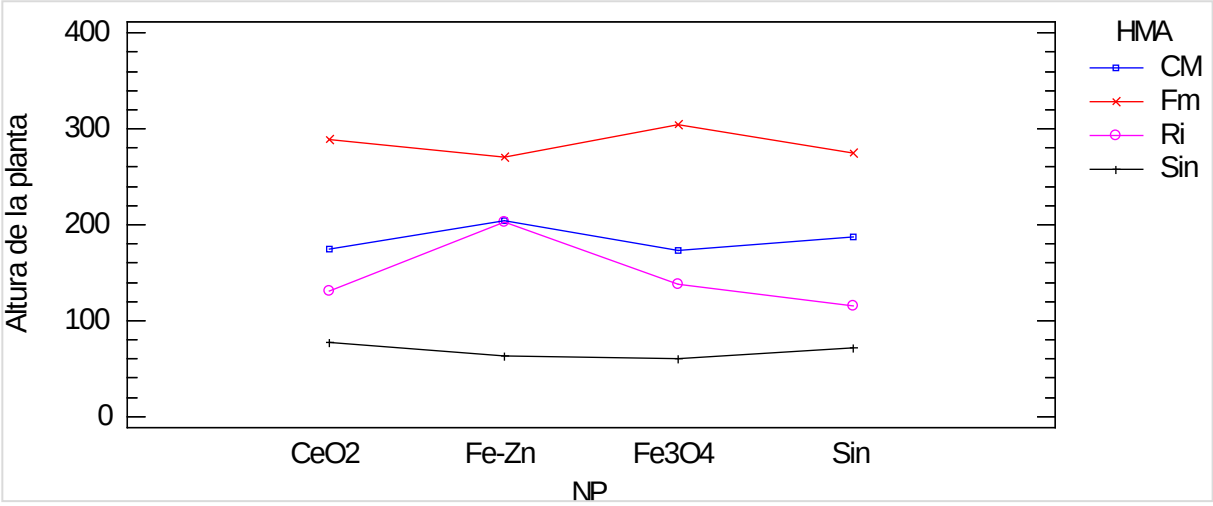


Figura 4. Interacción entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las nanopartículas (NP) en la altura de la planta de papaya a los 60 días después del trasplante en condiciones de invernadero. HMA: Sin = Sin HMA; Ri = *R. intraradices*; Fm= *F. mosseae*; CM= consorcio de HMA; NP= nanopartícula.

Las nanopartículas de ferrita de zinc resultaron tener el mejor efecto en la altura de planta en comparación con las otras (Figuras 3 y 4). En contraste con las plantas inoculadas sin HMA y

sin NPs, las FeONPs y CeONPs con los HMA tuvieron bajos resultados en la altura de las plantas de papaya (Figuras 1 y 3).

Las NPs de CeO_2NPs podrían tener efeto en el crecimiento de las plantas, sin embargo, una de las razones para alcanzar este efecto puede ser la concentración de la nanopartícula, en este experimento fue baja (20 mg/mL) y por tanto el HMA pudo retardar su degradación debido a su tamaño. Al haber alcanzado la concentración apropiada el efecto mitigador de estrés abiótico natural del cerio puede modificar la morfología de las barreras corticales y facilitar el transporte de Na+ y K+ de las raíces a la parte aérea (Rossi *et al.,* 2017). Sin embargo, para demostrar esto, se requiere probar diferentes concentraciones del cerio y otras especies vegetales.

El consorcio CM demostró tener un crecimiento favorable en la planta de papaya al ser inoculadas con las nanopartículas de ferrita de zinc, sin embargo, la altura se vio afectada en los tratamientos con las NPs de óxido férrico y cerio (Figura 4). Este comportamiento se esperaba con este tipo de HMA debido a que, dentro del mismo, se pueden encontrar distintas especies de micorrizas que puedan ser vulnerables al ser expuestas a este tipo de NPs pero de igual manera, habrá otras que aprovechen la presencia de esas NPs (Figuras 3 y 4). La ligera pérdida de altura puede ser debido a toxicidad de las NPs sobre los HMA, pues en las plantas no demostraron tener efecto fitotóxico (Figura 1). Feng *et al.* (2013) demostraron un efecto significativo en el desarrollo del trébol rojo micorrizado usando nanopartículas de hierro y plata. Estudios previos a esta investigación probaron que las nanopartículas de hierro tuvieron un efecto positivo en el desarrollo de la planta mientras que las de plata ocasionaban una deficiencia. Este estudio demostró ser de los más importantes en la triple interacción NP-HMA-vegetal debido a que a mayor concentración de la nanopartícula tóxica (Ag) los HMA incrementaron su función protectora contra este metal pesado, favoreciendo su desarrollo. Caso contrario, al incrementar la concentración de las nanopartículas de hierro, las flores se vieron afectadas en su crecimiento, indicando una función crucial por parte del HMA que es regulada por la presencia de material contaminante presente en el suelo. Sin embargo, el estudio y entendimiento de las nanopartículas de plata en condiciones naturales e *in vivo* aún está por entenderse.

Conclusiones

Se determino el efecto de las nanopartículas y hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de la planta de papaya. Las nanopartículas de ferrita de zinc (FeZnNPs) a una concentración de 20 mg/mL demostraron tener el mejor efecto en *R. intraradices* y en el consorcio CM. *F. mosseae* puede prescindir de estas tres nanopartículas a esta concentración en su interacción con la planta de papaya. En su mayoría, ningún tipo de nanopartícula demostró un efecto fitotóxico en las plantas o HMA.

Agradecimientos

Ricardo Ceballos-Salazar agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para sus estudios de maestría (CVU 1095020). Esta investigación fue apoyada por proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ.

Literatura Citada

Clavel, J., L. Jonas, A. Jake, H. Sylvia, L. Jonathan, M. A. Nuñez-Martin, P. Anibal N.I. and Verbruggen E. 2020. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in non-native plant invasion along mountain roads. New Phytologist 16954. doi:10.1111/nph.16954

El-Gazzar N., Almaary K., Ismail A. and Polizzi G. 2020. Influence of *Funneliformis mosseae* enhanced with titanium dioxide nanoparticles (TiO2NPs) on *Phaseolus vulgaris* L. under salinity stress. PLoS ONE 15(8): e0235355. doi.org/10.1371/journal.pone.0235355

Feng Y.Z., Cui X.C., He S.Y., Dong G., Chen M., Wang J.H. and Lin X.G. 2013. The role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth. Environ Sci Technol 47:9496-9504.

García-Cruz, A., Rincon-Enriquez G., Ilyina A., Guizar-Gonzalez C., Mtz-Enriquez, A.I., Diaz-Jimenez L., Aguilar-Gonzalez C.N. 2019. Bactericidal *in-vitro* effect of zinc ferrite nanoparticles and the orange wax extracts on three phytopathogen microorganisms. IEEE Transactions on NanoBioscience, 1–1. doi:10.1109/tnb.2019.2937840

Kokkoris, V., Stefani F., Dalpe Y., Dettman J. and Corradi N. 2020. Nuclear dynamics in the arbuscular mycorrhizal fungi. Trends in Plant Science. S1360138520301680 doi:10.1016/j.tplants.2020.05.002.

Kole, C., Kole P., Randunu K.M., Choudhary P., Podila R., Ke P.C., Rao A.M. and Marcus R.K. 2013. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: first evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (Momordica charantia). BMC Biotechnol 13: 37.

Li, S., Liu X.Q., Wang F.Y. and Miao Y.F. 2015. Effects of ZnO nanoparticles, ZnSO4 and arbuscular mycorrhizal fungus on the growth of maize. Environ. Sci. 36: 4615-4622.

Moll, J., Gogos A., Bucheli T.D., Widmer F. and van der Heijden M.G.A. 2016. Effect of nanoparticles on red clover and its symbiotic microorganisms. Journal of Nanobiotechnology, 14(1): 36. Doi: 10.1186/s12951-016-0188-7

Naseer, M.Z., Ying L., Feng-Min Y., Yu-Miao W. and Song X.Y. 2021. Nano-enabled improvements of growth and colonization rate in wheat inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. Environmental Pollution 295: 118724. 10.1016/j.envpol.2021.118724

Rossi, L., Zhang W., Schwab A.P. and Ma X. 2017. Uptake, accumulation, and in planta distribution of coexisting cerium oxide nanoparticles and cadmium in *Glycine max* (L.) Merr. Environ. Sci. Technol. 51: 12815-12824.

Schüßler, A. 2011. "Glomeromycota phylogeny". (15 August 2011).

Singh, K.R., Nayak V., Sarkar T. and Singh R.P. 2020. Cerium oxide nanoparticles: properties, biosynthesis and biomedical application. RSC Advances 10(45): 27194-27214. Doi: 10.1039/d0ra04736h

Taran, N., Gonchar O.M., Lopatko K.G., Batsmanova L.M., Patyka M.V. and Volkogon M.V. 2014. The effect of colloidal solution of molybdenum nanoparticles on the microbial composition in rhizosphere of *Cicer arietinum* L. Nanoscale Research Letters 9(1): 289. Doi: 10.1186/1556-276x-9-289

StatPoint, Inc. StatGraphics Centurion XV version 15.02.06, 2005. Warrenton, Virginia, USA. www.statgraphics.com

Wu, H., Tito N. and Giraldo J.P. 2017. Anionic cerium oxide nanoparticles protect plant photosynthesis from abiotic stress by scavenging reactive oxygen species. ACS Nano 11(11): 11283-11297. doi:10.1021/acsnano.7b05723

EFECTO DE EXTRACTOS DE ACTINOBACTERIAS SOBRE LA GERMINACIÓN *in vitro* DE SEMILLAS DE SORGO

Eimy Alejandra Vázquez Bello[1], Jesús Rafael Trinidad Cruz[1], Gabriel Rincón Enríquez[1] y Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar[1]*

Resumen

Las malezas al competir de manera directa e indirecta afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas circundantes de importancia agrícola. Por esta razón son ampliamente usados los herbicidas químicos como principal método de control para este tipo de plaga. No obstante, una de las repercusiones que tiene el uso indiscriminado y constante de estas sustancias biocidas, es la evolución de la resistencia por parte de las poblaciones de malezas a lo largo de los años en que un producto ha sido usado. Las actinobacterias se han perfilado como alternativas para el aislamiento de nuevas moléculas herbicidas de origen biológico, al producir de gran variedad de metabolitos secundarios de interés. Por lo que, continuamente se aíslan nuevas cepas en la búsqueda de moléculas biológicamente activas, sin embargo, muy pocas son conocidas en la actualidad. En este estudio, el objetivo fue evaluar 31 actinobacterias aisladas de un suelo para producir extractos acuosos provenientes de una fermentación en estado líquido y determinar su fitotoxicidad. Para la experimentación *in vitro*, se realizó un diseño de experimentos completamente al azar. Se desinfectaron las semillas de *Sorghum* spp y se sometieron, por quintuplicado, a los diferentes extractos. Después de 12 días de establecido el experimento, se cuantificó la germinación. Los datos se analizaron con un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$). Los extractos de las actinobacterias no presentaron actividad herbicida al 100%. No obstante, se encontraron dos bacterias con actividad fitotóxica significativa (LSD, $p \leq 0.05$), al reducir en un 30% la germinación de las semillas de sorgo en condiciones *in vitro*. Esto representó el 6.45% de las cepas de actinobacterias analizadas con actividad fitotóxica. No obstante, con una actividad

[1] Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco, Unidad Zapopan. Camino Arenero 1227, El Bajío, C.P. 45019 Zapopan, Jalisco. *Autor correspondencia: *equinones@ciatej.mx

tan baja por parte de estos extractos, no sería posible competir con el rápido crecimiento y alta capacidad de reproducción de las malezas, por lo que se requiere continuar analizando la actividad de una colección más amplia de cepas de actinobacterias con el fin de identificar algún compuesto con actividad bio-herbicida.

Palabras clave: bioherbicidas, *Streptomyces*, malezas, *Sorghum* spp.

Introducción

En la agricultura, las plantas consideradas malezas, llegan a ocasionar pérdidas económicas importantes al reducir alrededor del 34% el rendimiento de los cultivos, así como su calidad, a escala mundial (Oerke, 2006). Una de las causas de este fenómeno es la competencia directa por los recursos; ya sea el espacio, los nutrientes, el agua o la luz solar y la indirecta; al exudar toxinas a través de sus raíces y sus hojas, así como propiciar la proliferación de otras plagas o fitopatógenos, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas circundantes de importancia agrícola (Labrada, 2006). Para evitar las pérdidas ocasionadas por este tipo de plaga, una de las estrategias ampliamente usada ha sido el control químico. Sin embargo, la aplicación constante, indiscriminada y poco controlada de los herbicidas en el ecosistema ha ocasionado efectos adversos. Entre ellos está la contaminación por residuos, la cual es un riesgo para la salud de los seres vivos (incluido el ser humano) y la evolución de la resistencia de poblaciones de malezas que antes fueron susceptibles a las formulaciones utilizadas comúnmente. Esto es de particular interés ya que, con base al estado actual, actualmente hay 266 especies y 512 casos únicos de malezas resistentes a herbicidas a nivel mundial. Estas malezas han desarrollado resistencia a 21 de los 31 sitios de acción de herbicidas conocidos y a 165 herbicidas diferentes (Heap, 2022). A nivel mundial, el glifosato es uno de los herbicidas de mayor uso en el ámbito agronómico, debido a su alta eficiencia. Sin embargo, esta característica se debe a que es una de las moléculas herbicidas de mayor toxicidad y peligrosidad que posee un mecanismo de acción no selectivo. La misma naturaleza biocida del glifosato ha ocasionado que su toxicidad recaiga, ya sea de forma indirecta o directa, sobre una amplia variedad de plantas, peces, crustáceos, anfibios, pequeños mamíferos, aves,

insectos, algas, microorganismos y hasta seres humanos (Watts *et al.,* 2016). Esto ocasionó que, en México, a partir del 31 de diciembre del 2020, entrara en vigor el decreto presidencial para la sustitución gradual del uso, adquisición, distribución, promoción e importación del glifosato y de los agroquímicos utilizados en México, que lo contienen como ingrediente activo. En consecuencia, existe la creciente necesidad de compuestos herbicidas alternativos al glifosato que sean sostenibles y ecológicos, y que posean perfiles toxicológicos más seguros y mecanismos de acción singulares, para combatir la resistencia generada a lo largo de los años por parte de las malezas. Para intentar resolver este problema y aumentar así el rendimiento de los cultivos, las investigaciones actuales buscan producir herbicidas de base biológica provenientes de microorganismos capaces de producir metabolitos con actividad fitotóxica o herbicida que disminuyan de manera efectiva las poblaciones de malezas (Ramírez, 2017). Con base a esto, las actinobacterias se han perfilado como buenas candidatas para desarrollar dichas alternativas. Estas bacterias producen metabolitos secundarios de diversidad estructural y amplia actividad biológica que pueden ofrecer oportunidades para el desarrollo tanto de bio-herbicidas de uso directo como de herbicidas sintéticos. Dentro de este filo, se encuentra el género *Streptomyces*, que constituye la principal fuente de metabolitos de interés con aplicaciones farmacéuticas o agroquímicas (Manteca *et al.,* 2008). La importancia sobre estos sectores ha ocasionado una búsqueda continua de nuevas cepas productoras de compuestos bioactivos. No obstante, la actividad más investigada ha sido la antimicrobiana. En 2018, a partir de estreptomicetos, solamente se conocía el 17% de los metabolitos secundarios biológicamente activos (7600 de 43000) (Harir *et al.,* 2018). Estos datos confirman que existe una inmensa cantidad de compuestos con actividades que no se conocen todavía o que han sido pasadas por alto. En un estudio realizado por Bo *et al.* (2019) se realizó el aislamiento de 1300 cepas de actinobacterias, de las cuales, 102 mostraron algún efecto fitotóxico sobre las plantas tratadas con sus extractos. De estas, se identificó la de mayor actividad herbicida como *Streptomyces anulatus*, la cual mostró un efecto dependiente de la concentración en etapas de pre y post-emergencia; además, la toxicidad de dicho extracto difirió respecto a las diferentes especies de maleza tratadas. Finalmente, estos compuestos activos responsables de la toxicidad específica fueron aislados, identificados y utilizados en pruebas de fitotoxicidad para confirmar su actividad. Con base a este tipo de estudios, es posible encontrar nuevas moléculas con actividades de interés

agronómico, las cuales dan una pauta de qué buscar o cómo buscar en posteriores investigaciones. En este contexto, en el presente estudio, el objetivo fue evaluar el efecto bio-herbicida de extractos de actinobacterias, aisladas de muestras de suelo, en semillas de sorgo como planta modelo de hoja angosta en condiciones *in vitro*.

Materiales y Métodos

Cepas de actinobacterias

Se emplearon 31 cepas de actinobacterias denominadas BVBZ; estas cepas fueron aisladas de muestras de suelo mediante tratamientos de calor y su purificación se realizó por el método de diluciones seriadas. Las actinobacterias fueron cultivadas en placas con medio de cultivo GYM (4 g glucosa, 4 g extracto de levadura, 10 g extracto de malta, 2 g $CaCO_3$, 1 L agua destilada con pH de 7.2) e incubadas para su crecimiento a una temperatura de 28°C.

Fermentación en estado líquido de las actinobacterias

Las actinobacterias fueron inoculadas con 3 bocados de biomasa de 7 mm de diámetro procedentes de resiembras de 7 días de crecimiento en agar GYM. Se utilizaron matraces de 250 mL con un volumen de trabajo de 65 mL de medio M3 (10 g soitona, 10 g glucosa, 20 g almidón soluble, 3 g $CaCO_3$ y 1 L agua destilada) (Bo *et al.,* 2019). Los inóculos fueron incubados por 7 días a 28°C y 250 rpm. Después del tiempo de fermentación, se descartó la biomasa por centrifugación a 13000 rpm por 10 min, el sobrenadante se recolectó y se almacenó a -80°C para los posteriores bioensayos de evaluación de actividad fitotóxica (bio-herbicida).

Desinfección de semillas de sorgo

Para el ensayo de este estudio se utilizaron semillas de sorgo variedad pampa verde. Éstas se desinfectaron con cloro a una concentración de 3% por 10 min, seguido de 3 lavados de 5 min con agua destilada estéril.

Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental completamente al azar con los 31 extractos producidos por las actinobacterias BVBZ como tratamientos. Se cuantificó como variable de respuesta el porcentaje de germinación de las semillas después de 12 días. Cada tratamiento se realizó por

quintuplicado. La unidad experimental consistió en un bote de 500 mL de volumen y 90 mm de diámetro con tres discos de papel absorbente y uno de papel filtro de 84 mm de diámetro esterilizados por autoclave con 20 semillas de sorgo. El papel fue humedecido con 1 mL de agua destilada estéril y 4.5 mL de los extractos de actinobacterias. Se aplanó la superficie con un asa estéril antes de colocar las 20 semillas de sorgo desinfectadas dentro del bote. Los tratamientos fueron incubados en oscuridad por 1 día a 28°C y fotoperiodo 16:8 (luz: oscuridad) por 11 días a 25°C. Los controles para este experimento fueron: agua destilada estéril (absoluto) y medio M3 (negativo).

Análisis estadístico

Los datos de la germinación fueron analizados para normalidad y homocedasticidad de los datos ($p \leq 0.05$). Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial y después una prueba múltiple de medias LSD de Fisher a nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$); estos análisis fueron realizados mediante el paquete estadístico StatGraphics (StatPoint, 2005).

Resultados y Discusión

Porcentaje de germinación de semillas de sorgo *in vitro*

De acuerdo con los resultados obtenidos de la experimentación con semillas de sorgo, se puede observar en la Figura 1 que los tratamientos BZ17 y BZ19 mostraron los menores porcentajes de germinación de 71 y 70%, respectivamente, seguidos del tratamiento BZ04, con un porcentaje del 85. El resto de los tratamientos, incluidos los controles (agua, medio M3) obtuvieron valores alrededor del 90% de germinación, lo cual mostro por parte de las cepas de actinobacterias una muy leve disminución de la germinación con respecto al tratamiento con solo agua (H2O). Se puede observar que la capacidad de germinación de sorgo fue del 97% (testigo absoluto= H_2O) mientras para el testigo con el medio de cultivo (control negativo) donde crecieron las actinobacterias se encontró un 98%, estos dos resultados sugieren que el medio de cultivo no tiene ningún efecto de fitotoxicidad y por tanto las cepas BZ17, BZ19 y BZ04 produjeron algún compuesto con actividad fitotóxica y por tanto con capacidad para explotarse para la búsqueda de algún compuesto bio-herbicida. También en la Figura 1 se

puede observar que otras cepas de actinobacteria mostraron una actividad ligeramente fitotóxica como por ejemplo las cepas BZ02, BZ15, etc., sin embargo, es una actividad muy baja y podría ser efecto de un complejo de compuestos o un metabolito con muy baja eficiencia en actividad bio-herbicida.

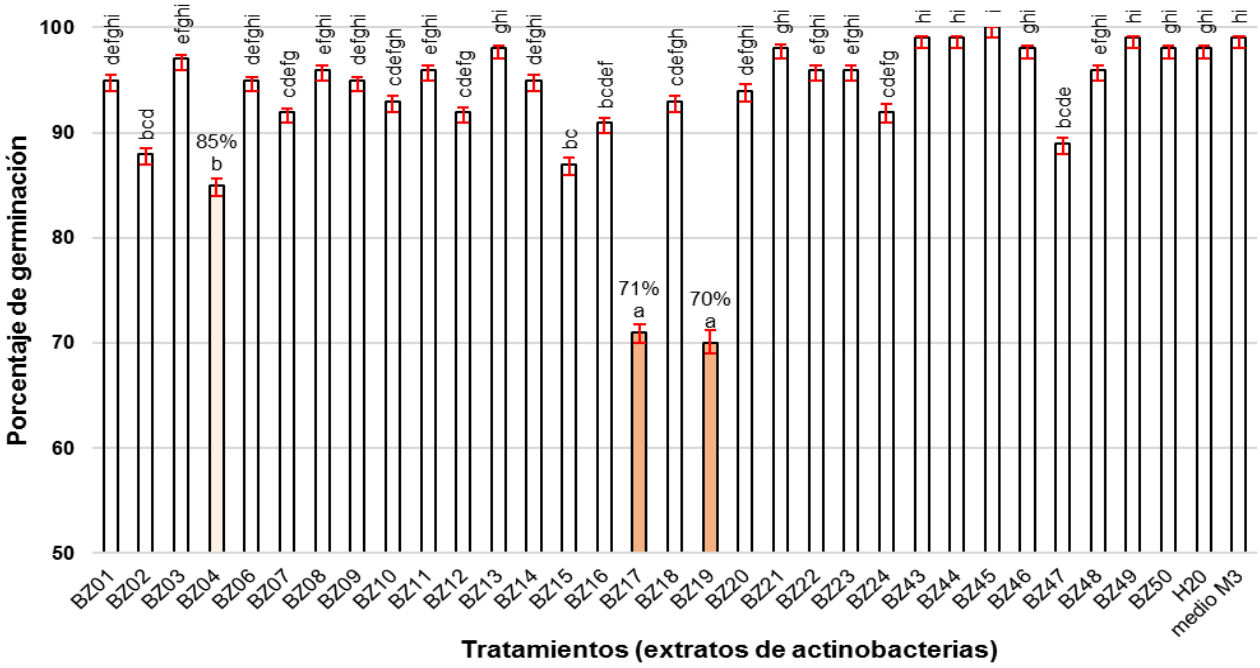


Figura 1. Efecto en la germinación de semillas de sorgo por tratamientos de extractos de actinobacterias en condiciones *in vitro*. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de LSD-Fisher (p≤0.05). Las barras rojas en cada rectángulo indican ± el error estándar.

Los resultados *in vitro* con las semillas de sorgo variedad pampa verde mostraron resultados significativos en la reducción de la germinación por parte de dos tratamientos. De los 31 extractos de actinobacterias probados, los porcentajes de germinación bajos se encontraron alrededor del 70% por parte de las cepas BZ17 y BZ19. Si bien no se mostraron efectos bio-herbicidas contundentes, existe claramente un efecto fitotóxico procedente de estos tratamientos que ocasiona la inhibición de la germinación de las semillas en condiciones *in vitro*, al compararse con el control absoluto (agua) después de 12 días de establecido el experimento. Las dos únicas bacterias encontradas con efectos fitotóxicos entre las 31 que fueron probadas, representa un porcentaje de 6.45%, con cero bacterias con actividad 100% herbicida. Esta cifra es comparable con la encontrada en el estudio realizado por Bo *et al.* (2019), donde 102 cepas de 1300 aisladas mostraron actividad fitotóxica, representando un

7.85% de su colección bacteriana, y solamente 1 mostró actividad herbicida, representando tan solo un 0.08%. Con base en los resultados obtenidos, fue posible observar variación en la respuesta de la planta modelo ante los diferentes extractos de actinobacterias probados. Esto se debe a que las toxinas microbianas varían en su grado de especificidad y, además, las especies de planta también pueden diferir en susceptibilidad a una toxina en particular (Bo *et al*., 2019). Por esta razón, será importante evaluar los tratamientos en otras especies de plantas antes de realizar un cribado de la colección de cepas de actinobacterias para evitar descartar una productora de moléculas fitotóxicas de mayor especificidad. De particular interés serán los tratamientos que ocasionen efectos fitotóxicos moderados en las plantas probadas, ya que podrían generar un daño mayor en otras plantas de la misma familia o género. Con base en esto, será importante seleccionar cepas para probar su efectividad en plantas consideradas como malezas o arvenses para posteriormente determinar las dosis en las que el tratamiento tendría un efecto bio-herbicida.

Conclusiones

El sorgo, al pertenecer a la familia de las gramíneas, se asume como una especie representante de las malezas de hoja angosta, por lo que los resultados obtenidos sobre esta planta podrían ser extrapolados y así, utilizar a las bacterias que demostraran efectos fitotóxicos o herbicidas sobre especies de maleza más cercanas. Entre las iniciales 31 cepas de actinobacterias aisladas, solamente dos mostraron un leve efecto fitotóxico al disminuir 30% la germinación de la planta modelo. Sin embargo, como tratamientos en etapas de pre-emergencia contra malezas no serían efectivos, ya que se esperaría utilizar los tratamientos para eliminar o disminuir considerablemente las poblaciones de estas “plagas”. Con una actividad tan baja por parte de estos extractos, no sería posible competir con el rápido crecimiento y alta capacidad de reproducción de las malezas, por lo que se requiere continuar analizando la actividad de más cepas de actinobacterias.

Agradecimientos

Eimy Alejandra Vázquez-Bello agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para sus estudios de maestría (CVU 1137284). Esta investigación fue apoyada por proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ.

Literatura Citada

Bo, A. B., Kim J. D., Kim Y. S., Sin H. T., Kim H. J., Khaitov B., Ko Y. K., Park K. W. and Choi J. S. 2019. Isolation, identification and characterization of Streptomyces metabolites as a potential bioherbicide. PLoS ONE 14(9). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222933

Harir, M., Bendif H., Bellahcene M. Fortas and R. Pogni Z. 2018. Streptomyces secondary metabolites. *In* Basic biology and applications of actinobacteria. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.79890

Heap, I. 2022. The international herbicide-resistant weed database. Online. Recuperado de www.weedscience.org

Labrada, R. 2006. Recomendaciones para el manejo de malezas. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2007431489

Manteca, A., Alvarez R., Salazar N., Yagüe P. and Sanchez J. 2008. Mycelium differentiation and antibiotic production in submerged cultures of *Streptomyces coelicolor*. Applied and Environmental Microbiology 74(12): 3877–3886. https://doi.org/10.1128/AEM.02715-07

Oerke, E. C. 2006. Crop losses to pests. J. Agric. Sci. 144: 31–43.

Ramírez, F. 2017. Mecanismo de resistencia de *Paspalum paniculatum* L. (Poaceae) al herbicida glifosato. Tesis Ph. D. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia. Cartago. 140 p.

StatPoint, Inc. 2005. StatGraphics Centurion XV version 15.02.06, 2005. Warrenton, Virginia, USA. www.statgraphics.com

Watts, M., Clausing P., Lyssimachou A., Schütte G., Guadagnini R. and Marquez E. 2016. Glyphosate monograph. Ed. Pesticide Action Network International (PAN), 96 p.

DESARROLLO DE UN PROTOCOLO DE EXTRACCIÓN RÁPIDA DE ADN DE HONGOS FILAMENTOSOS EN PAPAYO

Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera[1*], Jorge Gustavo Rodríguez Escobar[2], Rebeca Rodríguez Falconi[2], José Luis Hernández Mendoza[3] y Estrella Maldonado Humberto José[1]

Resumen

En México *Colletotrichum* spp. es uno de los principales hongos que causan antracnosis, enfermedad considerada como un problema fitosanitario de gran importancia durante la postcosecha en el fruto de papayo. Los métodos tradicionales basados en diferencias morfológicas de la colonia: color, tamaño y forma del conidio, presencia o ausencia de setas, se consideran insuficientes e imprecisos para la detección, por ello, se sugiere la corroboración mediante la caracterización molecular por medio de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). La detección de hongos filamentosos mediante PCR, requiere del uso de métodos de extracción que lisen eficientemente las células fúngicas y recuperen el ADN adecuado para la amplificación, por lo tanto, el éxito de la PCR dependerá de la calidad del ADN extraído, es por ello, que el objetivo de este trabajo fue desarrollar un protocolo de extracción rápido de ADN de *Colletotrichum* spp aislado de papayo. Para este estudio se utilizaron 23 aislados de hongos *Colletotrichum* spp a partir de colonias cultivadas en PDA, utilizando dos métodos de extracción. La pared del micelio en uno de los métodos se rompió mediante incubación en buffer CTAB al 2%, por 2 horas con vórtex cada 30 min, asimismo, el segundo método de extracción empleó el buffer SDS al 0.5% con un vórtex a velocidad máxima durante 5 min. Este último, permitió en un menor tiempo (3 horas), la extracción de ADN con concentraciones que oscilaban en rangos de 0.1 a 133 ng/ µl. Para verificar la extracción del ADN, se realizó la PCR para la identificación de *Colletotrichum* spp., mediante el uso de oligonucleótidos universales

[1] Campo Experimental Ixtacuaco Km 4.5 Carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Tlapacoyan, Veracruz. México C.P. 93600; *rodriguez.cynthia@inifap.gob.mx
[2] Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. Km. 34.5 Carr. Córdoba-Veracruz. Medellín de Bravo, Veracruz, México. C.P. 94270.
[3] Centro de Biotecnología Genómica (CBG). IPN. Blvd. del Maestro s/n esq. Elías Piña Col. Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México. C.P. 88710.

los cuales amplifican la región ITS del ADN ribosomal fúngico, obteniendo fragmentos entre 400 a 500 pb.

Palabras clave: hongo, fitopatógeno, *Colletotrichum*, ADN

Introducción

A nivel mundial se reporta la antracnosis en un amplio rango de hospedantes (Rojo *et al.,* 2017), como en frutas, hortalizas, cereales, plantas herbáceas, maderables y ornamentales, etc., sobre todo en zonas templadas y tropicales (Udayanga *et al.,* 2013). Esta enfermedad principalmente es causada por *Colletotrichum* spp, perteneciente a un género de hongos fitopatógenos que ocasionan enfermedades como cánceres, pudriciones y principalmente la antracnosis (Hyde *et al,* 2009). Debido a la importancia económica, las especies de *Colletotrichum* ocupan el octavo lugar en la clasificación mundial de patógenos de plantas (Dean *et al.,* 20012) causantes de antracnosis, ya que genera pérdidas importantes en pre y postcosecha, reduciendo la calidad y cantidad de diversos cultivos. Las pérdidas pueden llegar hasta el 100% dependiendo del patógeno y las condiciones climáticas en que se encuentre (Landero-Valenzuela *et al.,* 2016); por ejemplo, en el cultivo intensivo de papaya bajo manejo de fungicidas, la prevalencia de antracnosis en campo y en postcosecha ha provocado pérdidas superiores al 50% (Torres-Calzada *et al.,* 2013). La diversidad poblacional de *Colletotrichum* spp. a partir de reportes previos es complicada por las limitaciones en cuanto a herramientas de identificación de especies, debido a que los métodos tradicionales se basan en diferencias morfológicas que hoy en día son insuficientes e imprecisas (Hyde *et al,* 2009). Por lo tanto, se recomienda que el diagnóstico tradicional se complemente con el molecular. Entre las técnicas más utilizadas mediante este método se encuentra la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), de la cual existen variantes como la PCR punto final, PCR en tiempo real, PCR inversa, PCR anidada, PCR mutagénico, entre otras. Para realizar esta técnica es necesario contar con una muestra de ADN libre de proteínas, tanto citoplasmáticas como nucleares asociadas al ácido desoxirribonucleico (ADN), por otro lado, los hongos filamentosos tienen una pared celular robusta que es resistente a los procedimientos

habituales de extracción de ADN. Por ello, seleccionar el método adecuado de extracción de ADN es un paso crucial cuando se desean realizar estudios moleculares, ya que existe variabilidad según el método de extracción utilizado, así como el tipo de muestra a procesar, pues puede proveer contaminación residual con sales y solventes (Blanco-Jarvio, 2014). El éxito de la PCR dependerá de la extracción del ADN, la calidad y concentración serán la base para los posteriores estudios. Para la identificación de hongos fitopatógenos se empelan oligonucleótidos dirigidos a zonas conservadas de los genes que codifican para las subunidades ribosomales 18S, 5.8S y 28S. Entre estos genes se encuentran las regiones ITS-1 e ITS-2 (internally transcribed spacer 1 y 2), las cuales son altamente variables y que permiten diferenciar entre las distintas especies fúngicas (Petti, 2007); la naturaleza multicopia de las repeticiones del ADNr hace de esta región una secuencia fácil de amplificar aun cuando se utilicen muestras de ADN pequeñas, muy diluidas, o altamente degradadas (ADN obtenido de material viejo y especímenes de herbarios). Finalmente, diversos estudios demuestran su utilidad en análisis filogenético (Álvarez y Wendel, 2003).

Materiales y Métodos

La siguiente investigación se realizó en los meses de junio y julio de 2022 en el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP, Tlapacoyan, Veracruz.

Aislamiento de *Colletotrichum* spp.

Se utilizaron 23 aislados de *Colletotrichum* spp., obtenidos de papayo los cuales fueron colectados en campo en los estados de Veracruz y Tabasco, y aislados en Agar Papa Dextrosa (PDA) en el Laboratorio del Campo Experimental Cotaxtla y enviados al laboratorio de diagnosticó Fitosanitario del Campo Experimental Ixtacuaco.

Extracción de ADN

La extracción de ADN se realizó mediante dos métodos: 1) CTAB optimizado por Rodríguez *et al.,* 2010 y 2) Protocolo de extracción rápida de ADN de hongos filamentosos, optimizado en este trabajo tomando como base la publicación de Raeder and Broda (1985).

Extracción de ADN utilizando el método del CTAB optimizado por Rodríguez *et al.*, 2010

La extracción de ADN consistió en tomar el micelio con un palillo estéril de 15 cm, el cual fue colocado en un tubo eppendorf de 2 mL adicionando 500 mL de buffer CTAB (2% de bromuro decetiltrimetil-amonio, 100 mM Tris-HCl (pH 8), 20 mM EDTA (pH 8), 1.4 M NaCl, 1% p/v polivinylpyrrolidona) 0.2% de 2-mercaptoethanol, previamente precalentado a 65°C. Se incubó a 65°C por 2 horas con vórtex cada 30 min. Posteriormente se adicionó 300 µl de cloroformo-alcohol isoamilico (24:1) y se homogenizó la muestra por inversión. Se centrifugó a 13,000 rpm durante 10 minutos a temperatura ambiente. Se recuperaron 300 µl de sobrenadante en un tubo nuevo estéril de 1.5 mL, adicionando 150 µl de acetato de amonio (7.5 M) y 180 µl de isopropanol. Se dejó precipitar 24 h a -20°C. Se centrifugó a 13,000 rpm durante 20 minutos. Se desechó el sobrenadante rápidamente para evitar el desprendimiento de la pastilla, seguidamente se lavó dos veces con 500 µl de etanol frio al 70%, centrifugando a 13,000 rpm durante 10 minutos a 4°C, luego se dejó secar la pastilla a temperatura ambiente y se hidrató con 50 µl de agua milli-Q estéril. Por último, se almacenó el ADN a -20°C hasta su posterior procesamiento.

Extracción de ADN a partir de hongos filamentosos con modificaciones

El primer paso consistió en tomar el micelio con un palillo estéril directamente del medio de PDA y se coló en un tubo eppendorf de 1.5 mL, se añadió 500 µl buffer de extracción en un tubo de 2 mL (Tris-HCl 200 mM (pH 8), NaCl 250 mM, EDTA 25 mM y SDS 0.5%), posteriormente, se maceró en el tubo con punta de 1 mL (previamente se selló el orificio en mechero y se esterilizó) hasta homogenizar la muestra, se adicionó 500 µl cloroformo-alcohol islámico (24:1), se homogenizó en vórtex durante 5 min a velocidad máxima y se centrifugó a 13,000 rpm durante 30 min, se trasfirieron 340 µl de la fase acuosa a un tubo nuevo de 1.5 mL, y se adicionó 500 µl de isopropanol para precipitar el ADN mezclando suavemente por inversión, se dejó precipitar a -20°C por 30 min. Posteriormente, se centrífugo a 13,000 rpm durante 10 min y se desechó el sobrenadante. El ADN fue lavado con 500 µl de etanol al 70% y se centrifugó a 13,000 rpm durante5 min, posteriormente se desechó el sobrenadante dejando secar la pastilla con el tubo invertido a temperatura ambiente, para después hidratar con 50 µl de agua milli-Q estéril. El ADN se almacenó a -20°C hasta su posterior procesamiento.

Determinación de integridad y concentración del ADN obtenido

Para determinar la integridad del ADN genómico extraído, se realizó electroforesis en gel de agarosa al 0.8% en TAE 0.5 X, teñido con 0.5 µg/mL de una solución de bromuro de etidio, a 95 Volts durante 60 min en cámara de electroforesis horizontal (Bio-Rad), y se visualizó en un fotodocumentador Bio Rad. La concentración de ADN fue determinada por fluorometría utilizando el equipo fluorómetro Quantus™ (PROMEGA, Madison, WI, USA) y el kit QuantiFluor® ONE dsDNA.

Identificación de *Colletotrichum* spp. mediante PCR

Las PCR´s se realizaron en un termociclador MiniAmp Plus, empleando los iniciadores universales ITS4 (5'-TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3´) e ITS5 (5'-GA AGT AAA AGT CGT AAC AAG G-3') (White *et al.,* 1990). El programa de ciclado consistió: 94°C por 4 min, 30 ciclos de 94°C-55°C-72°C por 40 seg cada uno, con una extensión final de 72°C durante 5min.

Resultados y Discusión

La extracción de ADN utilizando el método del CTAB optimizado por Rodríguez *et al.,* 2010, ha sido utilizado exitosamente para la extracción de ADN a partir de tejido vegetal, sin embargo, en ese caso, no resultó efectivo. En la Figura 1 se muestra la electroforesis de los resultados de extracción de ADN de cuatro aislados de hongos extraídos de papayo, en donde se puede observar que en ninguna de las muestras evaluadas se detectó la presencia del ácido nucleico en el gel de agarosa al 0.8%, a excepción de la muestra uno, la cual mostró un barrido desde el punto de aplicación de la muestra, clasificando este ADN como degradado. La inefectividad de este método podría deberse a diversos factores: 1) No se logró la disrupción de la pared y membrana celular, 2) Nula o baja interacción entre la estructura química de las células fúngicas y las sustancias que conforman el buffer de extracción (CTAB, PVP y β-mercaptoetanol) y 3) La concentración de los compuestos químicos activos dentro del buffer de extracción y su inefectividad en las funciones que realizan (Suenaga, 2005). Por otro lado, la composición química de la pared celular de hongos está formada por capas de polímeros de polisacáridos fibrilares, como la quitina, la celulosa, y glucanos, demás, de proteínas

asociadas a los polisacáridos y lípidos (Valdes *et al.,* 2015), componentes que pudieran limitar diferentes etapas del método de extracción.

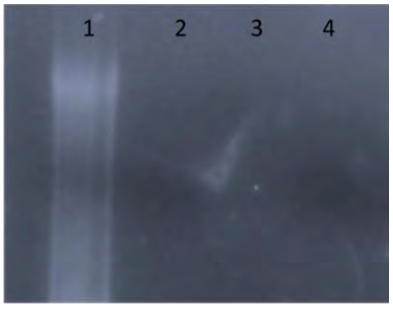


Figura 1. Imagen de la electroforesis del gel de agarosa al 0.8% en TAE 1X, teñido con bromuro de etidio, muestras de ADN de aislados fúngicos extraído por el método CTAB.

Con el método de extracción de ADN propuesto en este trabajo, utilizando las cuatro muestras de los aislados fúngicos anteriores, se pudo observar en la electroforesis la presencia de las cuatro bandas fluorescentes de ADN (Figura 2).

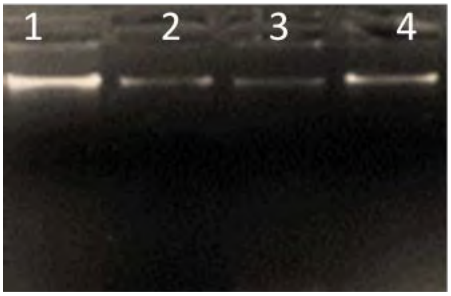


Figura 2. Imagen de la electroforesis del gel de agarosa al 0.8% en TAE 1X, teñido con bromuro de etidio, muestras de ADN de aislados fúngicos extraído por el método de extracción propuesto en este trabajo.

A partir de estos resultados, se procedió a la extracción de los 23 aislados de *Collectotrichum* spp., provenientes de Veracruz y de Tabasco, la electroforesis presentó un amplicón en la muestra 6 (0.07 ng/µl) de una intensidad muy tenue y su concentración de ADN fue la más baja, a diferencia de las otras muestras que presentaron mayor concentración e intensidad mayor en sus amplicones, indicando que la intensidad de las bandas amplificadas se puede relacionar con la concentración del ADN extraído. Los amplicones correspondientes a las muestras: 2, 9, 14, 15 y 19 presentaron concentraciones en su ADN altas: 50, 9, 133, 14 y 74 ng/µl, respectivamente y sus amplicones fueron muy intensos. Las muestras: 6, 8, 12, 13, 16,

17 y 18, presentaron concentraciones en su ADN de 0.07, 0.4, 1.6, 2.0, 0.1, 0.3 y 0.9 ng/µl, respectivamente, y los amplicones fueron de intensidad muy tenue, asimismo, los amplicones en las muestras 1, 3, 4, 5, 7, 10,11, 20, 21, 22 y 23, se presentaron con una intensidad menor con respecto a los amplicones obtenidos con concentraciones más altas y sus concentraciones oscilaban entre 2 a 18 ng/µl (Figura 3). Los resultados obtenidos de todas estas concentraciones son suficientes para realizar pruebas moleculares.



Figura 3. Imagen de la electroforesis del gel de agarosa al 0.8% en TAE 1X, teñido con bromuro de etidio, 23 muestras de ADN obtenidas del estado de Veracruz y Tabasco de aislados de *Collectotrichum* spp.

Las adecuaciones que se realizaron a este método, fue la eliminación de nitrógeno líquido para incubar o macerar, el micelio se maceró directo en el tubo de 2 mL (y no en mortero), utilizando una puntilla de 1 mL (fundiendo su extremo inferior con calor para sellar el orificio, las cuales fueron esterilizadas antes de usarse). La homogenización de la muestra en el tubo facilitó la manipulación, y el buffer de extracción no necesito cloruro de litio, ni β-mercaptoetanol (Suarez, 2016), y no fue necesario el empleo de RNAsa. En la mezcla de cloroformo-octanol (24:1, protocolo inicial), este último se sustituyó por el alcohol isoamílico, además, sólo fue necesario realizar un paso (y no dos) con esta mezcla, todo esto permitió la extracción de ADN fúngico en un menor tiempo de procesamiento con respecto a otros métodos y al previamente establecido por Raeder y Broda (1985), y además, más económico, obteniendo extracciones de ADN íntegro y con concentraciones adecuadas. Para corroborar la eficiencia del método de extracción se realizó la PCR utilizando secuencias ITS, esta región presenta un tamaño de 600 a 800 pb y puede amplificarse fácilmente con iniciadores universales; la naturaleza multicopia de las repeticiones del ADN ribosomal (rADN) hace de esta región una secuencia fácil de amplificar aun cuando se utilicen muestras de DNA pequeñas y muy diluidas, demostrando en diversos estudios su utilidad en análisis filogenético (Álvarez y Wendel, 2003). Los resultados demostraron la eficiencia de la amplificación por PCR con el ADN extraído, la cual fue alta,

mostrando bandas amplificadas claras e integras (Figura 5 y 6), a excepción de las muestras 3, 5, 6 y 12 de Tabasco, lo cual se pudo deber a una falla en el pipeteo, o exceso de ADN que puede inhibir la reacción de la PCR (Figura 6).

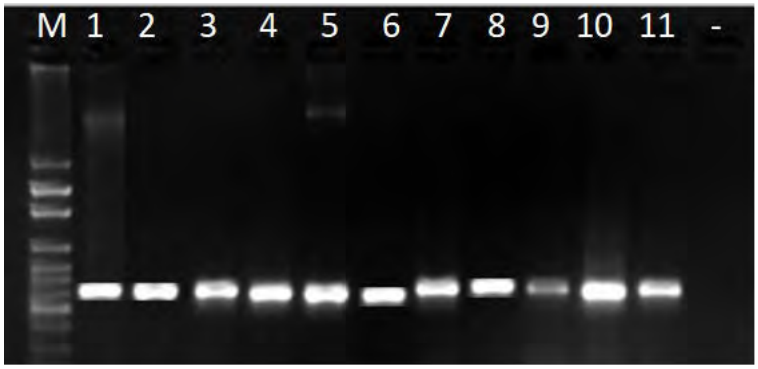


Figura 4. Imagen de la electroforesis del gel de agarosa al 1.5% en TAE 1X, teñido con bromuro de etidio, correspondiente a los productos de PCR obtenidos del rADN de los aislamientos de *Colletotrichum* proveniente de Veracruz a partir de frutos infectados de papayo (1 a 10) y un control negativo - (sin ADN), utilizando los iniciadores ITS1/ ITS4 y un marcador molecular de 100 pb Axygen (M).

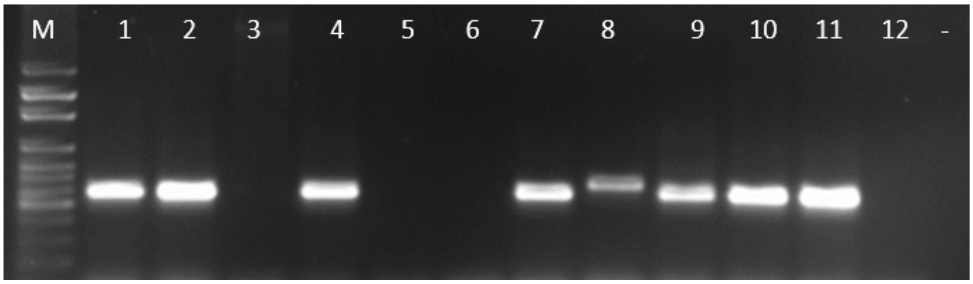


Figura 5. Imagen de la electroforesis del gel de agarosa al 1.5% en TAE 1X, teñido con bromuro de etidio, correspondiente a los productos de PCR obtenidos del rADN de los aislamientos de *Colletotrichum* proveniente de Tabasco a partir de frutos infectados de papayo (1 a 12) y un control negativo - (sin ADN), utilizando los iniciadores ITS1/ ITS4 y un marcador molecular de 100 pb Axygen (M).

Conclusiones

El protocolo de extracción de ADN propuesto en este estudio a partir de los 23 aislados fúngicos de los estados de Veracruz y Tabasco, resulto seguro, simple, rápido, eficiente y económico, permitiendo la extracción del ADN y con ello el éxito en la PCR, con la cual se

obtuvieron productos amplificados aproximadamente de 500 a 600 pb, correspondientes a *Collectotrichum* spp.

Agradecimientos

Al proyecto “Manejo fitosanitario del cultivo de papaya con énfasis en antracnosis”, recursos Fiscales INIFAP.

Literatura Citada

Álvarez, I. and F. J. Wendel. 2003. Ribosomal ITS sequences and plant phylogenetic inference. Molecular Phylogenetics and Evolution 29: 417-434.

Blanco-Jarvio, A., A. L. Martínez y A. G. Bautista. 2014. Optimización de un protocolo de extracción de DNA total para la amplificación de marcadores moleculares funcionales específicos de organismos desnitrificantes. CICIMAR Oceánides, 29(2): 37-44.

Dean, R., J.A.L. Van, A. Z. Preorius, E. K. Hammond, A. P. Di, D. P. Spanu, *et al*. 2012. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. Molecular Plant Pathology 13:414-430. http://dx.doi.org/10.1111/J.1364-3703.2011.00783.x

Hyde, K.D, L. CAI, F. P. Cannon, A, J. Crouch, W. P. Crous, U. Damm, *et al.* 2009. Colletotrichum - names in current use Fungal Diversity 39:147-182. http://www.fungaldiversity.org/fdp/sfdp/FD39-7.pdf

Landero-Valenzuela, N., F. M. Lara-Viveros, P. Andrade-Hoyos, L. A. Aguilar -Pérez y Aguado-Rodríguez G. J. 2016. Alternativas para el control de *Colletotrichum* spp. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7:1189-1198. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263146723018

Petti, C. A. 2007. Detection and identification of microorganisms by gene amplification and sequencing. CID 2007; 44: 1108-14.

Raeder, J. y P. Broda. 1985. Preparación rápida de ADN a partir de hongos filamentosos. Letras en Microbiología Aplicada, 1, 17-20. http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-765X.1985.tb01479.x

Rocha-Salavarrieta, P. J. 2002. Teoría y práctica para la extracción y purificación del ADN de palma de aceite. Palmas, 23(3), 9-17.

Rojo-Báez I., B. Álvarez-Rodríguez, R. S. García-Estrada, J. León-Félix, A. Sañudo-Barajas y R. Allende Molar. 2017. Situación actual de *Colletotrichums* spp. en México: Taxonomía, caracterización, patogénesis y control. Revista mexicana de fitopatología, 35(3), 549-570. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1703-9

Suárez-Contreras L. Y. 2016. Extracción y purificación del adn de moniliophthora roreri hongo que ataca el cacao, en norte de santander. Respuestas, 10(2), 4–8. https://doi.org/10.22463/0122820X.629

Suenaga, H. and E. Nakamura. 2005. Evaluation of three methods for effective extraction of DNA from human hair. Journal of Chromatography B, Analytical technologies in the Biomedical and Life Science, 820: 137–141.

Torres-Calzada C., R. Tapia-Tussell, I. Higuera-Ciapara, and D. Pérez-Brito D. 2013. Morphological, pathological and genetic diversity of *Colletotrichum* species responsable for anthracnose in papaya (*Carica* papaya L). European Plant Pathology 135:67-79. http://dx.doi.org/10.1007/s10658-012-0065-7

Udayanga, D., D. S. Manamgoda, X. Liu, E. Chukeatirote, D. K. and Hyde. 2013. What are the common anthracnose pathogens of tropical fruits Fungal Diversity 61:165-179. http://dx.doi.org/10.1007/s13225-013-0257-2

Valdés, L. A., A. Gómez, Ma. E. Carballo, M. Capote, I. González y W. Rohde. 2015. Estandarización de protocolos para la extracción de ADN cromosómico en cepas de *Colletotrichum* gloeosporioides aislados en plantas de mango (*Mangifera indica* L.). La Granja, 22(2), 40-49. ISSN: 1390-3799. Disponible en línea en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047267004

White, T. J., D. T. Bruns, S. B. Lee and J. W. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: PCR protocols: a guide to methods and applications, 18(1), 315-322.

MICROORGANISMOS BIOESTIMULANTES DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE JITOMATE PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Andrés Vásquez Hernández[1], Héctor Cabrera Mireles[1], Arturo Duran Prado[1], Isaac Meneses Márquez[1] y Arturo Andrés Gómez[1]

Resumen

En los últimos años se ha incrementado la producción y consumo de productos del campo, producidos mediante técnicas no contaminantes ni dañinas al medio ambiente. La agricultura orgánica se basa en técnicas de producción mediante el uso de abonos orgánicos, compostas y microorganismos benéficos El empleo de rizo bacterias y hongos formadores de micorrizas, está considerado como una de las contribuciones más importantes de la biotecnología y la microbiología a la agricultura actual en base al amplio espectro de propiedades tanto de *Rhyzophagus* y *Trichoderma* como microorganismos benéficos. Esta investigación realizada en un invernadero tropical tuvo los objetivos: a) determinar el efecto de estos microorganismos sobre el desarrollo y rendimiento de un hibrido comercial de jitomate tipo saladette en invernadero tropical, b) generar conocimiento sobre el uso de microorganismos como un componente tecnológico en la producción sustentable de jitomate en condiciones de agricultura protegida. Los tratamientos T1: *Trichoderma harzianum* T220 (50%) + *Rhizophagus intraradices* y T2: Genyfix (Mezcla de hongos) resultaron sobresalientes en rendimiento de fruto, aunque no hubo diferencia estadística con T3: Mix (Mezcla de tres especies de *Trichoderma:* T. *viridae*, T. *aseprellum* y *T. koningii)*, pero todos rebasaron al testigo que no recibió bioestimulantes, fue notorio que hay una clara ventaja en el uso de bioestimulantes, los que son baratos, no contaminan, y están aprobados a nivel mundial en la producción orgánica, lo que indica claramente la ventaja ecológica en su uso, por lo que es necesario promover su aplicación entre los productores.

[1] Campo Experimental Cotaxtla-CIRGOC-INIFAP. *Correspondencia: vasquez.andres@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Trichoderma, Rhizophagus*, genotipos, invernadero tropical

Introducción

La producción de hortalizas en invernadero representa una alternativa ecológica para generar productos con bajo impacto ambiental, al productor y consumidor, ya que se pueden aplicar tecnologías sustentables como riego por goteo, acolchado plástico, aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes aprobados a nivel mundial por la FAO para la agricultura ecológica. En décadas pasadas Veracruz fue productor de hortalizas básicas, entre estas el tomate rojo tipo saladet. La superficie sembrada de jitomate en el año 2011, fue de 2,313.75 ha en las cuales se cosechó una producción de 54,381.5 t de fruto fresco con un rendimiento promedio de 23.5 toneladas por hectárea, la mayoría bajo el sistema de producción de cielo abierto. Sin embargo, al paso del tiempo la producción se ha reducido a casi cero debido a la presencia de plagas como mosquita blanca, las cuales transmiten enfermedades virales difíciles de controlar y que causan grandes pérdidas a los productores de este cultivo, por lo que ante este escenario, se ha mostrado que los sistemas protegidos, tales como invernadero tipo tropical o bioespacio, representan una alternativa para el cultivo de jitomate con grandes posibilidades de éxito, ya que el aislamiento del sistema reduce al mínimo los ataques de plagas y enfermedades, lo que permite al productor obtener cosechas económicamente sustentables (Meneses *et al*., 2009a). México es el principal proveedor a nivel mundial de jitomate con una participación en el mercado internacional de 25.11% del valor de las exportaciones mundiales (SAGARPA, 2017). A pesar de que durante el periodo 2003-2016 se redujo su superficie sembrada, tuvo un crecimiento acumulado en producción de 54.25%, así como en las exportaciones en fresco de 77.87%, convirtiéndolo en uno de los cultivos con mayor incremento en productividad, por lo que para mantenerla o incrementarla se mencionan varias estrategias, pudiéndose mencionar entre las principales impulsar el desarrollo de la agricultura protegida, impulsar el manejo orgánico y promover la reconversión en unidades productivas. Además, de acuerdo a lo reportado por Borbon *et al*. (2009), la producción de jitomate bajo invernadero o casa sombra tiene la ventaja de menor incidencia de enfermedades como *Clavibacter michiganensis* spp. En la actualidad, se ha incrementado la nutrición mediante

microrganismos benéficos (*Rhyzophagus y Trichoderma*), como una alternativa sustentable al uso de los fertilizantes químicos que proceden de fuentes naturales no renovables. Sin embargo, Harris-Valle *et al*. (2009) señalan que la eficiencia en la simbiosis micorrízica arbuscular depende de las especies asociadas, por lo que esto hace necesario hacer estudios encaminados a conocer la respuesta entre microorganismo y el hospedero. La aplicación de micorrizas, no implica que se deje de fertilizar, sino que las plantas micorrizadas absorben mejor los fertilizantes y ello hace que se pueda disminuir la dosis desde 25 hasta 50% (Aguado, 2012; Durán *et al.*, 2015). Se ha reportado un efecto positivo de la inoculación sobre las plántulas de tomate con respecto al tratamiento testigo. Se han reportado amplias ventajas, principalmente en el incremento del rendimiento de jitomate por usar la inoculación con cepas de hongos como fuentes de nutrimentos en las fases de semillero y de campo (Díaz *et al*., 2022). Durán *et al*. (2015) mencionan que la aplicación de micorrizas no implica que se deje de fertilizar, sino que las plantas micorrizadas absorben mejor los fertilizantes y ello hace que se pueda disminuir la dosis recomendada entre 25 y 50%.

En los últimos años se ha incrementado la producción y consumo de productos del campo, producidos mediante técnicas no contaminantes ni dañinas al medio ambiente. La agricultura orgánica se basa en técnicas de producción mediante el uso de abonos orgánicos, compostas y microorganismos benéficos. El empleo de rizobacterias y hongos formadores de micorrizas, está considerado como una de las contribuciones más importantes de la biotecnología y la microbiología a la agricultura actual, es una tecnología clave para asegurar la sustentabilidad y productividad agrícola de bajo impacto ambiental, que además de incrementar el rendimiento de los cultivos, mejora la fertilidad del suelo y reduce las poblaciones de microorganismos fitopatógenos, minimizando así los costos de los insumos sintéticos y la contaminación del medio ambiente, coadyuvando de esta manera a la sustentabilidad de la agricultura (INTAGRI, 2021). Los biofertilizante no son una moda. Este nuevo sector del mundo agrícola pasó de ser una tendencia a una necesidad en el cultivo de vegetales para el consumo humano. Prueba de lo anterior es que el mercado mundial está exigiendo una conversión hacia los productos orgánicos, alejados de contaminantes que repercutan en la salud de las personas Los microorganismos cumplen funciones de descomposición, solubilización de nutrientes y estimulación del crecimiento de las raíces; por eso son unos excelentes fertilizantes biológicos y una alternativa tecnológica primordial para el desarrollo de nuevas soluciones; para

aplicaciones agrícolas los más utilizados son las bacterias, los hongos, las algas y los actinomicetos(Superintendencia de industria y comercio Grupo Banco de Patentes, 2014). Guardiola *et al*. (2019) señalan que la agricultura sostenible es una práctica que ha ganado importancia en los últimos años debido al impacto ambiental generado por la agricultura tradicional y que el uso de compuestos nutritivos como lixiviado de lombricomposta y los microorganismos benéficos del suelo ayudan a reducir el uso de fertilizantes químicos y a restaurar la estructura del suelo y los ecosistemas.

Boraste *et al*. (2009), mencionan que el termino biofertilizante se define como preparados sólidos o líquidos que contienen cepas de células vivas o latentes, que son eficientes para la fijación de nitrógeno, solubilizadores de fosfato o microorganismos celulíticos, para su aplicación a las semillas o la rizósfera de las plantas, con el objetivo de aumentar el número de esos microorganismos y acelerar los procesos microbianos que aumentan el crecimiento radicular, así como la disponibilidad de nutrientes que pueden ser fácilmente asimilables por las plantas cultivadas. Nelson y Nelson (2015), en un trabajo desarrollado en casas de cultivo protegido, modelo Tropical A-12 con tomate híbrido HA 3108-Hazera inoculada el biofertilizante comercial Ecomic® con hongos micorrizicos arbusculares y con aplicaciones de humus de lombriz al 50% de la fertilización mineral, encontraron que ejercen un efecto positivo en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo.

Lira (2021) menciona que los biofertilizantes (BF) bacterianos pueden clasificarse de manera general en: Fijadores biológicos de nitrógeno como las del genero *Rhizobium* sp*., Bradyrhizobium* sp*., Azotobacter* sp*.* y *Azospirillum* sp.; solubilizadores de fósforo como *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp*., Penicillium* sp*., Trichoderma* sp*.* y *Aspergillus* sp.; movilizadores de fosfatos como: hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA), destacando *Rhizophagus* sp*., Endogone* sp*., Gigaspora* sp*., Acualospora* sp*.* y *Scutellispora sp.* Bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) o PGPR (plant growth promoting rizobacteria, por sus siglas en inglés) como: *Pseudomonas* sp*. Agrobacterium* sp*., Bradyrhizobium* sp*., Azotobacter* sp*., Azospirillum, Streptomyces* sp*.* y *Xhanthomonas* sp. De acuerdo a la clasificación anterior los microorganismos *Trichoderma y Rhysophagus* utilizados en la presente investigación, están catalogados como fijadores de nitrógeno y promotores del crecimiento vegetal, sin embargo, los efectos que estos provocan en la planta y el suelo son diversos y complejos, de manera que deben ser estudiados de manea particular. Chiriboga *et*

al. (2015) mencionan que *Trichoderma* spp*.* tiene la capacidad de tomar los nutrientes de los hongos patógenos, compite con ellos o los degrada; también se alimenta de los materiales orgánicos, degradándolos, por ello, las incorporaciones de materia orgánica y composta favorecen su establecimiento en el suelo. El hongo requiere de humedad para poder germinar, además, tiene una velocidad de crecimiento bastante rápida, por lo que es capaz de establecerse en el suelo y controlar enfermedades que afectan a los cultivos.

Alvarado *et al*. (2014), en un estudio de aplicación de *Glomus* en tomate cultivado en casa sombra encontraron incremento en el contenido de clorofila, altura de planta y la colonización micorrízica. Además, promovió una mejor calidad del fruto, aumentó los valores de longitud, diámetro y peso de fruto, comparado con plantas no inoculadas; lo anterior se manifestó en el incremento del 30% en la producción de fruto.

Alvarado *et al.* (2014), realizó un estudio en casa sombra para ver el efecto de micorrizas sobre tomate hibrido tipo Saladette “El Cid”. En este estudio, concluyó que la inoculación del hongo micorrizico *R. intrarradices* en plantas de tomate bajo un sistema de fertirriego y en condiciones de casa sombra, incrementó el contenido de clorofila, altura de planta y la colonización micorrízica. El mismo inoculante fue capaz de promover una mejor calidad del fruto, aumentó los valores de longitud, diámetro y peso de fruto, comparado con plantas no inoculadas. Lo anterior se manifestó con un incremento de 30% en la producción acumulada de fruto. señalan Se ha reportado que los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal eléctrica (Hidema *et al*., 1992). La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh *et al*., 1994). El contenido de clorofila y la absorción de nitrógeno se han correlacionado con las unidades SPAD en diversas condiciones ambientales como la intensidad luminosa, temperatura, humedad relativa, plagas, densidad de población, fuente de nitrógeno, etc. (Hidema *et al*., 1992).

Trichoderma harzianum, un hongo que está presente en casi todos los suelos del mundo, se caracteriza por colonizar rápidamente las raíces de las plantas, logrando mecanismos para mejorar el desarrollo radicular de las plantas además de tener efectos antagónicos en

patógenos del suelo (Ecoplexity, 2010; Navarro, 2021). Así también, actúa como bioestimulante del crecimiento radicular, esto debido a que estimula a la planta a la secreción de fitohormonas, por lo tanto, incrementa la masa radicular permitiendo una mejor asimilación de nutrientes y una mayor altura de la planta (ECURED, 2021).

El uso a gran escala de los biofertilizantes en cualquier sistema de producción agrícola tiene grandes beneficios sobre el ambiente. Sin embargo, resulta preocupante que en México la tecnología relativamente simple de la biofertilizacion no ha sido transferida a la mayoría de los productores. Su desarrollo se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas rápidamente por estos microorganismos. Esta capacidad de adaptación a diversas condiciones medioambientales y sustratos confiere a *Trichoderma* la posibilidad de ser utilizado en diferentes suelos, cultivos, climas y procesos tecnológicos (Ecoplexity, 2010). Este mircroorganismo protege a las raíces de enfermedades causadas por *Pythium* spp., *Rhizoctonia* sp. y *Fusarium* spp., y permite el crecimiento de raíces más fuertes y por lo tanto el sistema radicular es más sano. Otros beneficios son en el aumento de la capacidad de captura de nutrientes y de humedad, así como mejorar el rendimiento en condiciones de estrés hídrico. No requiere equipamiento especial para su aplicación. Es compatible con inoculantes de leguminosas y posibilidad de aplicar a semillas que han sufrido un tratamiento fungicida químico. Disminuyen y en algunos casos eliminan la necesidad de tratar con fungicida químico, reduciendo costos y el uso de fertilizantes, pues las plantas tienen más raíces y las utilizan mejor (ECURED, 2021).

Trichoderma tiene diversas ventajas como agente de control biológico, pues posee un rápido crecimiento y desarrollo, también produce una gran cantidad de enzimas, inducibles con la presencia de hongos fitopatógenos. Puede desarrollarse en una amplia gama de sustratos, lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura. Su gran tolerancia a condiciones ambientales extremas y hábitat, donde los hongos son causantes de diversas enfermedades, le permiten ser eficiente agente de control; de igual forma pueden sobrevivir en medios con contenidos significativos de pesticidas y otros químicos. Este hongo toma nutrientes de los hongos que degrada y de materiales orgánicos ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostaje lo favorecen; también requiere de humedad para poder germinar, la velocidad de crecimiento de este organismo es bastante alta, por esto

es capaz establecerse en el suelo rápidamente y controlar las enfermedades. Probablemente sea el hongo beneficioso, más versátil y polifacético que abunda en los suelos.

No se conoce que sea patógeno de ninguna planta, sin embargo, es capaz de parasitar, controlar y destruir muchos hongos, nematodos y otros fitopatógenos, que atacan y destruyen muchos cultivos; debido a ello, muchos investigadores le llaman el hongo hiperparásito. Ello convierte al *Trichoderma* en un microorganismo de imprescindible presencia en los suelos y cultivos, y de un incalculable valor agrícola (ECURED, 2021). Vargas *et al*. (2019) en un trabajo de evaluación de *Trichoderma* en condiciones de invernadero, *T. spirale* produjo los mejores resultados luego de 90 días post-trasplante con el aumento del tamaño de las plantas, la producción de tomates por racimo junto con la protección de las plantas contra la marchitez del Fusarium. Los resultados obtenidos con la cepa nativa de T. spirale usada en este trabajo demostraron que este organismo posee un gran potencial como agente de control biológico. Aguado (2012) menciona que los beneficios del uso de los biofertilizantes en la agricultura incluyen: Aumento de la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes del suelo, reducción de los requerimientos de irrigación y fertilización en los cultivos, aumento del crecimiento y establecimiento de las plántulas. Incremento del enraizamiento de esquejes, aumento del vigor de las plántulas y plantas adultas, biocontrol de fitopatógenos, reducción de los tiempos de cosecha (en algunos casos entre 7 y 9 días y extensión de los tiempos de producción. Incremento del rendimiento de los cultivos, tanto en campo como en invernadero, aumento de la calidad de los frutos, compatibilidad con la producción orgánica de los cultivos agrícolas, reducción de la contaminación ambiental a través de la disminución del uso de pesticidas y fertilizantes químicos y bioremediación de suelos contaminados por derivados del petróleo y metales pesados.

En cuanto a *Trichoderma*, Aguado (2012) menciona que uno de los hongos más utilizados en la formulación de biofertilizantes. Este hongo filamentoso está ampliamente distribuido en casi todos los tipos de suelos, habitando sobre material vegetal en descomposición y comúnmente es el hongo cultivable encontrado más frecuentemente en el suelo. Además de su bien documentada capacidad para control de una amplia variedad de fitopatógenos, investigaciones más recientes han demostrado que *Trichoderma* posee diversos mecanismos para promover el crecimiento de las plantas, entre los que sobresalen: Control de patógenos de raíz y hoja. Este control ocurre de manera indirecta a través de la activación de las respuestas de

resistencia inducida, o directamente a través del ataque de las hifas de los hongos patogénicos por *Trichoderma.* Alteración de la composición en la microflora adyacente a las raíces. Mejoramiento del estatus nutricional de las plantas (especialmente nitrógeno). Aumento de la solubilización de nutrientes del suelo. Incremento del desarrollo radical. Incremento del número de pelos radicales. Favorecimiento de un enraizamiento más profundo.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó bajo condiciones de agricultura protegida, teniendo como estructura un invernadero tropical con cubierta de polietileno color blanco translucido y malla blanca antiáfidos en las partes laterales; ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla, en la localidad La Esmeralda, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México. Se utilizó sistema de riego por goteo mediante cintilla con emisores a 40 cm de distancia y con un gasto nominal de 1.2 litros por hora. El material fue el hibrido comercial Toro F1 de jitomate tipo Saladette de crecimiento determinado. Se formaron camas de siembra de 1.2 m de ancho, con una altura aproximada de 0.2 m para asegurar buen drenaje, la distancia de centro a centro de cama fue de 1.6 m, las cuales se cubrieron con plástico blanco/negro calibre 90, de 1.20 m de ancho como material para acolchar, de acuerdo a lo recomendado por Meneses *et al*. (2009b). Formadas la cama de siembra se aplicó la lombricomposta en dosis de 5 t/ha y se cubrió con tierra. La siembra se realizó a doble hilera en zig zag, a una distancia de 0.60 m entre hileras y 0.50 m entre plantas, se puso una planta por mata. La producción de planta se realizó mediante la siembra en charolas germinadoras de 200 cavidades, colocando una semilla por cavidad y como sustrato se utilizó peat moss. Antes de la siembra se realizó la inoculación de la semilla con los bioestimulantes biológicos. A los 35 días después de la siembra se llevó a cabo el trasplante a las camas de siembra. El tratamiento de fertilización química general consistió en aplicar una dosis 82.5-30.5-45 (N - P2O5 - K2O), lo que equivale al 50% con respecto al tratamiento tradicional.

Se utilizó un diseño factorial con arreglo de tratamientos en bloques completos al azar, con interacción. Los tratamientos de bioestimulantes fueron:

T1: *Trichoderma harzianum* T220 (50%) + *Rhizophagus intraradices*

T2: Genyfix (Mezcla de hongos)

T3: Mix (Mezcla de tres especies de *Trichoderma: T*. viridae, *T*. *aseprellum* y *T. koningii)*

T4: testigo

La parcela útil estuvo formada por seis plantas con competencia completa. La altura de planta se midió con una regla de un metro de longitud desde la base hasta el ápice de la planta y se expresó en centímetros. Para el diámetro de tallo se midió con un vernier digital en la base del tallo y se expresó en centímetros. Para la estimación de la lectura de clorofila se realizó con un equipo SPAD (Soil Plant Analysis Development) 502 de Minolta a los 30, 60 y 90 días posteriores a la nacencia. La determinación de la calidad del fruto fue con base en el peso, largo y diámetro ecuatorial de 20 frutos por parcela tomados al azar. El rendimiento de frutos a la madurez fisiológica se determinó con apoyo de una báscula digital y se expresó en kilogramos por parcela. Y para el peso de fruto por corte se utilizó una báscula digital y se expresó en kilogramos por parcela.

Para las variables altura de planta, diámetro de tallo y lectura del SPAD, se realizó el análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey con una probabilidad de $P \leq 0.05$ con el procedimiento ANOVA del paquete estadístico SAS. En cambio, en el caso de las variables peso de fruto y el número de frutos el análisis fue mediante el procedimiento GLM y la comparación de medias de Tukey con una $P \leq 0.05$ con el paquete estadístico INFOSTAT.

Resultados y Discusión

En análisis de varianza para la variable altura de planta de jitomate únicamente detectó alta significancia y significancia en las fuentes de variación correspondientes a la fecha de corte y la interacción tratamiento por repetición, respectivamente (Cuadro 1).

En el caso de la lectura de SPAD solamente hubo significancia estadística para la fecha de corte, en contraste, la variable diámetro de tallo donde se detectó alta significancia para la misma fuente de variación.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de genotipos de jitomate en agricultura protegida.

F. V.	G. L.	Altura de planta (cm)	Lectura SPAD	Diámetro de tallo (mm)
Tratamiento	3	155.36	26.86	0.86
Fecha de corte	2	37514.48**	119.52*	91.25**
T x C	6	55.25	20.52	0.34
Repetición	3	127.57	26.86	1.80**
T x R	9	159.40*	43.19	0.64
C x R	6	67.15	12.66	0.35
Error	18	56.45	26.01	0.31
Media		121.98	42.56	10.53
C.V.		6.15	11.98	5.37

F.V. Fuente de variación, G.L. Grados de libertad, ** Altamente significativo con una probabilidad α=0.01 y * Significativo con una probabilidad α=0.05.

En la comparación de medias no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos en ninguna de las variables evaluadas, no obstante que el diámetro de tallo en el tratamiento testigo (fertilización tradicional) fue el que presentó el menor valor comparado con el T22+R (*Trichoderma* complementado con *Rhizophagus*) con una diferencia numérica superior a cinco milímetros (Cuadro 2).

En relación con la altura de planta, la comparación de medias entre fecha de corte mostró, como era de esperarse, que a mayores días después del trasplante la altura fue mayor, similar tendencia en cuanto al diámetro de tallo. Caso contrario ocurrió para la cantidad de clorofila en el dosel vegetal, donde a medida que pasaron los días, este valor fue disminuyendo (Cuadro 3).

Cuadro 2. Medias de tratamientos aplicados en genotipos de jitomate en agricultura protegida.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Lectura SPAD	Diámetro de tallo (mm)
T22+R	124.182 a	42.845 a	10.802 a
Genifix	120.170 a	41.291 a	10.693 a
Mix	125.718 a	41.560 a	10.417 a
Testigo	117.888 a	44.566 a	10.210 a
DMS	8.669	5.885	0.652

DMS: Diferencia mínima significativa. Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (α=0.05).

Cuadro 3. Medias de fecha de corte en un genotipo de jitomate en agricultura protegida.

Fecha de corte	Altura de planta (cm)	Lectura SPAD	Diámetro de tallo (mm)
30 DDT	68.781 c	44.741 a	7.788 b
60 DDT	133.718 b	43.458 ab	11.648 a
90 DDT	163.469 a	39.498 c	12.155 a
DMS	6.779	4.602	0.510

DDT: Días después del trasplante, DMS: Diferencia mínima significativa. Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (α=0.05).

El análisis por cortes nos muestra que el mejor rendimiento se obtuvo en el tercer corte, en el que sobresalieron los tratamientos T2, T1 y T3 a base de bioestimulantes. Le siguió el corte 4, en el que también sobresalieron los cortes a base de bioestimulantes. En ambos cortes el tratamiento con más alto rendimiento de fruto fue el T2 con Genifyx (Cuadro 4). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Aguado (2012) quien menciona que unos de los factores en que influyen los biofertilizantes es el incremento en el rendimiento de los cultivos tanto en campo como en invernadero.

Cuadro 4. Rendimiento de fruto de jitomate de la interacción entre tratamiento y corte.

Tratamiento	Numero de corte	Media	C.V.
Genifix	3	8.47 a	24.91
T22(50%)+R	3	8.29 a	48.52
Mix	3	7.22 ab	6.70
Genifix	4	6.96 ab	26.64
Mix	4	6.89 ab	16.64
T22(50%)+R	4	6.51 b	44.54
Mix	5	3.84 cd	28.78
Testigo	3	3.58 cd	15.47
Testigo	4	3.11 cd	7.48
Genifix	5	2.87 cd	24.73
T22(50%)+R	5	2.81 cd	67.42
T22(50%)+R	6	2.79 cd	67.94
Testigo	5	2.78 cd	18.29
Mix	6	2.42 e	54.76
Genifix	6	1.66 ef	37.54
Testigo	6	1.42 f	23.58

DMS: Diferencia mínima significativa (DMS=0.17037). Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (α=0.05).

En el Cuadro 5 se observa que los tratamientos 1 a 3 tuvieron resultados semejantes en un intervalo de valores muy corto, aunque el valor más alto fue para T1 (*Trichoderma harzianum)* con 20.39 kg por parcela, le siguen T3 con 20.36 kg; sobresale el hecho que el tratamiento Blanco T4 que no recibió estimulantes tuvo un rendimiento relativo del 53.31% con respecto a T1 que fue el más alto. El análisis de varianza para esta variable fue altamente significativo, pero la prueba de Tukey muestra como iguales sin diferencia significativa a T1, T2 y T3, y diferentes a T4 que es el testigo. Estos resultados muestran un efecto sobresaliente de los bioestimulantes al lograr incrementos en el rendimiento de fruto desde 83 hasta 87% sobre el testigo. Con estos resultados se reafirma el efecto positivo del uso de hongos micorrizicos los cuales aún en condiciones de estrés son capaces de incrementar el crecimiento, sobrevivencia y rendimiento de los cultivos u otras especies vegetales silvestres (Augé, 2001).

Cuadro 5. Medias de tratamiento en un material comercial de jitomate en agricultura protegida.

Tratamiento	NFT	RF	Incremento relativo en rendimiento (%)
T22(50%)+R	296.6 a	20.39 a	87
Genifix	231.3 ab	19.94 a	83
Mix	228.0 ab	20.36 a	87
Testigo	124.5 b	10.87 b	0

NFT: Numero de frutos totales, RF: Rendimiento total de fruto (kilogramo por parcela). Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (α=0.05).

En cuanto al número de frutos totales sobresalió T1, seguido por el T2 y T3, aunque sin diferencias estadísticas significativas, no obstante, son mucho más altos que el testigo con el que si hubo diferencia estadística. Se encontró una relación directa entre las variables número total de frutos y rendimiento total, toda vez que el tratamiento sobresaliente lo fue en ambas variables. Estos valores concuerdan con resultados obtenidos en estudios donde utilizan biofertilizantes fosfo solubilizadoras (Planes-Leyva *et al*., 2004). Esto último es importante para el productor, ya que a mayor rendimiento espera lograr mayor ganancia (Cuadro 5). Resultó obvio la ventaja de usar bioestimulantes, los que son baratos, no contaminan y están aprobados a nivel mundial en la producción orgánica, mostrando claramente la ventaja ecológica en su uso.

Conclusiones

Los tratamientos T1 y T2 resultaron sobresalientes en rendimiento de fruto, aunque no hubo diferencia estadística con T3, pero todos rebasaron al testigo que no recibió bioestimulantes. Los cortes tres y cuatro fueron los mejores en cuanto a rendimiento de frutos, en los que sobresalieron los tratamientos T1 y T2. Hay una clara ventaja en el uso de bioestimulantes, los que son baratos, no contaminan, y están aprobados a nivel mundial en la producción orgánica, lo que indica claramente la ventaja ecológica en su uso, por lo que es necesario promover su aplicación entre los productores.

Literatura Citada

Aguado S. G. A. 2012. Uso de microorganismos como biofertilizantes. In: Aguado-Santacruz, G.A. (ed). Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura. INIFAP/SAGARPA. México, 35-78 pp.

Alvarado C. M., M. A. Peña del R. y A. Díaz F. 2014. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5 (3): 13-18.

Augé R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal simbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.

Boraste A., K. Vamsi, K., A. Jhadav, Y. Khairnar, N. Gupta, S. Trivedi. *et al*. 2009. Biofertilizers: A novel tool for agriculture. International Journal of Microbiology Research 1(2): 23.

Borbon F.J., E. O. Rueda P., E. Acedo F, J. F. Ponce, M. Cruz, O. Grimaldo J. *et al*.

2009. Detección de *Clavibacter michiganensis* subspecies *michiganenses* en el tomate del estado de Sonora, Mexico. Revista Fitotecnia Mexicana 32 (4): 319-326.

Chiriboga P. H., G. Gómez B. y K. Garcés E. 2015. *Trichoderma* spp. para el control biológico de enfermedades. Protocolos para formulación y aplicación del bio-insumo. IIICA. Paraguay 28 p.

Díaz M.O., J. N. Gurrola R., G. Pérez S. y J. Díaz M. 2022. Biofertilizantes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16956/1/BIOFERTILIZANTES%20EN%20EL%20CULTIVO%20DE%20TOMATE%20%28Solanum%20lycopersicum%20L.%29.pdf [Consultado el 4 de junio de 2022].

Durán P. A., J. F. Aguirre M. y O. A. Grajeda C. 2015. Biológicos (Biofertilizante). In: Hernández Tejeda, T. (Ed.). Buenas prácticas para el uso de fertilizantes en México. CENID-COMEF.INIFAP. México, D.F. 133-140 pp.

Ecoplexity. 2010. Ecoplexity, teaching ecological complexity. Recuperado en Noviembre de 2013, de La presencia de hongo del suelo. http://ecoplexity.org/node/609?page=0,1. [Consultado el 12 de junio de 2021].

ECURED. 2021. *Trichoderma* spp. ECURED: http://www.ecured.cu/index.php/Trichoderma_spp. [Consultado el 14 de junio de 2021].

Guardiola M. C. E., A. Pacheco M. y C. Senés G. 2019. Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México. Agroproductividad 12 (3): 53-61.

Hidema J., A. Makino, Y. Kurita, T. Masa y K. Ojima. 1992. Changes in the levels of chlorophyll and light-harvesting chlorophyll a/b protein of PS II in senescence. Plant and cell physiology 33 (8): 1209-1214.

Harris V. C., M. Esqueda, E. M. Valenzuela S. y A. E. Castellanos. 2009. Revista Fitotecnia Mexicana 32 (4): 265-271.

INTAGRI. 2021. Uso de los biofertilizantes en la agricultura ecológica. https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/uso-de-biofertilizantes-en-la-agricultura-ecologica [Consultado el 12 de junio de 2021].

Krugh B., L. Bichham y D. Miles. 1994. The solid-state chlorophyll meter, a novel instrument for rapidly and accurately determining the chlorophyll concentrations in seedling leaves. Maize genetics cooperation. News Letter 68: 25-27.

Lira S. R. H. 2021. Uso de los biofertilizantes en la agricultura ecológica. https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/uso-de-biofertilizantes-en-la-agricultura-ecologica [Consultado el 17 de junio de 2021].

Meneses M. I., A. Vásquez H. y J. D. Bustamante O. 2009a. Genotipos de jitomate para la producción en condiciones de bioespacio en el centro de Veracruz. In: INIFAP. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.

Meneses M. I., A. Vásquez H. y J. D. Bustamante O. 2009b. Arreglo topológico de jitomate en ambiente protegido. In: INIFAP. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.

Navarro A. M. 2021. Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizante para la mejora del cultivo de plantas de tomate y maíz. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. España. 165 p.

Nelson J. C. y Nelson J. M. A. 2015. Uso y manejo de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. Cultivos Tropicales, 36 (1): 55-64.

Planes L. M., E. Utria B., J. O. Calderón A., A. O. Terry L., I. Figueroa S., A. Lores. 2004. La biofertilización como herramienta biotecnológica de la agricultura sostenible. Revista Chapingo Serie Horticultura 10 (1): 5-10.

SAGARPA. 2017. Planeación agrícola Nacional 2017-2030. Jitomate Mexicano. *https://www.elfinanciero.com.mx/tags/sistema-producto-tomate/.* [Consultado el 3 de junio de 2022].

Superintendencia de Industria y Comercio, Grupo Banco de Patentes. 2014. Boletín Tecnológico. Tecnologías relacionadas con biofertilizantes. Banco de Patentes, SIC, agosto de 2018. Colombia. 131 pp.

Vargas I. L., Y. Fuenmayor A., M. Luzardo. M., M. Da Costa J., A. Vera, D. Carmona. *et al.* 2019. Utilización de diferentes especies de Trichoderma en tomates cherry (*Solanum lycopersicum* L.) contra la marchitez del Fusarium *oxysporum* en invernaderos tropicales. Agronomia Costarricense 43 (1): 85-100.

ÁCIDO OXÁLICO COMO TRATAMIENTO POST-COSECHA EN TOMATE (*Solanum lycopersicum*) GENÉTICAMENTE MODIFICADO

Wendy Marisol Mazón Abarca[1], Elizabeth León García[2]*, José Alberto Ramírez De León[3] y Hugo Sergio García Galindo[1]

Resumen

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es considerado un ingrediente importante en la alimentación a nivel mundial y su consumo en fresco incrementa cada año. Debido a la naturaleza del tomate, éste tiende a ser altamente perecedero, por lo que, es necesario la aplicación de tratamientos post-cosecha para preservar sus propiedades. Hoy en día, con la ingeniería genética se ha conseguido mejorar los cultivos incrementando su vida útil, entre otras aplicaciones. Este estudio se centró en evaluar el efecto de la aplicación de ácido oxálico sobre tomate modificado genéticamente mediante el silenciamiento de la enzima TomloxB. Se aplicaron los tratamientos de ácido oxálico de 3 y 10 mM durante 10 minutos a 25ºC en tomates wild type y modificados genéticamente; posteriormente los tomates fueron almacenados a 25ºC durante 30 días. Se determinaron los parámetros de: cambios en la apariencia, pérdida de peso, color y firmeza. Con el tratamiento de 3 mM de ácido oxálico se logró conservar los atributos de los tomates genéticamente modificados durante 30 días de almacenamiento, mostrando lentos cambios en la apariencia durante el almacenamiento, menor pérdida de peso, mayor luminosidad, ángulo hue y firmeza, en comparación al tomate wild type con tratamiento, cuya vida post-cosecha fue de hasta 18 días, mientras que para el tomate sin tratamiento fue de 15 días.

Palabras clave: retraso en la maduración, fruto GMO, parámetros fisiológicos

[1] Tecnológico Nacional de México – Veracruz. UNIDA. Laboratorio de Manejo Post-cosecha.
[2] INIFAP - Campo Experimental La Posta Veracruz. E-mail: eliibq@gmail.com
[3] UAT – Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano. Centro Universitario. Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es considerado un ingrediente importante en la alimentación a nivel mundial; el consumo de este cultivo en fresco se ha estado incrementando cada año. Se conoce que una vez cosechados, los productos hortícolas continúan con sus funciones fisiológicas, en especial el tomate, el cual es un fruto climatérico. Por lo que, es importante mantener sus propiedades y retrasar su maduración, para su traslado a los diferentes centros de distribución para ser comercializado. Para cubrir esta situación, se emplean los tratamientos post-cosecha, cuyo propósito es retrasar la maduración del fruto tratado y conservar sus propiedades organolépticas (Arah *et al.,* 2016).

La aplicación de ácido oxálico, el cual es un compuesto orgánico que se encuentra en verduras de hoja verde y actúa como donante de electrones, catalizador ácido y quelante de iones metálicos (Shimida *et al.,* 1997). Además, es un tratamiento post-cosecha que en soluciones a concentraciones milimolares, ha mostrado buenos resultados para prolongar la vida post-cosecha en tomate (Kant *et al.,* 2013; Li *et al.,* 2016), mango (Zheng *et al.,* 2007; Razzaq *et al.,* 2015) y plátano (Huang *et al.,* 2013), entre otros.

Por su naturaleza, el tomate ha sido considerado en los últimos años como modelo de estudio a nivel molecular, debido a que es susceptible a las técnicas de ingeniería genética, así como de biología molecular (Hobson y Grierson, 1993). León-García y colaboradores (2017) insertaron en anti-sentido el gen de *TomLoxB* en tomate, con el objetivo de prolongar su vida post-cosecha y obtuvieron como resultado favorable una mayor firmeza y conservación de su integridad.

Se han realizado pocos estudios para conocer la fisiología de este fruto con modificaciones genéticas. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido oxálico sobre la maduración del tomate (*Solanum Lycopersicum*) con silenciamiento del gen *TomLoxB.*

Materiales y Métodos

Para este estudio se emplearon plantas de tomate transgénico modificadas previamente por León-García *et al.* (2017), insertando el gen de la lipoxigenasa B (*TomLoxB*) en anti-sentido a

través de *Rhizobium radiobacter* (antes *Agrobacterium tumefaciens*). Los genes de la neomicina fosfotransferasa (NPTII) y de la β glucuronidasa (UIDA) se utilizaron como marcador de transformación y genes reporteros, respectivamente. Se emplearon tomates en estado break variedad TA234, así como líneas wild type (WT) y modificadas genéticamente (GM), pertenecientes a la F1. Ambos tipos de tomate fueron sembrados, cultivados y cosechados en el periodo de marzo de 2021 a septiembre de 2021, en el invernadero del Laboratorio de Manejo Post-cosecha del Instituto Tecnológico de Veracruz, en el puerto de Veracruz.

Se realizaron estudios previos con diferentes concentraciones reportadas en literatura (Kant *et al*., 2013; Li *et al.,* 2016) y se determinaron dos concentraciones: 3 y 10 mmol/L para llevar a cabo el estudio. Se sumergieron los tomates en las respectivas soluciones antes mencionadas durante 10 minutos a 25ºC. Posterior al tratamiento, se colocaron sobre una malla durante tres horas para retirar la solución de la superficie. Se almacenaron a 25ºC con una humedad relativa de 65-70% durante 30 días.

Los cambios en la apariencia durante el periodo de estudio fueron registrados fotográficamente con una cámara (Canon Power Shot mod SX500IS), al inicio del tratamiento y cada seis días hasta el día 30 de almacenamiento.

Se determinó la pérdida de peso (% PP), utilizando una balanza analítica, llevando el registro del peso al inicio y cada tres días durante todo el almacenamiento. La pérdida de peso se reportó en porcentaje.

El color se determinó con un colorímetro de reflectancia Hunter Lab. Se midió en tres puntos sobre la zona ecuatorial, cada tres días. Los parámetros obtenidos fueron: L*, a* y b*, se utilizaron para calcular los valores de luminosidad y ángulo Hue (h°).

La firmeza se determinó por punción, en tres puntos sobre la zona ecuatorial cada tres días, mediante un analizador de textura de frutos, empleando una sonda en forma de aguja de acero inoxidable de 8 mm. La firmeza se expresó en Newton (N).

Los datos se analizaron en diseño experimental completamente aleatorio, aplicando un análisis de varianza de una vía. Para comparar las medias se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$), utilizando el software estadístico Minitab versión 18. Cabe indicar que en cada análisis se consideraron tres réplicas.

Resultados y Discusión

Los tomates sometidos a tratamiento con ácido oxálico tanto los WT (sin modificación genética) como GM (genéticamente modificado), mostraron cambios en la apariencia en los primeros seis días, observándose un ligero cambio en la coloración, pasando al estado pink, en comparación con el fruto testigo de cada línea, que se encontró en estado red light, de acuerdo, a lo establecido por los estándares mostrados por la USDA (1991) (Figura 1).

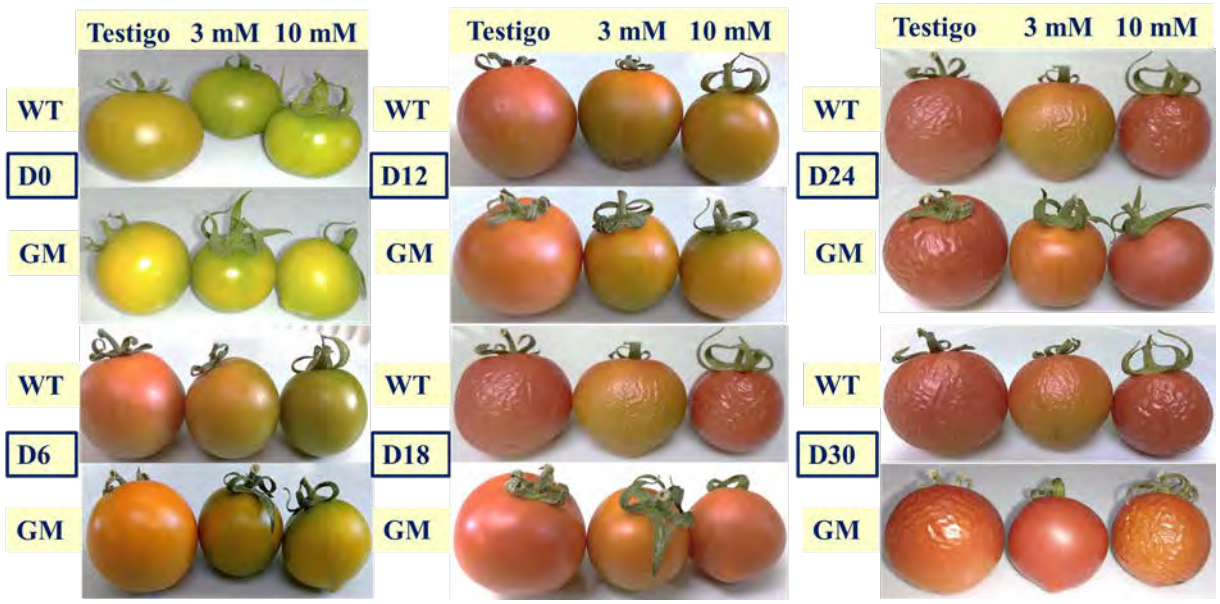


Figura 1. Cambios en la apariencia durante la maduración en tomates variedad TA234 con tratamiento de ácido oxálico de 3 y 10 mM, en tomates WT (wild type) y GM (modificado genéticamente).

En el día 12, ambos tipos de tomates continuaron desarrollando el color rojo, observándose ese cambio de manera clara en los frutos testigo, los cuales alcanzaron el color rojo, indicio de que llegaron a la madurez. Sin embargo, los tomates GM se encontraban en el estado red light (Figura 1). Para el día 24 se observó que el tomate GM con tratamiento de 3 mM aún permanecía con una coloración naranja, propia del estado red light, mientras que el testigo y el tratado con 10 mM ya habían alcanzado la maduración (coloración roja), incluso manifestándose los primeros signos de arrugamiento, que indican la senescencia en el fruto. Finalmente, para el día 30, el tomate GM con tratamiento de 3 mM alcanzó la maduración, al

mostrar una coloración completamente roja, mientras que los otros tomates de la misma línea presentaron signos de arrugamiento (Figura 1).

Estos resultados son consistentes con los reportados por Kant *et al.* (2013), donde obtuvieron una prolongación de cuatro días de vida útil en comparación con el testigo, empleando una solución de ácido oxálico 3 mM. En este estudio, la prolongación de la vida útil fue de 12 días para el tomate wild type en comparación al tomate GM, ambos testigos.

La menor pérdida de peso significativa ($p<0.05$) que se registró en el experimento correspondió a los tomates GM-3 mM con un valor de 8.51% en comparación al resto de los tratamientos y al testigo con un valor de 9.51%. Mientras que, para los tomates WT-3 mM fue de 12.39% y su testigo de 19.57%; todos ellos en el día 30 de almacenamiento (Figura 2). Kant y colaboradores (2013) mencionan que los tomates tratados con 3 mM de ácido oxálico tuvieron una pérdida de peso de 9% en el día 21 de almacenamiento. Probando la eficacia del tratamiento para los tomates GM-3 mM; esto puede deberse a que el efecto del tratamiento contribuye a una mayor estructura reticulada de la pared celular. Sumado al efecto del silenciamiento del gen *TomLoxB*, el cual ha demostrado disminuir la producción y expresión de la lipoxigenasa (León-García *et al*., 2017), lo que permite conservar la fluidez en la membrana celular, conservando su funcionalidad y con ello, una menor transpiración del fruto.

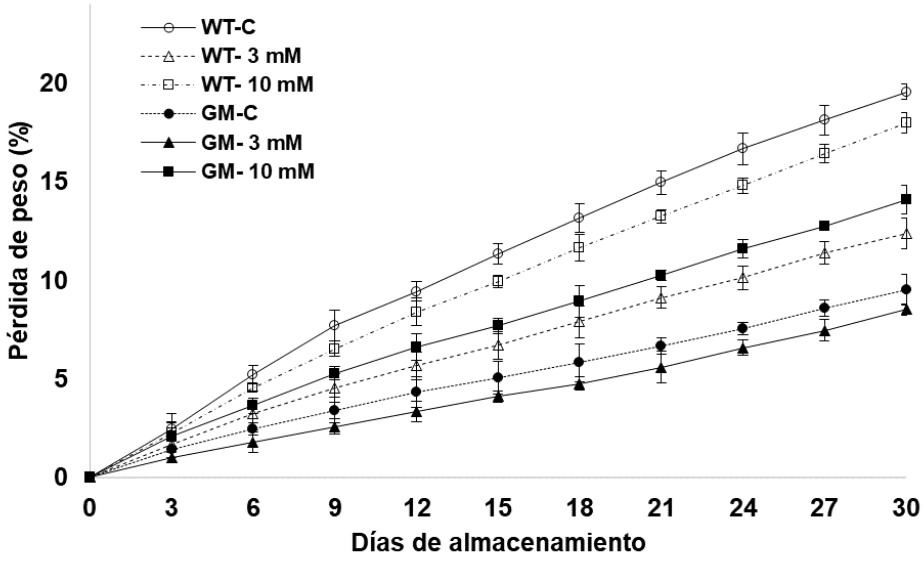


Figura 2. Pérdida de peso en tomates con tratamiento de ácido oxálico de 3 y 10 mM, en tomates WT (wild type) y GM (modificado genéticamente).

En el día 15, los tomates GM-3 mM registraron valores de luminosidad de 45.07, los tomates GM-C mostraron valores de 42.92, para los tomates WT-3 mM fue de 40.47 y los tomates WT-C fue 36.51 (Figura 3). Resultados similares reportaron Hafiz *et al.* (2017) al aplicar tratamiento de ácido oxálico en rambután, obteniendo una mayor retención del valor de luminosidad en comparación al testigo. Se ha registrado que el descenso de la luminosidad en un fruto es debido a la síntesis de carotenoides, la cual esta inducida por el etileno (Sun *et al.*, 2020; Pathare y Al-Dairi, 2021). Por otro lado, uno de los efectos de la transformación genética, es la disminución en la producción de etileno en el tomate (Velázquez-López *et al.,* 2020), por lo tanto, la unión de ambos métodos disminuyó de manera gradual la luminosidad en los tomates GM-3 mM.

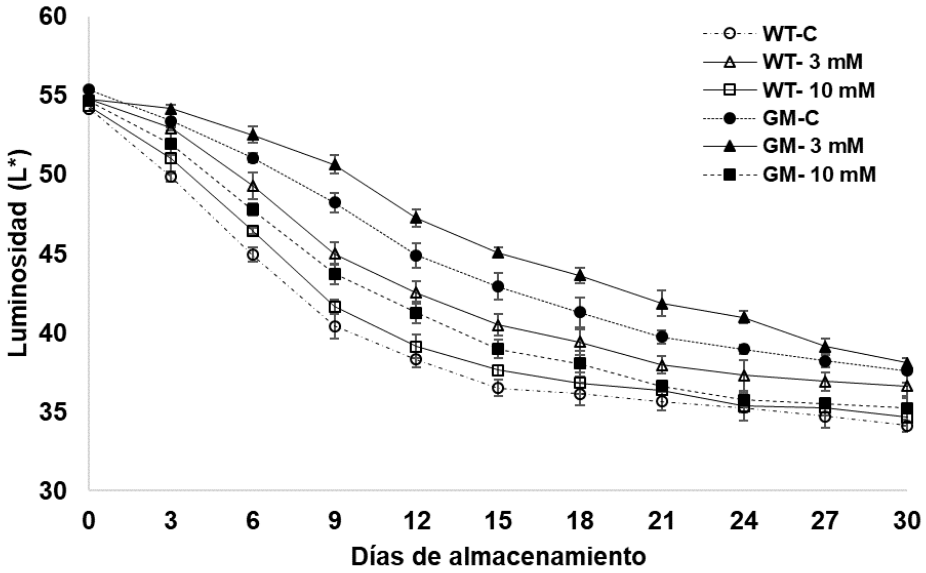


Figura 3. Luminosidad en tomates con tratamiento de ácido oxálico de 3 y 10 mM, en tomates WT (wild type) y GM (modificado genéticamente).

Con respecto a los resultados del ángulo Hue, los tomates GM-3 mM mostraron un descenso significativamente menor (p<0.05) en comparación al resto de los tratamientos, mostrando un valor de 42.73, incluso al tomate WT testigo, con un valor de 35.40, que tuvo el mayor descenso en el día 24 de almacenamiento (Figura 4). La disminución en el ángulo Hue está relacionada a la degradación de la clorofila y la síntesis de los β-carotenos, entre ellos el licopeno, cambios que dependen de la producción de etileno (Pathare y Al-Dairi, 2021). Por lo tanto, estos

resultados se deben a la sinergia entre el ácido oxálico y el silenciamiento del gen *TomLoxB*, ya que, al disminuir el etileno en el fruto, se retrasa el desarrollo del cambio de color, de verde a rojo y con ello su maduración.

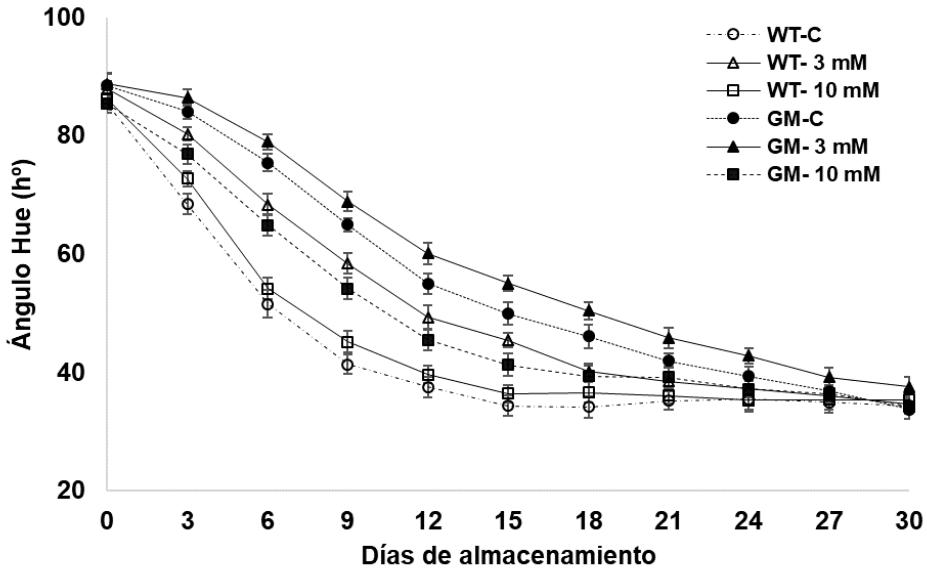


Figura 4. Ángulo Hue en tomates con tratamiento de ácido oxálico de 3 y 10 mM, en tomates WT (wild type) y GM (modificado genéticamente).

En cuanto a la firmeza, se observó una disminución gradual para ambos tipos de tomate durante todo el almacenamiento. Los tomates GM-3 mM (3.9 N) mostraron valores superiores al resto de los tratamientos, siendo significativamente mayor (p<0.05) al tomate testigo WT-C (2.9 N) en el día 30 de almacenamiento (Figura 5). Este resultado concuerda con lo reportado por Kant *et al.* (2013), en el que los tomates tratados con ácido oxálico a una concentración de 3 mM mantuvieron la firmeza por 21 días de almacenamiento, atribuyendo que la acción del tratamiento tiende a disminuir la actividad de las enzimas degradadoras de la pared celular y con ello, una menor solubilidad de la pectina en el mesocarpio del tomate. Este efecto en conjunto con el silenciamiento de *TomloxB* en el tomate GM, el cual le confiere al fruto una mayor integridad en la membrana por la disminución en la síntesis de la lipoxigenasa, evitando la peroxidación de los ácidos grasos libres y con ello, manteniendo la funcionalidad de la membrana celular (León-García *et al*., 2017), dieron como resultado una mayor retención en la firmeza del tomate modificado, lo que incrementa su vida útil.

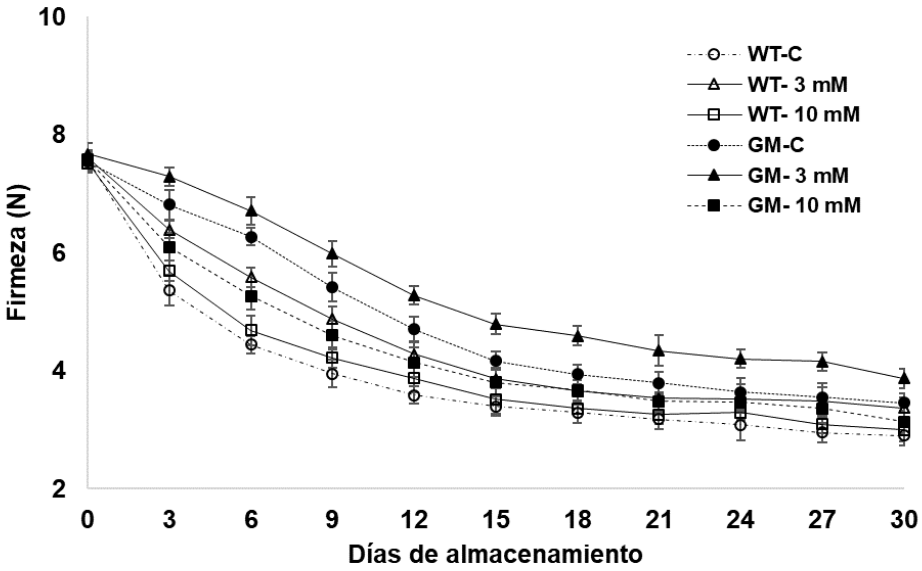


Figura 5. Firmeza en tomates con tratamiento de ácido oxálico de 3 y 10 mM, en tomates WT (wild type) y GM (modificado genéticamente).

Conclusiones

1. El tratamiento de 3 mM de ácido oxálico mostró tener efectos favorables al minimizar los cambios en la apariencia durante el almacenamiento, mayor retención de la firmeza y luminosidad, así como un retraso en la aparición del color rojo y menor pérdida de peso en los tomates GM, en comparación a los tomates WT, incluso con sus respectivos testigos. 2. La prolongación de la vida post-cosecha en el tomate GM con este tratamiento fue de hasta 30 días, mientras que para el tomate GM testigo fue de hasta 24 días. 3. La vida post-cosecha en el tomate WT con el tratamiento de 3 mM fue de hasta por 18 días y para el tomate WT testigo fue de 15 días.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgar al primer autor una beca de manutención para la dedicación de tiempo completo a la investigación de este trabajo.

Literatura Citada

Arah, I. K., G. K. Ahorbo, E. K. Anku, E. K. Kumah and H. Amaglo. 2016. Postharvest handling practices and treatment methods for tomato handlers in developing countries: A mini review. Advances in Agriculture Article ID 6436945 2016:8.

Hafiz, A. F. A., Y. W. Keat and A. Ali. 2017. Effect of integration of oxalic acid and hot water treatments on postharvest quality of rambutan (*Nephelium lappaceum* L. cv. Anak Sekolah) under modified atmosphere packaging. Journal of food science and technology 54(7):2181-2185.

Hobson, G. and D. Grierson. 1993. Tomato. p. 405-442. *In*: Biochemistry of Fruit Ripening. Springer, Dordrecht.

Huang, H., G. Jing, L. Guo, D. Zhang, B. Yang, X. Duan and Y. Jiang. 2013. Effect of oxalic acid on ripening attributes of banana fruit during storage. Postharvest Biology and Technology 84:22-27.

Kant, K., A. Arora, V. P. Singh and R. Kumar. 2013. Effect of exogenous application of salicylic acid and oxalic acid on postharvest shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). Indian Journal of Plant Physiology 18(1):15-21.

León-García, E., G. Vela-Gutiérrez, O. A. Del Ángel-Coronel, C. Torres-Palacios, J. De La Cruz-Medina, M. A. Gómez-Lim and H. S. García. 2017. Increased postharvest life of TomLox B silenced mutants of tomato (*Solanum lycopersicum*) var. TA234. Plant Foods for Human Nutrition 72(4):380-387.

Li, P., F. Yin, L. Song and X. Zheng. 2016. Alleviation of chilling injury in tomato fruit by exogenous application of oxalic acid. Food chemistry 202:125-132.

Pathare, P. B. and M. Al-Dairi. 2021. Bruise damage and quality changes in impact-bruised, stored tomatoes. Horticulturae 7(5):113.

Razzaq, K., A. S. Khan, A. U. Malik, M. Shahid and S. Ullah. 2015. Effect of oxalic acid application on Samar Bahisht Chaunsa mango during ripening and postharvest. LWT-Food Science and Technology 63(1):152-160.

Shimada, M., Y. Akamtsu, T. Tokimatsu, K. Mii and T. Hattori. 1997. Possible biochemical roles of oxalic acid as a low molecular weight compound involved in brown-rot and white-rot wood decays. Journal of Biotechnology 53(2-3):103-113.

Sun, Q., L. Liu, L. Zhang, H. Lv, Q. He, L. Guo, *et al.* 2020. Melatonin promotes carotenoid biosynthesis in an ethylene-dependent manner in tomato fruits. Plant Science 298:110580.

USDA (United States Department of Agriculture). 1991. United states standards for grades of fresh tomatoes. United States Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. Fruit and Vegetable Division. Fresh Products Branch. 13 p.

Velázquez-López, A. A., J. De la Cruz-Medina, H. S. García, G. Vela-Gutiérrez, C. Torres-Palacios and E. León-García. 2020. Lipoxygenase and its relationship with ethylene during ripening of genetically modified tomato (*Solanum lycopersicum*). Food Technology and Biotechnology 58(2):223-229.

Zheng, X., S. Tian, M. J. Gidley, H. Yue, and B. Li. 2007. Effects of exogenous oxalic acid on ripening and decay incidence in mango fruit during storage at room temperature. Postharvest biology and technology 45(2):281-284.

BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE LA EXPRESIÓN DE GENES *SABPs* EN LIMÓN PERSA INFECTADO CON HLB

Ricardo Santillán Mendoza[1]*, Erick Rodríguez Peralta[2], Felipe Flores de la Rosa[1], Humberto Estrella Maldonado[1], Cristian Matilde Hernández[1], Jacel Adame García[2] y Hugo Suarez Hernández[3]

Resumen

El limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) es la principal variedad de limas y limones cultivada en el estado, posicionando a Veracruz como el principal productor y exportador de limón Persa en el país, sin embargo, la presencia del Huanglongbing (HLB) en Martínez de la Torre; principal municipio productor de limón Persa a nivel estatal y nacional, supone un riesgo para la integridad y productividad del cultivo afectando a numerosos productores locales. La enfermedad es producto de la infección de un patógeno intracelular obligado clasificado como *Candidatus* Liberibacter asiaticus (*C*Las) que parasita diversas especies de cítricos silvestres y comerciales, la infección por *C*Las desencadena la respuesta inmune mediante la ruta de señalización de ácido salicílico en la que participan las proteínas de unión a ácido salicílico durante la inducción de la resistencia sistémica adquirida (RSA), por tanto, el objetivo del presente estudio fue identificar y analizar la expresión diferencial de genes codificantes para proteínas de unión a ácido salicílico (*SABPs*) en el transcriptoma de plantas de limón Persa sanas e infectadas con *C*Las, por lo cual se realizó la síntesis y secuenciación de ADNc en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. En total, se construyeron y secuenciaron seis bibliotecas de ADNc, tres de plantas infectadas con *C*Las y tres de plantas sanas, y se recurrió a la plataforma Illumina Nextseq 500 para generar secuencias de 75 pb en promedio (paired end). Se observó que los genes *SABPs* están presentes en el transcriptoma de limón persa sano e infectado con *C*Las encontrándose ligeramente reprimidos en árboles con HLB aunque sin significancia estadística; de acuerdo con los valores de LongFoldChange2, además, se

[1] Campo Experimental Ixtacuaco, CIR Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *santillan.ricardo@inifap.gob.mx
[2] Tecnológico Nacional de México campus Úrsulo Galván.
[3] Tecnológico Nacional de México campus Zacapoaxtla.

realizó la reconstrucción filogenética de las proteínas SABP1, SABP2 y SABP3 encontrándose elevada homología con relación a las proteínas SABPs reportadas en *Nicotiana tabacum* y *Arabidopsis thaliana*, y finalmente, se realizó la reconstrucción 3D de las proteínas SABPs identificadas en *Citrus latifolia* demostrando elevada similitud estructural con respecto a NtSABPs y AtSABPs de *Nicotiana tabacum* y *Arabidopsis thaliana,* respectivamente.

Palabras clave: *Citrus latifolia*, proteínas de unión a ácido salicílico, Huanglongbing

Introducción

El Huanglongbing (HLB) es considerada una de las enfermedades citrícolas más devastadoras del mundo (Gottwald *et al*., 2007) cuyas repercusiones se manifiestan con el constante deterioro de la calidad productiva y elevadas pérdidas económicas (Bové, 2006). La enfermedad se documentó por vez primera en Guagdong, China en 1919, y desde entonces se encuentra ampliamente distribuida en la región (Tu, 1932), décadas más tarde, se identificó al agente causal, descrito como *Candidatus* Liberibacter asiaticus (*C*Las) (Jagoueix *et al*, 1994). Por su parte, el primer reporte del HLB en México se realizó en julio de 2009 en el municipio de Tizimín, Yucatán (Trujillo, 2010), y actualmente se encuentra distribuida en todas las regiones citrícolas del país. El limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) es la variedad cultivada más importante de cítricos ácidos en México (Cauich *et al*., 2020) siendo el estado de Veracruz el principal productor y exportador de limón persa en el país, con Martínez de la Torre como el principal municipio citrícola del estado (Cauich *et al*., 2020), sin embargo, el limón persa se encuentra entre las principales especies de cítricos cultivadas afectadas directamente por el HLB (Santivañez *et al.*, 2013) por lo que la presencia de la enfermedad se vislumbra como una amenaza para la citricultura local. El ácido salicílico es una de las fitohormonas responsables de regular el crecimiento y desarrollo vegetal, la germinación de semillas, producción de frutos, senescencia, cierre de estomas, termogénesis, fotosíntesis y respiración (Klessig *et al*., 2018) siendo la principal fitohormona responsable de inducir y regular la resistencia sistémica adquirida frente a la infección por patógenos biotróficos como *C*Las (Yang *et al*., 2015). En este sentido, la resistencia sistémica adquirida se caracteriza por ser de amplio espectro y

transitoria, desencadenada por la identificación de efectores de patogenicidad de patógenos biotróficos, hemibiotróficos y necrotróficos promoviendo la regulación transcripcional de genes de resistencia (*Rs*) y la síntesis de proteínas de patogenicidad (PRs) (Delgado-Oramas, 2020). En la resistencia sistémica adquirida participan diferentes moléculas de señalización, siendo las proteínas de unión a ácido salicílico (SABP, por sus siglas en inglés) de las principales moléculas involucradas en la ruta de señalización de ácido salicílico que induce la resistencia sistémica adquirida (Pokotylo *et al*., 2019). A la fecha, han sido identificadas tres proteínas SABPs en *Nicotiana tabacum,* así como sus homólogas en *Arabidopsis thaliana* (Pokotylo *et al*., 2019), dichas proteínas fungieron como referentes para la identificación, búsqueda de homología y la reconstrucción 3D de las proteínas SABPs en *Citrus latifolia,* por lo que, los objetivos del presente trabajo fueron: a) identificar los genes homólogos a *NtSABPs* y *AtSABPs* en el transcriptoma de muestras de limón persa sanas e infectadas con *C*Las mediante análisis BLAST y filogenéticos y b) evaluar la expresión de los genes *SABPs* en el transcriptoma de limón persa sano con respecto al infectado con *C*Las; esto debido a que en limón Persa se desconocen los homólogos SABPs, así como si existe una expresión diferencial de los genes que codifican para dichas proteínas durante la infección con *C*Las logrando que los resultados obtenidos en este estudio funjan como los primeros referentes en materia de transcriptómica y filogenética de genes *SABPs* en árboles de limón Persa en México.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El tejido vegetal de árboles de limón Persa con y sin HLB, se colectó en una parcela experimental de 6 años de edad instalada en el Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP en Tlapacoyan, Ver., mediante un diseño experimental completamente al azar. La parcela experimental se encuentra en las coordenadas 20°2'43.92" N, 97° 5'44.37" O (Figura 1). Se identificaron y colectaron hojas en etapa de madurez fisiológica V6 de acuerdo con la escala de Ribeiro *et al*., (2021) de plantas con sintomatología evidente de HLB y de plantas sanas, las muestras se etiquetaron y almacenaron inmediatamente en nitrógeno líquido.



Figura 1. Parcela del Campo Experimental Ixtacuaco en donde fue colectado el material vegetal de limón Persa sintomático y asintomático para HLB.

Identificación de *Candidatus* Liberibacter asiaticus

Para corroborar la presencia de *C*Las en las muestras colectadas se realizó la extracción de ADN mediante el método CTAB (Rodríguez-Quibrera *et al*., 2010), por lo que las hojas de limón Persa se lavaron y secaron con toallas de papel, posteriormente, las nervaduras centrales se molieron con nitrógeno líquido, el tejido molido se colocó en microtubos de 2ml. Se adicionó 1.4 ml de solución de extracción (2% de 2-mercaptoethanol + 2% de p/v CTAB, 0.1 M TRIS HCI pH 8.0, 0.02 M EDTA pH, 1.4 M NaCI, 1% p/v polyvinylpyrrolidona) y se incubó durante 2 horas con vórtex cada 30 minutos. Se transfirieron 800 µL del sobrenadante a un tubo nuevo de 2 ml, se adicionó cloroformo: alcohol isoamílico (24:1) y se homogeneizó por inversión. Se centrifugó y recuperó el sobrenadante en un tubo nuevo de 1.5 ml al que se le adicionaron 250 µL de acetato de amonio 7.5. M y 300 µL de alcohol isopropílico. Se precipitó durante 45 minutos a -20°C. Se centrifugó y desechó el sobrenadante cuidadosamente evitando el desprendimiento de la pastilla. Se lavó dos veces con etanol frío al 70%. Se dejó secar las muestras a temperatura ambiente y se resuspendieron en 50 µL de agua grado biología molecular. Finalmente, se determinó la calidad e integridad del ADN mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% y espectrofotometría NanoDrop.

Extracción de ARN

La extracción de ARN de limón Persa se realizó con TRIzol Reagent®, en donde el tejido fue congelado y macerado con nitrógeno líquido. Posteriormente, se añadieron 0,5 mL de isopropanol por cada mL de TRIzol. Se centrifugó durante 10 minutos a 12.000 × g a 4°C y se descartó el sobrenadante con micropipeta. Se resuspendió el pellet en 1 mL de etanol al 75%. Se centrifugó durante cinco minutos a 7500 × g a 4°C y se desechó el sobrenadante con micropipeta. La pastilla se secó durante 5-10 minutos a temperatura ambiente y se resuspendió en 50 µL de agua grado biología molecular. Finalmente, se corroboró la calidad del ARN extraído mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5% teñido con bromuro de etidio y luz UV, y se determinó la concentración y pureza mediante la relación de absorbancia 260/230 y 260/280 con espectrofotometría NanoDrop.

Secuenciación del transcriptoma de limón Persa con y sin HLB

El ARN total extraído se envió a la Unidad Universitaria de Secuenciación Masiva y Bioinformática (UUSMB) del Instituto de Biotecnología de la UNAM para la síntesis y secuenciación de bibliotecas de ADNc. En total, se secuenciaron 6 librerías de ADNc, tres de plantas infectadas y tres de plantas sanas. Se utilizó la plataforma Illumina Nextseq 500 para la generación de secuencias de 75 pb en promedio (paired end). Posteriormente, el ensamble *de novo* del transcriptoma se realizó con el software Trinity versión 2.4. y se evaluó la calidad del ensamblado mediante el número de contigs, media y mediana de los contigs y N50. Los genes expresados diferencialmente (DGE´s) se identificaron mediante el mapeo de lecturas contra el transcriptoma ensamblado en el software Bowtie2.

Busqueda de genes *SABPs* en el transcriptoma de limón Persa

Se recuperaron las secuencias verificadas de las proteínas SABP1, SABP2 y SABP3 de las especies *Nicotiana tabacum* y *Arabidopsis thaliana* en la base de datos UniProt de acuerdo con Pokotylo *et al*. (2019). Posteriormente, con base en las secuencias de cada una de las proteínas SABP de *Nicotiana tabacum* se realizó la búsqueda de proteínas SABP de las especies *Marchantia polymorpha* y *Citrus sinensis.* En seguida, se realizaron archivos tipo fasta con las secuencias proteicas de SABP1, SABP2 y SABP3 de las cuatro especies. Cada archivo fungió como semilla de búsqueda para cada uno de los genes por lo que se realizaron análisis tBLASTn contra el transcriptoma ensamblado de limón persa mediante línea de

comandos en el sistema operativo Linux. Los análisis BLAST se paralelizaron con 10 threads e incluyeron 1e-5.

Reconstrucción filogenética y 3D de las proteínas SABP

Se realizó la reconstrucción filogenética para cada tipo de proteína SABP mediante Máxima Parsimonia en el software MEGA11 con el algoritmo Subtree-Pruning-Regrafting (SPR) incluyendo los siguientes parámetros: gaps para todos los sitios, 10 semillas iniciales de búsqueda y un máximo de 100 árboles retenidos, además, se evaluaron las topologías recuperadas mediante un remuestreo con Bootstrap de 1000 réplicas. Por otra parte, se recuperó la estructura 3D de cada una de las proteínas SABPs de *Nicotiana tabacum* directamente de UniProt, y posteriormente, se generó la reconstrucción 3D y la predicción de las hélices transmembrana de las proteínas SABPs de *Citrus latifolia* mediante las opciones por defecto en el servidor Phyre2, los resultados se visualizaron con las herramientas disponibles en el servidor de EzMol de acuerdo con el protocolo descrito por Flores-de la Rosa *et al*., (2020).

Resultados y Discusión

Identificación *in silico* de genes *SABP*

Debido a que el sistema inmune de las plantas es exclusivamente innato a diferencia de algunos animales mamíferos que exhiben inmunidad adaptativa (Jones y Dangl, 2006), se han descrito diversos mecanismos de defensa morfológicos, físicos y bioquímicos involucrados en la respuesta inmune. En este contexto, los mecanismos de defensa frente a patógenos biotróficos como *C*Las están regulados en mayor medida por la biosíntesis y señalización de ácido salicílico (Yang *et al*., 2015), involucrando diferentes moléculas de señalización tales como las proteínas SABP capaces de interactuar con el ácido salicílico, dichas proteínas han sido reportadas en especies modelo como *Nicotiana tabacum* y *Arabidopsis thaliana* durante la respuesta inmune (Pokotylo *et al*., 2019), sin embargo, con excepción de una posible proteína SABP2 identificada en *Citrus sinensis* (Lima-Silva *et al*., 2019) poco es lo que se conoce sobre estas proteínas en especies de cítricos de importancia económica como el limón persa. Por consiguiente, se realizó la búsqueda e identificación *in silico* de genes *SABPs* en

limón persa mediante análisis múltiples tBLASTn con cada una de las secuencias proteicas de SABP1, SABP2 y SABP3 de las especies *Nicotiana tabacum*, *Arabidopsis thaliana*, *Marchantia polymorpha* y *Citrus sinensis,* mismas que permitieron identificar y recuperar secuencias nucleotídicas de genes *SABPs* expresados durante la infección con HLB. Se recuperaron dos transcritos para *SABP1*, cuatro para *SABP2* y dos para *SABP3* en el transcriptoma de limón persa, de los que se asumió posible parentesco filogenético con relación a *NtSABPs* y *AtSABPs* de acuerdo con las regiones conservadas observables antes y después del alineamiento múltiple de secuencias.

Reconstrucción filogenética de los homólogos *SABPs*

La reconstrucción de Máxima Parsimonia de la proteína que codifica para el gen de limón Persa *ClSABP1* sugiere que presenta homología filogenética con *NtSABP1* (Figura 2A). Se ha descrito que dicho gen codifica para una enzima catalasa 2 (CAT2) en *Arabidopsis thaliana* que participa en la respuesta defensiva regulada por ácido salicílico degradando las especies reactivas de oxígeno producto de la respuesta hipersensible (Chen *et al*., 1993; Vlot *et al*., 2008), por lo que en elevadas concentraciones de esta fitohormona se reprime la actividad enzimática de CAT2, produciendo un incremento de la efectividad de la repuesta defensiva contra patógenos biotróficos. Mientras que, con la reconstrucción filogenética de la proteína SABP2 se propone la identidad del gen *ClSABP2* como homólogo a *NtSABP2* (Figura 2B), por lo que se infiere una alta homología funcional y estructural de ambas proteínas en relación con la biosíntesis y el incremento de ácido salicílico en *Nicotiana tabacum* y *Citrus latifolia* durante la respuesta inmune, SAB2, ha sido caracterizada como una metil-salicilato esterasa involucrada en la respuesta inmune mediante la síntesis de salicilato de metilo en ácido salicílico (Forouhar *et al*., 2005) y de acibenzolar-S-metilo en acibenzolar (Tripathi *et al*., 2010), ambas necesarias durante la inducción de la resistencia sistémica adquirida. Por último, se encontró que la secuencia de la proteína codificada por el gen *SABP3* en *Citrus latifolia* es estructuralmente homogénea con la codificada por el gen *NtSABP3*, muy posiblemente debido a las regiones conservadas (Figura 2C). La proteína SABP3 ha sido caracterizada como una anhidrasa carbónica β localizada en los cloroplastos, que participa en la regulación de los niveles de CO_2 durante la fotosíntesis y presenta actividad antioxidante durante la respuesta hipersensible (Slaymaker *et al*., 2002).

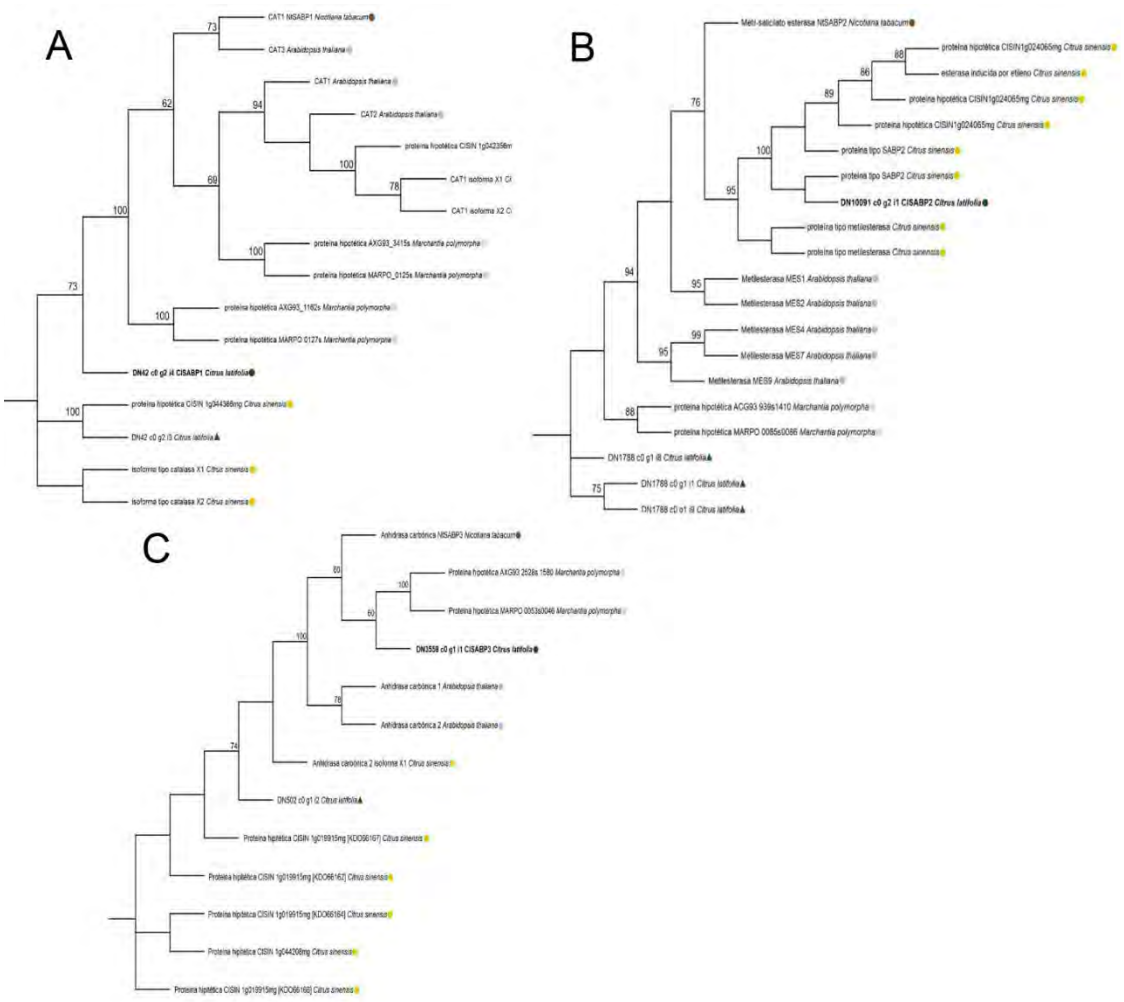


Figura 2. Árbol de Máxima Parsimonia (1000 bootstrap) de las secuencias homólogas a los genes *SABPs* de *Citrus latifolia* con respecto a *Nicotiana tabacum.* A) ClSABP1, B) ClSABP2, C) ClSABP3. En todos los casos las secuencias de limón Persa se resaltan con símbolos verdes.

Expresión de genes *SABP1, SABP2* y *SABP3* en árboles de limón Persa con HLB

Los resultados del análisis DESeq2 sugieren una ligera represión del gen *ClSABP1* en las plantas de limón persa infectadas con HLB, sin embargo, dicho valor no es estadísticamente significativo (-0.5 LongFCLog2). Durante la infección por *C*Las la concentración de especies reactivas de oxígeno; como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), se incrementa producto de la represión de la actividad enzimática de la catalasa permitiendo el desarrollo de la respuesta hipersensible (Pitino *et al*., 2017), por lo que la inhibición del gen *ClSABP1* podría ser consecuencia de la patogénesis de *C*Las o producto de los mecanismos de defensa de la

planta, por lo que es necesario realizar más estudios para corroborar ambas hipótesis (Figura 3).

El gen *ClSABP2* codifica para una enzima metil-salicilato esterasa promoviendo la síntesis de ácido salicílico a partir de salicilato de metilo (Forouhar *et al*., 2005) se encontró ligeramente reprimido (-0.54 LongFCLog2), en un estudio en *Citrus sinensis* se reportó la expresión a la baja de genes *ICS* y *PAL* responsables de la biosíntesis de ácido salicílico durante la infección con *C*Las, lo que podría estar relacionado con la capacidad de metabolizar ácido salicílico por parte de *C*Las debido a la presencia de una enzima salicilato hidroxilasa funcional, dicho fenómeno podría explicar la represión de *ClSABP2,* lo que facilitaría la infección de *C*Las en limón persa (Figura 3).

Por último, el gen *ClSABP3* que codifica para una anhidrasa carbónica β (Slaymaker *et al*., 2002) se encontró reprimido en menor medida (-0.29 LongFCLog2), dicha condición se ha reportado en *Citrus paradisi* durante la infección con *C*Las, lo que podría estar relacionado con la fijación de CO_2 repercutiendo negativamente en la capacidad fotosintética, induciendo clorosis, una de las principales alteraciones fisiológicas del HLB (Nwugo *et al*., 2013) (Figura 3).

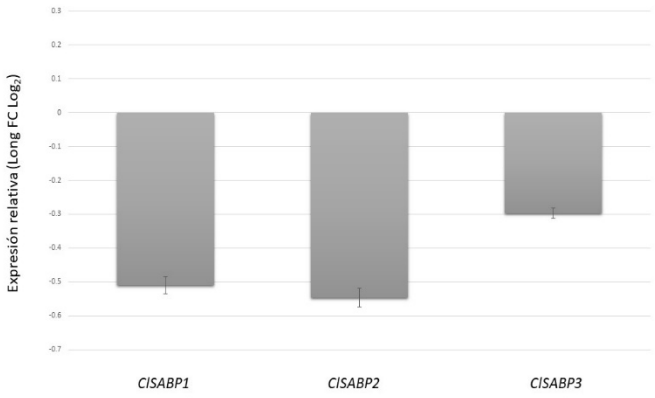


Figura 3. Expresión relativa de los genes *ClSABP1*, *ClSABP2* y *ClSABP3* en limón persa infectado con HLB respecto a una planta sana de acuerdo al análisis DESeq2.

Reconstrucción 3D de las proteínas SABPs

Los resultados de la reconstrucción *in silico* de la estructura 3D de las proteínas ClSABP1, ClSABP2 y ClSABP3 en el servidor Phyre2 (Protein Homology/analogY Recognition Engine V2.0) demuestran que las tres proteínas ClSABP comparten alta similitud estructural con

respecto a NtSABP1, NtSABP2 y NtSABP3 (Figura 4); lo que corrobora la homología en los análisis de reconstrucción filogenética.

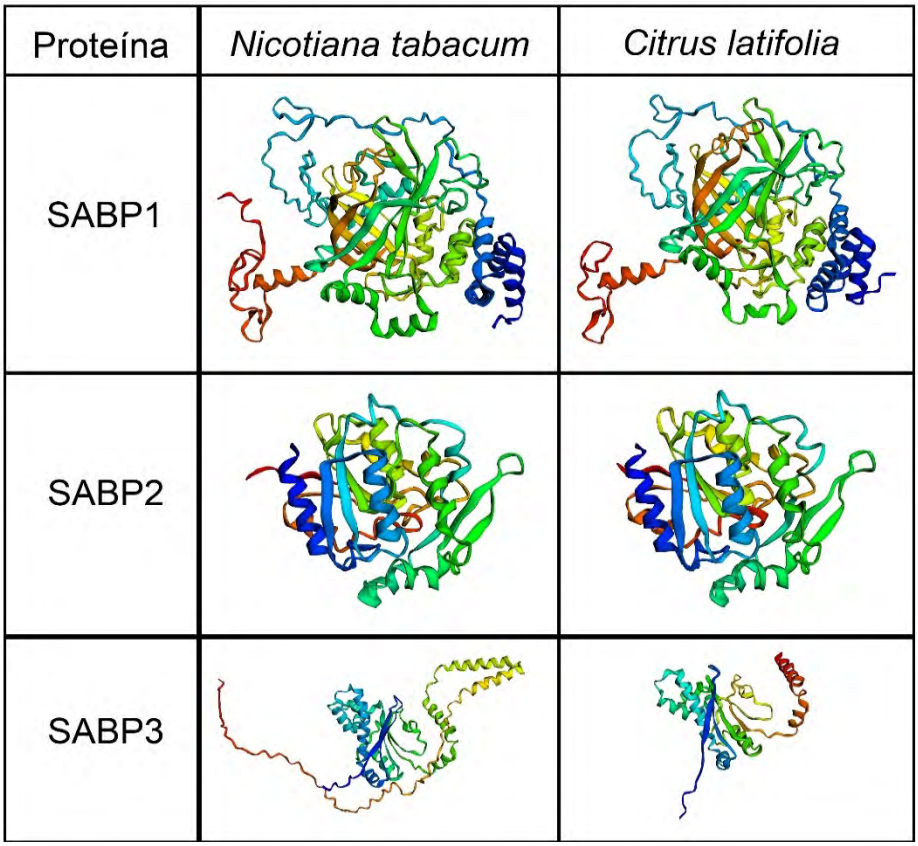


Figura 4. Comparación estructural de los modelos 3D de las proteínas ClSABP con respecto a las reportadas en *Nicotiana tabacum*.

Conclusiones

Los genes *ClSABP1*, *ClSABP2* y *ClSABP3* están presentes en el transcriptoma de plantas de limón persa sanas e infectadas con *Candidatus* Liberibacter asiaticus y son homólogos a los genes *SABPs* de *Nicotiana tabacum* y *Arabidopsis thaliana*.

Durante la infección con HLB, los genes *ClSABP1*, *ClSABP2* y *ClSABP3* se encuentran ligeramente reprimidos, aunque sin significancia estadística.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico por el financiamiento al proyecto 15 1906/2021 “Transcriptómica de limón Persa infectado con HLB y caracterización genómica del agente causal, *Candidatus* Liberibacter asiaticus”.

Literatura Citada

Bové, J. M. 2006. Huanglongbing: A destructive, newly emerging, century-old disease of citrus. J. Plant Path. 88: 7-37.

Cauich, I. C., J. F. G. Rodríguez y V. G. P. Fernández. 2020. Caracterización de la producción de limón persa en el municipio de Misantla, Veracruz, México. p 9-28. En Pérez, F., R. M.

García., L. Godínez., M. Jiménez. (eds.). Producción y agronomía. Primera edición. Ciudad de México, México: Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIIA, A.C.).

Chen, Z., J. W. Ricigliano and D. F. Klessig. 1993. Purification and characterization of a soluble salicylic acid-binding protein from tobacco. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 90(20): 9533-9537.

Delgado-Oramas, B. P. 2020. La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. Rev. Prot. Veg. 35(1): 1-12.

Flores-de la Rosa, F. R., C. G. Rodríguez-Quibrera, C. Matilde-Hernández and R. Santillán-Mendoza. 2020. Bioinformatic analysis of potential pathogenicity effectors of *Candidatus* Liberibacter asiaticus, causal agent of citrus Huanglongbing. Am. J. Plant Sci. 11(8): 1319-1330.

Forouhar, F., Y. Yang, D. Kumar, Y. Chen, E. Fridman, S. W. Park. *et al*. 2005. Structural and biochemical studies identify tobacco SABP2 as a methyl salicylate esterase and implicate it in plant innate immunity. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 102(5): 1773-1778.

Gottwald, T. R., J. V. D. Graça and R. B. Bassanezi. 2007. Citrus huanglongbing: the pathogen and its impact. Plant Health Prog. 8(1): 31.

Jagoueix, S., J. M. Bové and M. Garnier. 1994. The phloem-limited bacterium of greening disease of citrus is a member of the α subdivision of the Proteobacteria. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 44(3): 379-386.

Klessig, D. F., H. W. Choi and D. M. A. Dempsey. 2018. Systemic acquired resistance and salicylic acid: past, present, and future. Mol. Plant-Microbe Interact. 31(9): 871-888.

Lima Silva, C. C. D., H. M. Shimo, R. de Felício, G. F. Mercaldi, S. A. Rocco and C. E. Benedetti. 2019. Structure-function relationship of a citrus salicylate methylesterase and role of salicylic acid in citrus canker resistance. Sci. Rep. 9(1): 1-12.

Nwugo, C. C., H. Lin, Y. Duan and E. L. Civerolo. 2013. The effect of '*Candidatus* Liberibacter asiaticus' infection on the proteomic profiles and nutritional status of pre-symptomatic and symptomatic grapefruit (*Citrus paradisi*) plants. BMC Plant Biol. 13(1): 1-24.

Pitino, M., C. M. Armstrong and Y. Duan. 2017. Molecular mechanisms behind the accumulation of ATP and H_2O_2 in citrus plants in response to '*Candidatus* Liberibacter asiaticus' infection. Hortic. Res. 4: 1-8.

Pokotylo, I., V. Kravets and E. Ruelland. 2019. Salicylic acid binding proteins (SABPs): The hidden forefront of salicylic acid signalling. Int. J. Mol. Sci. 20(18): 1-20.

Ribeiro, C., J. Xu, D. Teper, D. Lee and N. Wang. 2021. The transcriptome landscapes of citrus leaf in different developmental stages. Plant Mol. Biol. 106(4): 349-366.

Rodríguez-Quibrera, C. G., E. I. Alanís Martínez., J. J. Velázquez Monrreal e I. H. Almeyda-León. 2010. Optimización de la Técnica de Extracción del ADN de plantas de cítricos para el diagnóstico del HLB. En 1er Simposio Nacional sobre Investigación sobre el Manejo del Psílido asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México, Monterrey, Nuevo León.

Santivañez, T., G. Mora-Aguilera, G. Díaz-Padilla, J. I. López-Arrollo y P. Vernal-Hurtado. 2013. Citrus: Marco estratégico para la gestión regional del Huanglongbing en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. p 76.

Slaymaker, D. H., D. A. Navarre, D. Clark, O. del Pozo, G. B. Martin and D. F. Klessig. 2002. The tobacco salicylic acid-binding protein 3 (SABP3) is the chloroplast carbonic anhydrase, which exhibits antioxidant activity and plays a role in the hypersensitive defense response. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 99(18): 11640-11645.

Tripathi, D., Y. L. Jiang and D. Kumar. 2010. SABP2, a methyl salicylate esterase is required for the systemic acquired resistance induced by acibenzolar-S-methyl in plants. FEBS Lett. 584(15): 3458-3463.

Trujillo, A. J. 2010. Situación Actual, Regulación y Manejo del HLB en México. Memorias del 2° Taller Internacional del Huanglongbing y el Psílido asiático de los cítricos. Mérida, Yucatán, México p. 141-149.

Tu, C. 1932. Notes on diseases of economic plants in South China. Lingnan Sci. Jour. 11: 489-504.

Vlot, A. C., P. P. Liu, R. K. Cameron, S. W. Park, Y., Yang, D. Kumar. *et al.* 2008. Identification of likely orthologs of tobacco salicylic acid-binding protein 2 and their role in systemic acquired resistance in *Arabidopsis thaliana*. Plant J. 56(3): 445-456.

Yang, L., B. Li, X. Y. Zheng, J. Li, M. Yang, X. Dong, G. He, C. An and X. W. Deng. 2015. Salicylic acid biosynthesis is enhanced and contributes to increased biotrophic pathogen resistance in *Arabidopsis* hybrids. Nat. Commun. 6(1): 1-12.

GENOTIPIFICACIÓN DE *Vanilla planifolia* JACKS DE LA REGIÓN DEL TOTONACAPAN MEDIANTE ANÁLISIS ISSR

Ricardo Santillán Mendoza[1]*, Juan Hernández Hernández[1], Perla Santos Francisco[2], Felipe Flores de la Rosa[1], Gerardo Rodríguez Alvarado[3], Sylvia Fernández Pavía[3], Cristian Matilde Hernández[1] y Humberto Estrella Maldonado[1]

Resumen

Vanilla es el único género de plantas de la familia Orchidaceae que es usada en la industria alimentaria, siendo el saborizante de mayor uso a nivel mundial y el segundo de mayor valor económico. El cultivo es de gran importancia biocultural en la región del Totonacapan, en el estado de Veracruz, debido a que esta región es considerada su centro de origen y distribución. Sin embargo, poco es lo que se conoce respecto a su diversidad genética presente en esta zona, lo cual es de vital importancia para el mejoramiento de este cultivo. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue realizar la genotipificación de 60 accesiones de *Vanilla planifolia* del Banco de Germoplasma del INIFAP Campo Experimental Ixtacuaco, las cuales fueron seleccionadas y colectadas en la región del Totonacapan. Para lo anterior, se determinó el número de genotipos de *V. planifolia* basado en marcadores moleculares tipo ISSR (Secuencias Repetidas Simples Internas). Se evaluaron tres protocolos de extracción de ADN de plantas y hongos descritos en la literatura y se adecuó un cuarto protocolo con diferentes procedimientos de los protocolos anteriores, buscando obtener una concentración alta y buena calidad e integridad. Una vez obtenido el ADN de calidad, se evaluaron catorce oligonucleótidos ISSR, de los cuales se seleccionaron los tres oligonucleótidos que presentaron un mayor número de bandas amplificadas. Posteriormente se realizó la genotipificación de las 60 accesiones, obteniendo como resultado nueve genotipos con el oligonucleótido 808 y seis genotipos con los oligonucleótidos 812 y 856. Estos resultados permitieron la genotipificación de las accesiones de *Vanilla planifolia* con marcadores ISSR, lo

[1] Campo Experimental Ixtacuaco, CIR Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *santillan.ricardo@inifap.gob.mx
[2] Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Ingeniería en Agrobiotecnología.
[3] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Patología Vegetal, IIAF.

que en un futuro ayudará a evaluar la diversidad genética de este cultivo en la región del Totonacapan.

Palabras clave: vainilla, secuencias repetidas simples internas, diversidad genética

Introducción

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) es un miembro de la familia de las orquídeas, que se caracteriza por ser un bejuco epifito de flores amarillas y verdosas. Tradicionalmente se le conoce con los nombres náhuatl Ixtlilxochitl o Tlilxóchitll (flor negra) o en totonaco Xanath (flor recóndita). Recibió el nombre de "vainilla" por los españoles, debido a que sus frutos tienen un tamaño de 15 a 30 cm de largo y tienen semejanza a las vainas de espada. Se considera que las semillas de los frutos fragantes son dispersadas por murciélagos (Soto-Arenas 2006; Hernández-Hernández, 2011).

La vainilla es la segunda especie más cara a nivel mundial, solo después del azafrán (*Crocus sativus*). Sin embargo, es considerado el sabor y aroma más popular en el mundo. Tiene un aroma exótico y evocador que puede actuar como sabor individual o como complemento de otros sabores como el chocolate (Soto-Arenas, 2006).

Actualmente la producción de vainilla se basa en la propagación vegetativa y la polinización manual. Estas condiciones traen consigo una disminución en la variación genética de los cultivares, como resultado de la casi nula emergencia de individuos provenientes de la recombinación sexual, por lo que, la vainilla actualmente se encuentra enlistada en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) en la categoría de alto grado de erosión genética (CITES, 2019).

La diversidad genética, de la especie es una de las formas de la biodiversidad que debe ser conservada, la cual se define como las variaciones hereditarias que ocurren en cada organismo, entre los individuos de una población y entre las poblaciones dentro de una especie (Piñero *et al*., 2008). En la actualidad, se conoce que la mayor parte del material de siembra de vainilla se originó a partir de una fuente clonal limitada, por lo tanto la conservación del acervo genético de la vainilla es de vital importancia, es por ello que, en el presente trabajo se

analizaron sesenta accesiones de vainilla, pertenecientes al Banco de Germoplasma de Vainilla del INIFAP, Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA), las cuales fueron colectadas en diferentes localidades de la región del Totonacapan en el estado de Veracruz, con el objetivo de caracterizarlas genéticamente mediante su genotipificación empleando análisis de secuencias repetidas simples internas (ISSR). Estos resultados son de gran importancia para identificar los individuos que sean genéticamente diferentes, los cuales serán utilizados en estrategias como la identificación de poliformismos únicos de ADN asociados a posibles características agronómicas sobresalientes del cultivo en investigaciones posteriores.

Materiales y Métodos

Obtención de material vegetal

Las colectas del tejido de vainilla se realizaron en el mes de junio del año 2021. Las plantas de *Vanilla planifolia* muestreadas pertenecen al Banco de Germoplasma de Vainilla del INIFAP, Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA), las cuales a su vez fueron colectadas en diferentes localidades de la región del Totonacapan, en el estado de Veracruz. La colecta de material vegetal consistió en una hoja por individuo. La mayoría del tejido colectado fue de hojas jóvenes, cada hoja fue colocada en papel aluminio y almacenada en bolsas de plástico etiquetadas. Los sitios de colecta en el estado de Veracruz se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Accesiones de *V. planifolia* de la región del Totonacapan resguardadas en el Banco de Germoplasma del CEIXTA.

Muestra	Genotipo	Morfotipo	Municipio	Muestra	Genotipo	Morfotipo	Municipio
1	1	Rayada	Papantla	**31**	6	Rayada	Tecolutla
2	2	Rayada	Papantla	**32**	3	Mansa	Tlapacoyan
3	3	Mansa	Papantla	**33**	6	Mansa	Tlapacoyan
4	3	Oreja de Burro	Papantla	**34**	6	Mansa	Pantepec, Pue.
5	3	Mansa	Papantla	**35**	6	Mansa	San Rafael
6	3	Mansa	San Rafael	**36**	6	Mansa	Tlapacoyan
7	1	Mansa	San Rafael	**37**	3	Mansa	Papantla
8	3	Mansa	Papantla	**38**	3	Mansa	Tecolutla

Continúa Cuadro 1…

Muestra	Genotipo	Morfotipo	Municipio	Muestra	Genotipo	Morfotipo	Municipio
9	2	Mansa	Papantla	**39**	3	Mansa	San Rafael
10	1	Mansa	Papantla	**40**	3	Mansa	San Rafael
11	5	Mansa	Papantla	**41**	3	Mansa	Papantla
12	4	Mansa	Tecolutla	**42**	3	Mansa	San Rafael
13	5	Mansa	Tlapacoyan	**43**	3	Mansa	Papantla
14	3	Oreja de Burro	Papantla	**44**	3	Mansa	Gtz. Zamora
15	3	Oreja de Burro	Papantla	**45**	8	Rayada	Tlapacoyan
16	3	Oreja de Burro	Papantla	**46**	3	Mansa	Gtz. Zamora
17	3	Oreja de Burro	Papantla	**47**	8	Mansa	Tecolutla
18	5	Oreja de Burro	Papantla	**48**	8	Mansa	Tecolutla
19	3	Mansa	San Rafael	**49**	9	Mansa	Tecolutla
20	6	Mansa	Tlapacoyan	**50**	6	Mansa	Papantla
21	6	Mansa	Gtz. Zamora	**51**	6	Mansa	Papantla
22	3	Mansa	Tecolutla	**52**	6	Mansa	Papantla
23	7	Mansa	Papantla	**53**	8	Mansa	Gtz. Zamora
24	2	Polén duro	Papantla	**54**	6	Mansa	Gtz. Zamora
25	3	Mansa	Papantla	**55**	8	Mansa	Gtz. Zamora
26	2	Mansa	San Rafael	**56**	3	Mansa	Gtz. Zamora
27	2	Mansa	Tlapacoyan	**57**	8	Polén duro	Papantla
28	2	Mansa	Tlapacoyan	**58**	8	Mansa	Tecolutla
29	2	Polén duro	Papantla	**59**	3	Mansa	Papantla
30	2	Mansa	Tlapacoyan	**60**	8	Mansa	Tecolutla

Genotipos obtenidos con base en el oligonucleótido ISSR-808.

Extracción de ADN genómico

Las hojas de vainilla se limpiaron con etanol al 70% y una toalla de papel estéril. El ADN fue extraído de las hojas usando el método de CTAB (modificado de Rodríguez-Quibrera *et al.,* 2010, y de Santillán-Mendoza *et al.,* 2018). Las hojas de vainilla se molieron con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino, evitando el descongelamiento del tejido, enseguida se colocaron ~0.5 g en un microtubo de 2 ml, se adicionaron 800 µl de Buffer de lisis (CTAB 2%, 0.2% de 2-mercaptoetanol) fueron incubadas a 65°C por 1 h, con agitación en vórtex cada 10

min durante aproximadamente 10 s. Se adicionó cloroformo-alcohol isoamílico 24:1 y se centrifugó a 13 000 rpm durante 15 min a 4°C. El sobrenadante recuperado se precipitó con acetato de amonio 7.5 M y alcohol isopropílico durante 16 h. Transcurrido el tiempo, se centrifugó y se desechó el sobrenadante cuidadosamente evitando el desprendimiento de la pastilla. La pastilla con el ADN se lavó dos veces con etanol frío al 70%. Las muestras de ADN se hidrataron con agua grado biología molecular estéril. La concentración del ADN fue determinada en un espectrofotómetro (NanoDrop 2000c) y la calidad fue evaluada mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% teñido con bromuro de etidio.

Análisis de Secuencias Repetidas Simples Internas (ISSR)

Los análisis ISSR se realizaron mediante la amplificación por PCR del ADN de las 60 accesiones de vainilla provenientes del Totonacapan. Las PCR se llevaron a cabo en un volumen total de 25 µl, usando 5 µl de 5X Green Go Taq Flexi Buffer (Promega, USA), 2.5 µl de $MgCl_2$ 25 mM, 1 µl de dNTPs (Promega, USA), 1 µl de oligonucleótido 10 pmol, 0.3 µl de Go Taq Flexi DNA polimerasa (5 u/µl) (Promega, USA), 14.2 µl de agua grado biología molecular y 1 µl de ADN (30 ng/µl). Las reacciones de PCR fueron realizadas en un Termociclador TC-412 de TECHNE, usando el siguiente programa: un ciclo inicial de desnaturalización a 94°C por 4 min, 35 ciclos de 94°C por 1 min, 48°C por 1 min, y 72°C por 2 min. La amplificación terminó con un paso final de elongación a 72°C por 7 min. Se realizaron corridas electroforéticas de los productos de PCR en geles de agarosa al 1.8%, teñidos con bromuro de etidio y corridos a 90 volts por 90 min. Las bandas de ADN se visualizaron usando un sistema de documentación en gel (Gel Doc™ EZ Imager, BioRad).

Todas las imágenes de los geles de agarosa fueron procesadas individualmente mediante el programa que viene preinstalado con el fotodocumentador Gel Doc™ EZ Imager de BioRad, con el cual se contabilizaron cada una de las bandas de ADN amplificadas mediante las reacciones de PCR-ISSR, con lo cual se obtuvo el número total de genotipos.

Resultados y Discusión

Selección de oligonucleótidos ISSR

Inicialmente se realizó un ensayo preliminar utilizando un grupo de 14 oligonucleótidos ISSR (Cuadro 2) diseñados previamente por la Universidad Británica de Columbia, lo cual permitió seleccionar los oligonucleótidos 808 [$(AG)_8C$], 812 [$(GA)_8A$], y 856 [$(AC)_8YA$], para la posterior caracterización de las 60 accesiones de vainilla, debido a que esos tres marcadores ISSR produjeron el mayor número de bandas de ADN amplificadas. La eficiencia de los oligonucleótidos en la búsqueda de genotipos diferentes, ya había sido previamente corroborada, en un estudio en donde se analizó la estructura poblacional y se distinguieron plantas de *V. planifolia* silvestres provenientes de la Península de Yucatán.

Cuadro 2. Oligonucleótidos ISSR utilizados para la genotipificación de las accesiones de vainilla (*Vanilla planifolia*).

Oligo ID	Oligonucleótido	Secuencia 5'-3'	Longitud (pb)	%GC	Tm °C
185454-1	**808**	**$(AG)_8C$**	**17**	**52.94**	**52**
186258-1	809	$(AG)_8G$	17	52.94	52
186258-2	**812**	**$(GA)_8A$**	**17**	**47.06**	**50**
186258-3	816	$(CA)_8T$	17	47.06	50
186258-4	818	(CA)G	17	52.94	52
186258-5	835	$(AG)_8YC$	18	52.78	55
186258-6	847	$(CA)_8RC$	18	52.78	55
186258-7	851	$(GT)_8YG$	18	52.78	55
186258-8	855	$(AC)_8YT$	18	47.22	53
186258-9	**856**	**$(AC)_8YA$**	**18**	**47.22**	**53**
186258-10	880	GGA GAG GAG AGG AGA	15	60	48
186258-11	881	GGG GTG GGG TGG GGT	15	80	54
186258-12	885	BHB $(GA)_7$	17	50.98	51.33
186258-13	891	HVH $T(GT)_6G$	17	49.02	50.67

Bases degeneradas: R= A+G, Y= C+T, H= A+T+C, B= G+T+C. %GC: Porcentaje (contenido de guanina y citosina) Tm: Temperatura de Fusión Negritas muestra los oligonucleótidos seleccionados.

Los oligonucleótidos 808, 809, 812, 855, 856, 880 fueron los que amplificaron un mayor número de bandas. Mientras que, los oligonucleótidos 816, 818, 835, 847, 851, 885 y 891 generaron muy poco bandeo. Únicamente, el oligonucleótido 881 no amplificó ni un solo fragmento de ADN. Mediante este análisis, se determinó que los oligonucleótidos adecuados para realizar los posteriores análisis ISSR del ADN genómico de vainilla son el 808, 812 y 856 (Figura 1).

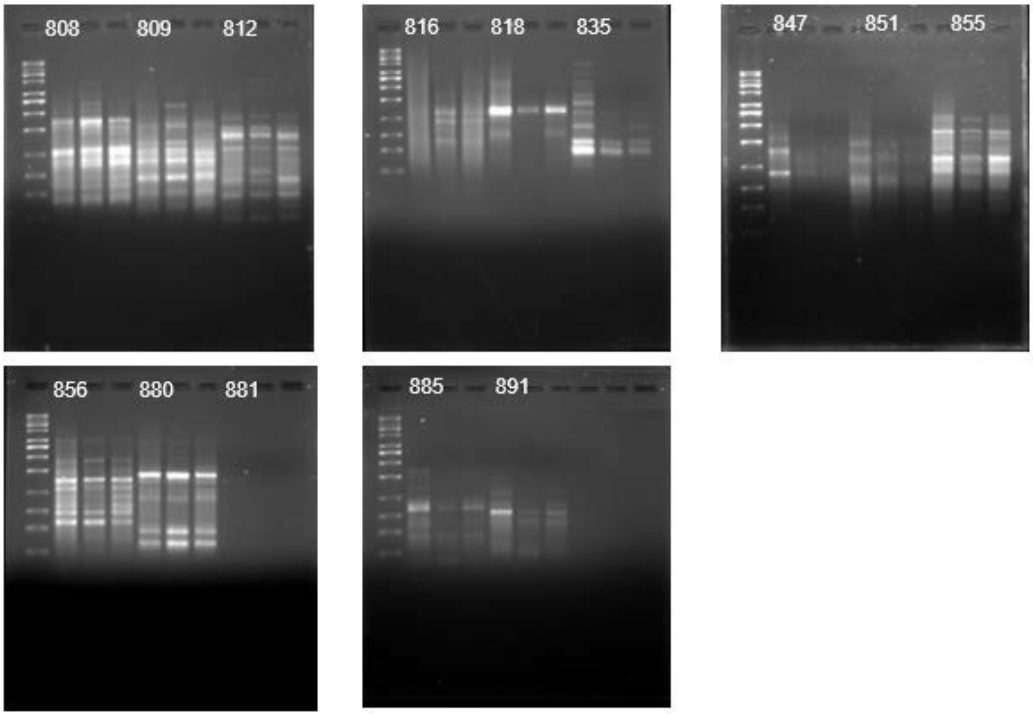


Figura 1. Selección de oligonucleótidos ISSR usados para la genotipificación de las sesenta accesiones de Vanilla planifolia.

Genotipificación de *V. planifolia* del Totonacapan

Un total de catorce oligonucleótidos ISSR fueron analizados para las sesenta accesiones de *V. planifolia*, de los cuales se seleccionaron los tres que generaron un mayor número de bandas amplificadas. El oligonucleótido 808 (Figura 2) mostró un total de nueve genotipos diferentes (Cuadro 1). Mientras que, con los oligonucleótidos 812 (Figura 3) y 856 (Figura 4) fue posible identificar seis genotipos diferentes. En general estos resultados nos indican de forma preliminar la existencia de diversidad genética en las accesiones de vainilla provenientes de la región del Totonacapan, lo cual podría servir para futuros estudios de mejoramiento

genético o selección de genotipos sobresalientes, sin embargo, estudios empleando un mayor número de marcadores ISSR, así como algún otro tipo de marcador molecular (RAPD), y sus respectivos análisis de diversidad y estructura poblacional son necesarios para esclarecer la existencia de poblaciones provenientes de fuentes diferentes a la reproducción asexual.

En general, se considera que la propagación por esqueje y la polinización manual ha afectado al acervo genético de la vainilla ocasionando que la diversidad genética de esta especie sea casi nula (Azofeifa-Bolaños, *et al.* 2014*)*. Sin embargo, los análisis ISSR comparando los patrones de bandeo entre las muestras, permitió inferir que no todas las poblaciones de vainilla (*V. planifolia*) presentes en la región del Totonacapan provienen de un mismo fondo genético; ya que, con el oligonucleótido 808 se obtuvieron nueve patrones de bandeo diferentes y con los oligonucleótidos 812 y 856 se obtuvieron seis patrones de bandeo diferentes. Por lo tanto, con el uso de los ISSR en el presente trabajo queda demostrado que, en la región del Totonacapan, si existe la presencia de al menos nueve genotipos, los cuales, son indicativo de la existencia de diversidad genética en esta especie.

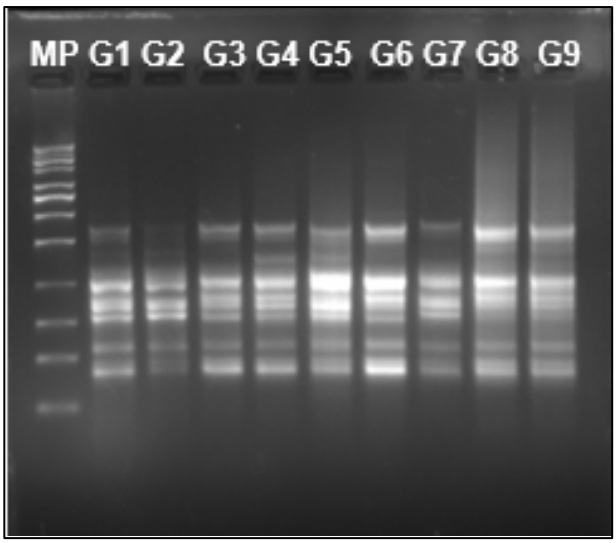


Figura 2. Gel mostrando los genotipos amplificados con el oligonucleótido 808 en vainillas de la región del Totonacapan. Carriles: MP, marcador de peso molecular 1 Kb, G1: genotipo 1 (amplificado en 3 muestras), G2: genotipo 2 (amplificado en 8 muestras), G3: genotipo 3 (amplificado en 24 muestras, G4: genotipo 4 (amplificado en 1 muestra), G5: genotipo 5 (amplificado en 3 muestras), G6: genotipo 6 (amplificado en 11 muestras), G7: genotipo 7 (amplificado en 1 muestra), G8: genotipo 8 (amplificado en 8 muestras), G9: genotipo 9 (amplificado en 1 muestra).

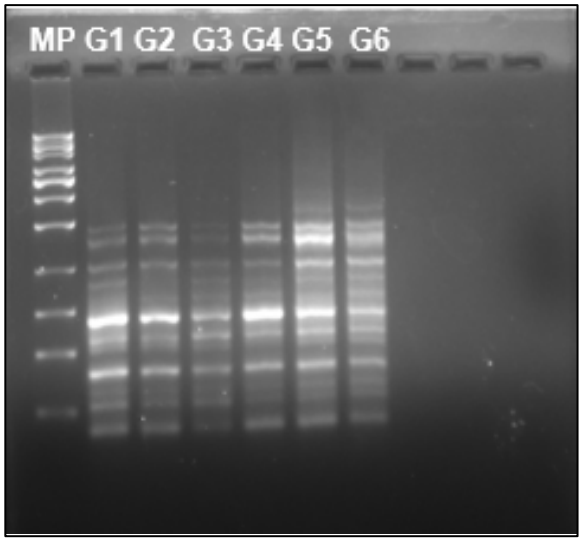


Figura 3. Imagen representativa con seis genotipos amplificados con el oligonucleótido 812 en vainillas la región del Totonacapan. Carriles: MP, marcador de peso molecular 1 Kb, G1: genotipo 1 (amplificado en 4 muestras), G2: genotipo 2 (amplificado en 18 muestras), G3: genotipo 3 (amplificado en 5 muestras), G4: genotipo 4 (amplificado en 29 muestras), G5: genotipo 5 (amplificado en 2 muestras), G6: genotipo 6 (amplificado en 2 muestras).

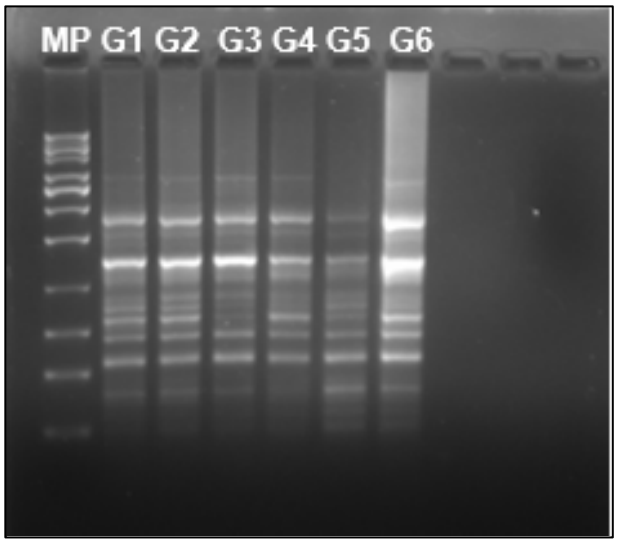


Figura 4. Genotipos amplificados con el oligonucleótido. Carriles: MP, marcador de peso molecular 1 Kb, G1: genotipo 1 (amplificado en 20 muestras), G2: genotipo 2 (amplificado en 24 muestras), G3: genotipo 3 (amplificado en 3 muestras), G4: genotipo 4 (amplificado en 6 muestras), G5: genotipo 5 (amplificado en 3 muestras), G6: genotipo 6 (amplificado en 4 muestras).

Conclusiones

Los marcadores ISSR seleccionados permitieron identificar entre seis y nueve genotipos diferentes entre las accesiones de vainilla (*V. planifolia*). Además, el uso de los ISSR podría sentar las bases para la generación de marcadores moleculares específicos para algún genotipo de interés agrícola. Sin embargo, es importante profundizar en la búsqueda de más marcadores moleculares polimórficos para la vainilla, ya que podría estarse omitiendo diversidad genética presente en las accesiones de vainilla, pero no detectable con los ISSR utilizados en este estudio, debido a su naturaleza dominante.

Agradecimientos

El tercer autor agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por permitirle realizar las actividades experimentales necesarias para la culminación de su proyecto de tesis.

Literatura Citada

Azofeifa-Bolaños, J. B., A. Paniagua-Vasquez y J. A. Garcia-Garcia. 2014. Importancia y desafíos de la conservación de *Vanilla* spp. (Orquidaceae) en Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana, 25: 1: 189-202.

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). 2019. Apéndice I.

Hernández-Hernández, J. 2011. Paquete tecnológico vainilla (*Vainilla planifolia* Jackson) establecimiento y mantenimiento. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Ixtacuaco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Piñero, D., J. Caballero-Mellado, D. Cabrera-Toledo, C. Canteros, A. Casas, A. Castañeda-Sortibrán, A. Castillo, R. Cerritos, O. Chassin-Noria, P. Colunga-García, P. Delgado, P. Díaz-Jaimes, L. Eguiarte, A. Escalante, B. Espinoza, A. Fleury, S. Flores-Ramírez, G. Fragoso, J. González-Astorga, V. Islas-Villanueva, E. Martínez, F. Martínez, J. Martínez-Castillo, A. Mastretta-Yanes, R. Medellín, L. Medrano-González, F. Molina-Freaner, B. Morales, A. Murguía, E. Payró, M. Reyes-Montes, M. Robles, G. Rodríguez-Arellanes, L Rojas, R. Romero-Martínez, J. Sahaza-Cardona, R. Salas, E. Sciutto, C. Baker, Y. Urrutia, C. Silva, V. Souza, M. Taylor, J. Urbán, M. Uribe-Alcocer, M. Vázquez, E. Vázquez-Domínguez, A. Vovides, A. Wegier, A. Zaldívar y G. Zúñiga. 2008. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México. p. 437-494.

Rodríguez-Quibrera, C. G., E. I. Alanís Martínez., J. J. Velázquez Monrreal e I. H. Almeyda-León. 2010. Optimización de la Técnica de Extracción del ADN de plantas de cítricos para el diagnóstico del HLB. En 1er Simposio Nacional sobre Investigación sobre el Manejo del Psílido asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México, Monterrey, Nuevo León.

Santillán-Mendoza, R., S. P. Fernández-Pavía, K. O'Donnell, R. C. Ploetz, R. Ortega-Arreola, G. Vázquez-Marrufo, J. Benítez-Malvido, J. C. Montero-Castro, A. Soto-Plancarte and G. Rodríguez-Alvarado. 2018. A Novel Disease of Big-Leaf Mahogany Caused by Two *Fusarium* Species in Mexico. Plant Dis. 102(10), 1965-1972.

Soto-Arenas, M. A. 2006. La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. CONABIO. Biodiversitas. 66: 2-9.

ANÁLISIS FILOGENÉTICO DE *Lasiodiplodia* spp. AISLADAS DE *Citrus aurantifolia* EN COLIMA, MÉXICO

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán[1*], Mario Orozco Santos[1], Karina de la Paz García Mariscal[1], Claudia Yared Michel López[2] y José Joaquín Velázquez Monreal[1]

Resumen

El limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) es uno de los cítricos ácidos más importantes de México. Este cultivo se ve afectado por una gran variedad de enfermedades de origen viral, bacteriano y fungoso. En este último grupo de fitopatógenos, recientemente se han observado en campo síntomas de muerte de ramas en árboles de limón mexicano en Colima, México. El objetivo de este trabajo fue realizar una primera aproximación taxonómica mediante análisis filogenético de cuatro aislamientos de *Lasiodiplodia* spp. que se obtuvieron de árboles enfermos de *C. aurantifolia* en Colima. Los aislamientos de los hongos se realizaron en 2019, se les realizó una extracción de DNA y posteriormente la PCR para amplificar las regiones espaciadoras intergénicas del rDNA (ITS). Estas regiones fueron secuenciadas por el método de Sanger y las secuencias fueron editadas para su alineamiento y posterior generación de un árbol filogenético de máxima verosimilitud. Los resultados indicaron que el aislamiento LT4 es homólogo a secuencias de *L. theobromae* y *L. brasiliense* por lo que se puede tratar de cualquiera de las dos especies que conformaron el clado II. Los siguientes tres aislados de este estudio se agruparon en el clado III. La identidad de los aislados LC27 y LC22 puede ser *L. pseudotheobromae* o *L. iraniensis*, mientras que la identidad de LC5 pueden ser las especies *L. iraniensis* o *L. jatrophicola*.

Los resultados están basados en la reconstrucción filogenética de una sola región (ITS) y en la comparación de la identidad y porcentaje de identidad nucleotídica de las secuencias que conformaron el árbol. Resulta necesario la reconstrucción filogenética con el concatenado de las regiones ITS, tef1 y tub2 para generar un nuevo árbol con mayor soporte que permita

[1] Campo Experimental Tecomán, INIFAP. Correo de correspondencia: bermudez.manuel@inifap.gob.mx
[2] Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California.

identificar plenamente el origen de las especies caracterizadas del género *Lasiodoplodia* aisladas de *C. aurantifolia*.

Palabras clave: filogenia, alineamiento, ITS, secuenciación

Introducción

El cultivo de limón, incluido el limón mexicano (*Citrus aurantifolia*), es uno de los más importantes en México. En el año 2021 la producción de estos cítricos alcanzó la cifra de 2’954,430 toneladas a nivel nacional con una derrama económica cercana a los 20 mil millones de pesos. Los principales estados productores de esta fruta son Veracruz, Michoacán, Oaxaca y Colima en el cuarto sitio a nivel nacional (SIAP, 2021). Una gran variedad de enfermedades infecciosas, causadas principalmente por hongos, bacterias y virus, afecta al cultivo de los cítricos, al reducir la producción, calidad del fruto y muchas veces al causan la muerte de los árboles, lo que se traduce finalmente en pérdidas económicas en la cadena agroindustrial (Orozco-Santos, 2001; Varela-Fuentes *et al*., 2013).

En la actualidad, una de las enfermedades que se ha presentado con frecuencia en campo es la llamada muerte descendente, la cual es ocasionada principalmente por *Lasiodiplodia* spp. El género *Lasiodiplodia* pertenece a la familia Botryosphaeriaceae y está formado por al menos 72 especies (NIH-NCBI). *Lasiodiplodia theobromae* es la especie más abundante y por tanto la más estudiada, se trata de un hongo cosmopolita que tiene un amplio rango de hospederos que incluye plantas monocotiledóneas, dicotiledóneas y gimnospermas (Coutinho *et al*., 2017). Las condiciones apropiadas para la colonización por hongos de *Lasiodiplodia* spp. está relacionada con ambientes caracterizados por climas cálidos y húmedos, condiciones similares a las regiones tropicales y subtropicales donde ocurre la citricultura a nivel mundial (Saunt, 1990). El objetivo de este trabajo fue caracterizar las cepas de *Lasiodiplodia* spp. aisladas de *C. aurantifolia* mediante un análisis filogenético para comparar su ubicación taxonómica con otras secuencias reportadas del mismo género.

Materiales y Métodos

Colecta, aislamiento y purificación de hongos

Se colectaron muestras de árboles de *Citrus aurantifolia* que presentaron muerte de ramas. Estos árboles están ubicados en el Campo Experimental Tecomán del INIFAP (18°58'4.37" LN y 103°50'37.92" LO). El aislamiento de los hongos se realizó según lo descrito por Vázquez *et al*. (2009) utilizando cajas Petri con medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA) suplementado con los antibióticos estreptomicina y cloranfenicol, ambos a una concentración de 60 µg/mL. Las placas Petri fueron incubadas a 28°C por hasta siete días.

Amplificación de regiones ITS por PCR

Se realizó la extracción de DNA a partir de 1 g de micelio utilizando el método clásico basado en el uso del CTAB según lo descrito por (Bermúdez-Guzmán *et al*., 2016). La cuantificación y pureza del DNA se midió con un espectrofotómetro NanoDrop 2000 (Thermo Scientific). La integridad del DNA genómico fue determinada con electroforesis en gel de agarosa al 1% con buffer TAE 1X conteniendo 5 µL de GelRed. El DNA fue visualizado con una fuente de luz UV. Las reacciones de amplificación por PCR tuvieron un volumen de 15 µL conteniendo 7.5 µL de REDTaq ReadyMixTM (Sigma Aldrich), 5 µL de DNA genómico (20 ng/µL), 1 µL de cada oligonucleótido (ITS1/ITS4) y 0.5 µL de agua grado molecular. Se utilizaron los oligonucleótidos ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) e ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) descritos previamente por (White.,1990).

Las condiciones con que se programó el termociclador (MultiGene Labnet) fueron: desnaturalización inicial a 95°C por 5 min, seguido de 32 ciclos de desnaturalización a 95°C por 30 s, alineamiento a 55°C por 30 s y extensión a 72°C por 60 s, y un ciclo de extensión final de 72°C por 10 min (Manter y Vivanco., 2007). Los productos de PCR fueron sometidos a electroforesis en gel de agarosa al 1.5% y se visualizaron de manera similar como se describió anteriormente. Un total de cuatro productos de PCR fueron secuenciados mediante el método de Sanger a través del servicio de Macrogen.

Análisis bioinformáticos

Las secuencias de DNA de cada muestra (forward y reverse) fueron ensambladas utilizando las herramientas de análisis de secuenciación de Sanger para generar una secuencia consenso, la cual fue empleada como molde para realizar una PCR *in silico* con los

oligonucleótidos ITS1/ITS4. El fragmento amplificado fue sometido a BLAST en la base de datos de NCBI y el resultado con mayor porcentaje de identidad fue alineado con la secuencia consenso. Con base a los cromatogramas se verificó la identidad de aquellos nucleótidos distintos dentro del alineamiento. Se repitió el mismo procedimiento para cada aislamiento secuenciado. Todos los análisis bioinformáticos se hicieron en la plataforma CLC Main Workbench versión 8.1 de QIAGEN.

Análisis filogenético

Las secuencias utilizadas para el análisis filogenético procedieron de publicaciones que emplearon previamente regiones ITS para el hongo *Lasiodiplodia* spp. y fueron descargadas de la base de datos de NCBI (Cuadro 1). La secuencia de *Neoscytalidium hyalinum* fue seleccionado como grupo externo. Los alineamientos múltiples de secuencias fueron realizados con MUSCLE y se usaron para la construcción de un árbol filogenético de máxima verosimilitud. El método de construcción del árbol se basó en el algoritmo UPGMA (Michener y Sokal, 1957), la distancia se estimó con el modelo de sustitución nucleotídico Kimura 80 + T y el análisis de "bootstrap" (Felsenstein, 1985) se efectuó con 1,000 réplicas. Los alineamientos de secuencias y el árbol filogenético fueron realizados con el software bioinformático de CLC Main Workbench versión 8.1 de QIAGEN.

Cuadro 1. Números de accesión de regiones ITS de *Lasiodiplodia* spp. descargadas de la base de datos de NCBI para la construcción del árbol filogenético.

Especie	Hospedero	País	Accesión
L. brasiliense	*Citrus latifolia*	México	MH277910
L. brasiliense	*Citrus latifolia*	México	MH277911
L. brasiliense	*Citrus latifolia*	México	MH277912
L. brasiliense	*Citrus latifolia*	México	MH277913
L. citrícola	*Citrus* sp.	Irán	GU945354
L. citrícola	*Citrus* sp.	Irán	GU945353
L. citrícola	*Citrus latifolia*	México	MH277948
L. iranensis	*Salvadora persica*	Irán	GU945348
L. iranensis	*Juglans* sp.	Irán	GU945347
L. iranensis	*Jatropha curcas*	Brasil	KF234544
L. iranensis	*Citrus latifolia*	México	MH271621
L. iranensis	*Adansonia digitata*	Mozambique	KU887121

Continúa Cuadro 1…

Especie	Hospedero	País	Accesión
L. pseudotheobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277917
L. pseudotheobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277926
L. pseudotheobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277921
L. pseudotheobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277919
L. pseudotheobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277916
L. pseudotheobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277920
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277691
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277692
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277693
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277694
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277695
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277696
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277697
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277698
L. theobromae	*Citrus latifolia*	México	MH277699
L. subglobosa	*Citrus latifolia*	México	MH271619
L. subglobosa	*Citrus latifolia*	México	MH271620
Neoscytalidium hyalinum	*Homo sapiens*	Reino Unido	KF531816

Resultados y Discusión

Las cepas de *Lasiodiplodia* spp. se utilizaron para ubicar taxonómicamente los aislamientos del presente estudio basado en análisis filogenético de la región ITS. El número de secuencias utilizado fue de 29 (taxones), incluyendo un taxón como grupo externo. En el alineamiento múltiple de secuencias cada fragmento contenía 454 caracteres (nucleótidos). El árbol filogenético generado con estos datos mostró 3 clados identificados en la Figura 1 con números romanos.

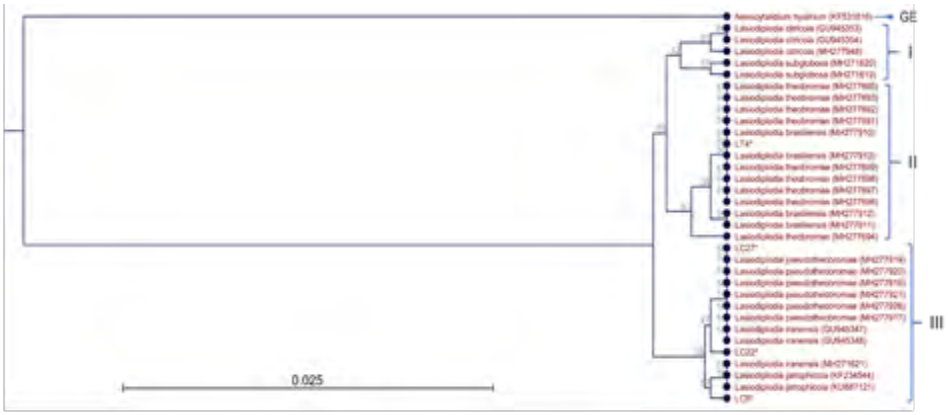


Figura 1. Árbol filogenético de máxima verosimilitud basado en alineamientos múltiples de secuencias de la región ITS de varios aislados de *Lasiodiplodia* spp. Las muestras de este estudio son indicadas con asterisco. En los nodos se indica el porcentaje de bootstrap. La secuencia de *Neoscytalidium hyalinum* se utilizó como grupo externo (GE).

De manera similar Bautista-Cruz *et al*. (2019) identificaron seis clados para ubicar taxonómicamente a sus aislamientos de *Lasiodiplodia* spp., sin embargo, en este último estudio se concatenaron varios genes para realizar el alineamiento múltiple y construir el árbol filogenético. Ninguno de los aislamientos de *Lasiodiplodia* spp. de este estudio formó parte del primer clado (I). Este grupo está formado por *L. citricola* y *L. subglobosa*, de los cuales, el primero fue reportado previamente afectando a especies de cítricos en Irán (Abdollahzadeh *et al*., 2010), y ambas especies, recientemente en México se reportaron en *Citrus latifolia* (Bautista-Cruz *et al*., 2019).

El segundo clado contiene al aislado LT4 de este estudio, el cual se obtuvo de *C. aurantifolia*. Este grupo está formado principalmente por aislamientos de *L. theobromae*, estos hongos son la especie más abundante del género *Lasiodiplodia* y la más reportada en la literatura, ya que se ha aislado de una diversidad de especies frutales como anacardo, ciruelo, guayas, mango y cítricos por mencionar algunas (Bautista-Cruz *et al*., 2019; Coutinho *et al*., 2017; Rodríguez-Gálvez *et al*., 2016). En este mismo clado (II) se agrupan aislamientos de *L. brasiliense* aislados de mango y *Adansonia madagascariensis* (Cruywagen *et al*., 2016), de manera similar este hongo se identificó en *C. latifolia* en México (Bautista-Cruz *et al*., 2019). Los resultados del árbol filogenético y el cuadro de parsimonia (datos no mostrados) indicaron que el aislamiento LT4 es homólogo a secuencias de *L. theobromae* y *L. brasiliense* por lo que se puede tratar de cualquiera de las dos especies.

El tercer clado (III) lo conforman las especies *L. pseudotheobromae*, *L. iranensis* y *L. jatrophicola*. La primera especie también es de las más abundantes y se han reportado 15 cepas, todas ellas afectando a limón persa (*C. latifolia*) en los estados de Puebla y Veracruz (Bautista-Cruz *et al*., 2019). El aislado LC27 es homólogo con secuencias de *L. pseudotheobromae* y *L. iraniensis*, mientras que el aislado LC22 comparte los mismos porcentajes de identidad (99.78%) con las mismas dos especies mencionadas anteriormente, por lo que se puede tratar de cualquiera de las dos especies para ambos casos.

Finalmente, el aislado LC5 tiene los mismos porcentajes de identidad (99.78%) con las especies de *L. iraniensis* y *L. jatrophicola*, por lo que de manera similar podría tratarse de cualquiera de las dos especies.

Con base al análisis filogenético realizado no es posible definir con certeza la posición taxonómica de los aislamientos de *Lasiodiplodia* spp. de Colima procedentes de árboles de limón mexicano (*C. aurantifolia*). La región ITS que se utilizó en este estudio tiene una longitud más corta (454 caracteres) que la reportada por otros autores, esto es debido al juego de oligonucleótidos utilizado: ITS1/ITS4 en este estudio y, por otra parte, ITS5/ITS4 en otros reportes, genera mayor cantidad de caracteres para el análisis filogenético, 531 en el caso de Bautista-Cruz *et al*. (2019). Pero además de eso, el alineamiento múltiple de secuencias (datos no mostrados) evidenció que para especies de *Lasiodiplodia* spp. la región ITS tiene muy poca variabilidad genética, por lo que es una región poco informativa y por tal razón los resultados del análisis BLAST en la base de datos de NCBI tienen homología con otras secuencias de *Lasiodiplodia* de diferentes especies. Por tal motivo, resulta necesario realizar el análisis filogenético tomando en cuenta otras regiones de otros genes que se han reportado para este tipo de análisis en *Lasiodiplodia*: el factor de elongación de la traducción-1α (tef1) y el gen parcial de la β-tubulina (tub2) (Bautista-Cruz *et al.,* 2019; Coutinho *et al*., 2017; Silva *et al*., 2019).

Conclusiones

Los aislamientos de *Lasiodiplodia* spp. de este estudio (LT4, LC27, LC22 y LC5) representan una primera aproximación taxonómica que los identifica en alguna de las siguientes especies:

Lasiodiplodia brasiliense, *L. iraniensis*, *L. jatrophicola*, *L. pseudotheobromae*, *L. theobromae*. Esta primera aproximación filogenética debe ser robustecida con otros genes (tef1 y tub2) para obtener un árbol filogenético con mayor soporte.

Literatura Citada

Abdollahzadeh, J., A. Javadi, E. M. Goltapeh, R. Zare and A. J. L. Phillips. 2010. Phylogeny and morphology of four new species of *Lasiodiplodia* from Iran. Persoonia 25: 1-10.

Couthino I. B. L., F. C. O. Freire, C. S. Lima, J. S. Lima, F. J. T. Gonzalves, A. R. Machado *et al*. 2017. Diversity of genus *Lasiodiplodia* associated with perennial tropical fruit plants in northeastern Brazil. Plant Pathology 66: 90-104.

Cruywagen E. M., B. Slippers, J. Roux and M. J. Wingfield. 2016. Phylogenetic species recognition and hybridisation in *Lasiodiplodia*: A case study on species from baobabs. Fungal Biol. 121(4): 420-436.

Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. Journal of Molecular Evolution 39:783-791.

Manter, D. K. and J. M. Vivanco. 2007. Use of the ITS primers, ITS1F and ITS4, to characterize fungal abundance and diversity in mixed-template samples by qPCR and length heterogeneity analysis. Journal of Microbiological Methods 71(1): 7-14.

Bermúdez-Guzmán, M. J., S. Guzmán-González, M. Orozco-Santos, J. J. Velázquez-Monreal, M. T. Buenrostro-Nava y C. Y. Michel-López. 2016. Optimización de un protocolo para aislamiento de DNA de hojas de *Saccharum officinarum*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(4): 897-910.

Michener, C., and R. Sokal. 1957. A quantitative approach to a problem in classification. Evolution 11: 130-162.

NIH-NCBI, National Library of Medicine-National Center for Biotechnology Information. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/data-hub/taxonomy/tree/?taxon=66739 [Consultado el 20 de julio de 2022]

Orozco-Santos, M. 2001. Enfermedades presentes y potenciales de los cítricos en México. 150 p. (Primera Reimpresión). Universidad Autónoma Chapingo. México.

Saunt, J., 1990. Citrus varieties of the world. Sinclair International Limited, Norwich.

SIAP, 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola. Cultivo: limón. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ [Consultado el 20 de julio de 2022]

Silva, N. I., A. J. L. Phillips, J. K. Liu, S. Lumyong and K. D. Hyde. 2019. Phylogeny and morphology of *Lasiodiplodia* species associated with *Magnolia* forest plants. Scientific Reports 9: 1-11.

Varela-Fuentes, S. E., M. Orozco-Santos, R. I. Torres-Acosta y G. L. Silva-Aguirre. 2013. Guía técnica para la identificación y manejo de plagas y enfermedades en cítricos. 428 p. Primera edición. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Fundación Produce Tamaulipas A.C. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

Vásquez, L. A., A. J. A. Mora, S. E. Cárdenas y O. D. Téliz. 2009. Etiología e histopatología de la muerte descendente de árboles de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. Moore y Stearn) en el estado de Guerrero, México. Agrociencia 43(7): 717-728.

White, T. J., T. Bruns, S. Lee and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics 315-322 p. *In*: M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky and T. J. White (ed.). PCR protocols: A guide to methods and applications. Academic Press, Inc. pp 482.

USO COMPARATIVO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS E INORGÁNICAS EN LA PRODUCCIÓN DE GERMINADOS DE ESPECIES TRADICIONALES

Juan Fabricio Lazcano Escobar[1], Nayeli Sarahí Quiñones Islas[2*], Sergio Rubén Trejo Estrada[1] y Carolina Ramírez López[1]

Resumen

La germinación de semillas mejora la calidad nutrimental de alimentos de origen vegetal al incrementar los contenidos y disponibilidad de nutrientes esenciales y disminuir los niveles de antinutrientes. Se cuenta con un número considerable de especies estudiadas, aunque, a la fecha hay pocos estudios sobre especies tradicionales. El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto de soluciones nutritivas minerales [Adelusi-Oseni (AO), Ruakura (Ru) y Maeda (M)] y extractos provenientes de composta (EC1, EC2 y EC3) con tres diferentes solventes, comparados contra un testigo desarrollado con agua sobre el desarrollo de germinados de cuatro semillas tradicionales en México: calabaza (*Cucurbita pepo* L.), pápalo [*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.], pipitza (*Porophyllum linaria* Cav.) y verdolaga (*Portulaca oleracea* L.). La hipótesis fue que, se encontrarán diferencias en los desarrollos de la germinación con las diversas soluciones nutritivas con respecto a un testigo con agua. La germinación se realizó en cajas Petri con tela de algodón como soporte, agregando 5 mL de solución nutritiva, más un testigo desarrollado con agua, con fotoperiodo de 12 h; continuando la germinación hasta las 96 h. Se realizó una ANOVA con comparación de medias Tukey y Dunnet. Para germinados de calabaza, la solución EC3E2 logró incrementar el crecimiento de las plántulas en 396.3% respecto al testigo. EC2A mostró una elongación mayor respecto al testigo del 88.5% para germinados de pápalo. EC2A produjo un incremento del 15.8% en pipitza. En verdolaga, EC2A produjo un incremento del 53.7%. La nutrición por medio de extractos de composta puede favorecer la producción de biomasa a partir de germinados.

[1] Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, (CIBA-IPN). Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5, Tlaxcala, México. C. P. 90700.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Tecomán. Carretera Colima-Manzanillo km 35, Tecomán, Colima, México. C. P. 28100.
*Autor de correspondencia

Palabras clave: *Cucurbita pepo* L., *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass., *Porophyllum linaria* Cav., *Portulaca oleracea* L., soluciones nutritivas

Introducción

Los sistemas de producción de alimentos necesitan ser renovados a fin de generar productos con mejores atributos nutrimentales. Los germinados de semillas contienen altos niveles de nutrientes, como consecuencia de la biodisponibilidad de iones y biomoléculas que deriva de cambios fisiológicos durante el proceso de germinación y crecimiento inicial (Liu *et al.*, 2019). El proceso de germinación consiste en una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos que dan como resultado la iniciación del crecimiento de una nueva planta. Este proceso implica la movilización de las sustancias de reserva dentro de la semilla para que las utilice el embrión en crecimiento (Lynch *et al.*, 2012). Por lo tanto, los germinados son fuentes de proteínas, vitaminas y minerales, así como glucosinolatos, compuestos fenólicos y compuestos que contienen selenio e isoflavonas, que son auxiliares en el mantenimiento de la salud (Ponce de León *et al.*, 2013).

Las hortalizas tradicionales tienen un elevado contenido de vitaminas, antioxidantes y fibra dietética, carecen de lípidos en su composición, por lo que tienen un bajo contenido calórico (Vera-Sánchez *et al.*, 2016). Además, contienen fitoquímicos tales como fenoles y carotenoides, que les otorgan el carácter de alimento funcional.

La calabaza (*Cucurbita pepo* L.) es una planta anual de hábito rastrero que produce un fruto que normalmente se consume antes de llegar a la madurez. Sus semillas muestran propiedades antidiabéticas, antifúngicas, antibacterianas, antiinflamatorias y antioxidantes (Rolnik y Olas, 2020). La germinación de las semillas mejora la calidad nutrimental y provoca un cambio importante en las características bioquímicas y sensoriales de estas (Liu *et al.*, 2019). Se ha reportado que, la germinación reduce los factores responsables de flatulencias, aumentando la digestibilidad y utilización de proteínas y carbohidratos (Akintade *et al.*, 2019).

El pápalo [*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass.], es una herbácea anual que produce hojas comestibles y que se consume en fresco; si estas se someten a cocción, pierde su sabor

original. Además, el pápalo forma parte de la medicina tradicional de las culturas originarias en México (Castro-Lara *et al.*, 2018).

La pipitza (*Porophyllum linaria* Cav.) es una planta anual, que produce flores y hojas aromáticas y saborizantes. Además, esta especie muestra propiedades antiinflamatorias y medicinales (Vázquez-Atanacio *et al.*, 2021). Es rica en vitaminas B y C, y aporta minerales como fósforo, hierro y calcio (Castro-Lara *et al.*, 2018). Se utiliza principalmente como condimento en fresco o seco para la elaboración de diferentes platillos regionales.

La verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) es una planta herbácea rastrera, cuyos brotes tiernos se consumen en ensaladas como verdura o guisadas (Castro-Lara *et al.*, 2018). Esta especie aporta vitaminas A, B, C y minerales esenciales como hierro, magnesio y calcio. También contiene terpenos, ácidos fenólicos y cumarinas, flavonoides y alcaloides como las oleraceínas (Baradaran *et al.*, 2019), con efectos antifúngicos, antivirales, neuroprotectores y anticancerígenos (Meng *et al.*, 2016).

Para la nutrición de cultivos se han definido 14 elementos esenciales, dentro de los que se pueden citar los macronutrimentos N, P, K, Ca, Mg y S; y los micronutrimentos Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo y Ni. Estos elementos se pueden aportar a la planta a través de los fertilizantes al suelo en sistemas a cielo abierto, o a través de las soluciones nutritivas en sistemas hidropónicos (Lynch *et al.*, 2012). Además, la nutrición de plantas puede mejorar al hacer aportes de materiales orgánicos como las sustancias húmicas. Estas sustancias provienen de desechos de animales y plantas; son de carácter ácido, elevado peso molecular, resistentes al ataque microbiano y con propiedades refractarias (Pepper y Gentry, 2015). Tienen efectos positivos en el crecimiento, el desarrollo y la producción de cultivos.

A través de la germinación es posible mejorar los valores nutricionales y reducir los factores antinutricionales e indigeribles de las semillas. Además, la germinación contribuye a incrementar la síntesis y acumulación de metabolitos secundarios, como la vitamina C y los polifenoles que pueden tener efectos antioxidantes, antidiabéticos y anticancerígenos. En este trabajo se evaluó la de producción de germinados de cuatro especies de hortalizas tradicionales, a partir de soluciones nutritivas inorgánicas [Adelusi-Oseni (AO), Ruakura (Ru) y Maeda (M)], y orgánicas provenientes de extractos composta (EC1, EC2 y EC3), comparadas contra un testigo desarrollado con agua.

Materiales y Métodos

Material biológico utilizado

Se emplearon semillas comercialmente disponibles de cuatro especies de hortalizas tradicionales en México: calabaza (*C. pepo* L.), pápalo [*P. ruderale* (Jacq.) Cass.], pipitza (*P. linaria* Cav.) y verdolaga (*P. oleracea* L.), adquiridas con productores locales de la región en el mercado de San Andrés Cholula, Puebla, México.

Desinfección de semillas

La desinfección de semillas se llevó a cabo según el protocolo descrito por García *et al.* (2008). Primeramente, se realizó un lavado a 50 g de semillas en Tween 80 (0.25% v/v) durante 5 min; posteriormente se procedió a un remojo de las semillas en etanol al 70% durante 1 min; se prosiguió con un lavado en $Ca(ClO)_2$ al 5% más Tween 80 (0.25% v/v) por 20 min. Finalmente se llevaron a cabo cuatro enjuagues de 2 min cada uno con agua destilada estéril sobre una coladera a fin de retirar el exceso de agua.

Germinación de semillas

Con las semillas limpias y desinfectadas, se inició el proceso de germinación con base en la metodología descrita por Chen y Chang (2015), con algunas modificaciones. Las semillas se remojaron en agua purificada por 24 h, posteriormente fueron colocadas diez semillas como unidad experimental en cada caja Petri sobre tela de algodón como medio de soporte, agregando 5 mL de solución nutritiva, más un testigo con agua purificada, aplicando un fotoperiodo de 12 h en una cámara de crecimiento vegetal, ajustada a una temperatura de 25°C, con iluminación (Marca SEV, Puebla, México). Cada ensayo se evaluó por triplicado. El sistema de germinación se rehidrató cada 24 h con 2 mL de su respectiva solución nutritiva hasta las 96 h, tiempo en el cual se determinaron las longitudes del germinado tanto de la parte aérea como de la raíz.

Soluciones nutritivas y enmiendas orgánicas

En cada una de las tres especies estudiadas, se evaluó el efecto de las soluciones nutritivas: 1) Adelusi-Oseni (AO): empleada para la acumulación de pigmentos fotosintéticos (Adelusi y Oseni, 2015); 2) Ruakura (Ru): usada para el incremento de materia seca en germinados. (Smith *et al.*1983); y 3) Maeda (M): reportada para incrementar el rendimiento de germinados (Maeda, 2006). Además, se probaron tres extractos de compostas: Extracto de composta 1

(EC1), Extracto de composta (EC2) y Extracto de composta (EC3) con tres disolventes, empleados con el fin de extraer los biostimulantes presentes en las compostas: Detergente (D), Agua (A) y Etanol (E). Este último factor (etanol) se probó a tres diferentes concentraciones: 25% (1), 50% (2) y 75% (3) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diseño experimental empleado en la germinación de semillas.

Solución Nutritiva	Extracto concentrado	Número de tratamiento
EC1[a]	D[g]	1
	A[h]	2
	E1[i]	3
	E2[j]	4
	E3[k]	5
EC2[b]	D	6
	A	7
	E1	8
	E2	9
	E3	10
EC3[c]	D	11
	A	12
	E1	13
	E2	14
	E3	15
M[d]	-	16
AO[e]	-	17
Ru[f]	-	18
Testigo	-	19

[a]EC1=Extracto de composta 1, [b]EC2= Extracto de composta 2, [c]EC3= Extracto de composta 3, [d]M=Solución nutritiva Maeda, [e]AO= Solución nutritiva Adelusi Oseni, [f]Ru= Solución nutritiva Ruakura, [g]D=Detergente, [h]A=Agua, [i]E1=Solución de etanol al 25%; [j]E2=Solución de etanol al 50%, [k]E3=Solución de etanol al 75%.

Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar de manera individual el uso de extractos de composta y soluciones minerales nutritivas se llevó a cabo el análisis de los tratamientos realizados a las cuatro especies estudiadas mediante un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones de 18 tratamientos, más un testigo con agua de cada unidad experimental de 10 semillas (Cuadro

1), sumando un total de 228 corridas experimentales. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas por la prueba de Dunnett ($p \leq 0.05$) para saber si existieron diferencias significativas con respecto al testigo y una comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para validar la diferencia entre los germinados desarrollados con las diferentes soluciones nutritivas. Para estos análisis se empleó el software Microsoft Excel versión 16.29 y Minitab versión 18. Se aplicaron diagramas de Pareto, para identificar las soluciones nutritivas que generaron mayor biomasa en los germinados.

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestran las diferencias porcentuales en cuanto a elongación de la parte aérea de los germinados de calabaza (subfigura 1A), pápalo (subfigura 1B), pipitza (subfigura 1C), y verdolaga (subfigura 1D), respecto al testigo (germinados realizados solamente con agua purificada), de acuerdo con los tratamientos descritos en el Cuadro 1.

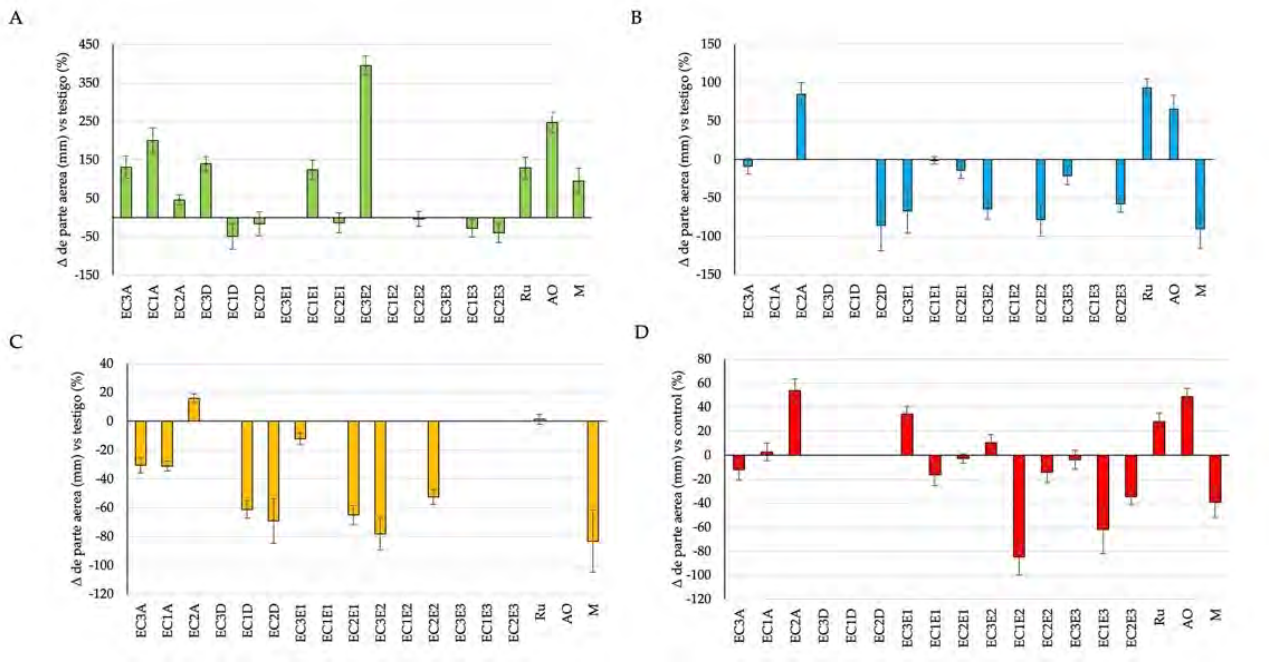


Figura 1. Porcentaje de diferencia de la longitud de la parte área del germinado de semillas: A: calabaza; B: pápalo; C: pipitza; y D: verdolaga con respecto al testigo.

En esta misma Figura 1A, se observa que, el mayor desarrollo del germinado de calabaza fue en EC3E2, tratamiento en el que se alcanzaron 61.20 ± 7.57 mm de longitud, lo que equivale a un 396.3% de aumento con relación al testigo; y es secundado por la solución mineral AO, con 43.44 ± 12.08 mm de longitud del germinado, equivalente al 252.3% de incremento con respecto al testigo. La prueba de Dunnett (Cuadro 3) indica que existen diferencias significativas entre las medias aritméticas de las longitudes alcanzadas con estas soluciones con respecto al testigo, en tanto que, la prueba de Tukey (Cuadro 3) indica que existen diferencias significativas entre las medias de las longitudes entre EC3E2 y AO.

Cuadro 3. Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y Dunnett ($p \leq 0.05$) de comparación de la media aritmética de la longitud de los germinados (mm) de calabaza, pápalo, pipitza y verdolaga.

Solución nutritiva	Calabaza	Pápalo	Pipitza	Verdolaga
Testigo	12.33 ± 2.52 $_{E,F}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$	21.75 ± 3.53 $_{C,D}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$	8.01 ± 3.26 $_{A}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$	13.70 ± 2.58 $_{C}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$
EC2A	18.20 ± 3.90 $_{D, E, F}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$	41.01 ± 3.88 $_{A}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	9.28 ± 1.51 $_{A}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$	21.07 ± 2.95 $_{A}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$
EC3E2	61.20 ± 7.57 $_{A}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	7.55 ± 1.95 $_{F,G}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	1.77 ± 1.25 $_{B, C}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	14.17 ± 2.02 $_{B, C}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$
Ru	28.80 ± 3.70 $_{C, D}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	39.17 ± 4.21 $_{A, B}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	7.44 ± 1.57 $_{A, B}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$	16.93 ± 3.14 $_{A, B}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$
AO	43.44 ± 12.08 $_{B}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	34.63 ± 2.54 $_{A, B}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	0.00 $_{C}{}^{I}$; $_{-}{}^{m}$	17.55 ± 4.56 $_{A, B}{}^{I}$; $_{A}{}^{m}$

[I]Prueba de Tukey: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes; [m]Prueba de Dunnett: Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control.

Lo anterior, puede explicarse debido a que las sustancias húmicas pueden formar complejos con los cationes de metales de transición, lo que puede incrementar la absorción de estos elementos por la planta (Chen y Aviad, 1990). Además, las plantas tratadas con sustancias húmicas tienen una mayor eficiencia de absorción de agua, que las plantas no tratadas, con lo que pueden producir más biomasa. En un estudio similar realizado en albahaca (*Ocimum basilicum*), cilantro (*Coriandrum sativun*) y lechuga (*Lactuca sativa*) tratadas con té de composta, se observó la misma cantidad de biomasa que en las producidas con solución mineral de Steiner (González-Solano *et al.*, 2018).

Respecto a pápalo, las soluciones que registraron los mayores desarrollos de la parte aérea fueron el tratamiento EC2A, con 41.01 ± 3.88 mm de parte aérea, equivalente a un incremento del 88.5% respecto al testigo; la solución mineral Ru, con 39.17 ± 4.21 mm, que equivalen al 80% de aumento respecto al testigo; y la solución AO, que desarrolló 34.63 ± 2.54 mm, lo que representa 59.2% más que el testigo. En el resto del experimento no se observan valores de

importancia en cuanto al desarrollo del germinado y aún más se presentó en algunos casos la falta de viabilidad de las semillas, razón por la cual no se observan algunos datos o se muestra un 0%, considerando que son idénticas al testigo. La prueba de Tukey (Cuadro 3) no mostró diferencias significativas entre las citadas soluciones nutritivas con efecto positivo en el desarrollo de los germinados. En tanto, la prueba de Dunnett (Cuadro 3) indicó que los germinados desarrollados con los tratamientos antes citados son estadísticamente superiores al testigo. Los efectos positivos de las sustancias húmicas se observan primeramente en indicadores de crecimiento de la planta, como la emisión de brote y las raíces, longitud o peso de biomasa fresca y seca (Vaughan y Malcolm, 1985).

Los resultados en pipitza se muestran en la Figura 1C. Se puede observar que el extracto de composta EC2A produjo una elongación de 9.28 ± 1.51 mm, que representó 15.8% de incremento con respecto del testigo. Esta fue la única solución nutritiva que presenta mayor desarrollo en la parte aérea del brote en semillas de pipitza con respecto al testigo. Los demás tratamientos redujeron esta variable en pipitza, sin embargo, la prueba de Dunnett (Cuadro 3) indicó que, no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos respecto al testigo, cuyo germinado logró 8.61 ± 3.26 mm de longitud. Sin embargo, se observó que el tratamiento EC3E2 (1.77 ± 1.25 mm) presenta menor desarrollo en los germinados respecto a los alcanzados en el testigo. En el caso del tratamiento AO es importante notar que la germinación fue inhibida. Estos resultados corroboran que no puede haber una única solución nutritiva que produzca resultados satisfactorios en todas las circunstancias y especies evaluadas (Smith *et al.*, 1983). Las soluciones nutritivas y las sustancias húmicas pueden afectar la síntesis y transporte de fitohormonas en las plantas. Por ejemplo, las sustancias húmicas pueden estimular la síntesis de ácido indolacético (AIA). A su vez, esta auxina puede estimular la germinación y el crecimiento de los germinados (Amador-Alférez *et al.*, 2013).

Los resultados para verdolaga se muestran en la figura 1D. Se puede apreciar que el tratamiento EC2A, con 21.07 ± 2.95 mm de longitud del germinado, equivalente a 53.7% de incremento respecto al testigo, presenta el mayor crecimiento de la parte aérea para esta especie. La prueba de Dunnett (Cuadro 3) reveló que, ésta fue la única solución que presentó diferencia significativa respecto al testigo. Un aumento en la captación de N, que favorece el crecimiento de la parte aérea, puede explicarse por el papel de las sustancias húmicas en la modulación de la captación de nitrato a través de una interacción con la membrana plasmática

(Maggioni *et al.*, 1987; Chen y Aviad, 1990; Gulnaz *et al.*, 1999; Verlinden *et al.*, 2010). Estos componentes parecen aumentar la permeabilidad de la membrana celular y pueden tener una actividad similar a las fitohormonas denominadas auxinas, que actúan como reguladoras del crecimiento vegetal (Olivares *et al.*, 2017). Incluso, pequeños fragmentos de ácidos húmicos posiblemente proporcionan nutrientes para las plantas. Por otra parte, en las soluciones nutritivas con efectos negativos o menor capacidad estimulante del desarrollo de los germinados, se sabe que sus componentes pueden presentar reacciones químicas que forman precipitados de iones, lo que ocasiona que éstos no estén disponibles para el desarrollo de la planta (Trejo-Valencia *et al*., 2015).

La evaluación del efecto de los extractos de composta en la germinación y elongación de germinados mostró que cada hortaliza evaluada tiene requerimientos específicos para su desarrollo. Es por lo anteriormente señalado, que la elección de las soluciones nutritivas con mayor influencia positiva en los germinados fueron los extractos de composta EC2A y EC3E2; así como las soluciones minerales Ru y AO.

Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos, se puede concluir que los extractos de composta son una opción importante por considerar para aumentar el rendimiento de la biomasa en la producción de germinados.

El extracto de composta 3 extraído con etanol al 50% (EC3E2) incrementó la producción de biomasa de germinado de calabaza en 395.2% con respecto al testigo; mientras que la biomasa de germinado de pápalo con el extracto de composta 2 obtenido con agua (EC2A) produjo una elongación mayor al 84.7% respecto al testigo. En pipitza, el extracto de composta 2 obtenido con agua (EC2A) produjo un incremento del 15.8% de la biomasa respecto al testigo. En verdolaga, el extracto de composta 2 extraído con agua (EC2A) indujo un incremento del 53.7% de la biomasa con respecto al testigo.

El extracto de composta 3 extraído con etanol al 50% (EC3E2) incrementó la producción de biomasa de germinado de calabaza en 396.3% con respecto al testigo; mientras que la biomasa de germinado de pápalo con el extracto de composta 2 obtenido con agua (EC2A)

produjo una elongación mayor al 88.5% respecto al testigo. En pipitza, el extracto de composta 2 obtenido con agua (EC2A) produjo un incremento del 15.8% de la biomasa respecto al testigo. En verdolaga, el extracto de composta 2 extraído con agua (EC2A) indujo un incremento del 53.7% de la biomasa con respecto al testigo.

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto SIP20220684 y a Nutravia, S.A. de C.V. por el financiamiento para realizar la presente investigación.

Literatura Citada

Adelusi, A. A. and O. M. Oseni. 2015. Effects of nitrogen nutrient on the photosynthetic pigments accumulation and yield of *Solanum lycopersicum*. Ann. West Univ. Timiş., Ser. Biol. 18(2):131-138.

Akintade, A. O., O. O. Awolu and B. O. Ifesan. 2019. Nutritional evaluation of fermented, germinated and roasted pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed flour. Acta Univ. Cibiniensis, Ser. E: Food Technol. 23(2):179–186.

Amador-Alférez, K. A., J. Díaz-González, S. Loza-Cornejo y E.Y. Bivián-Castro. 2013. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocactus* (Cactaceae). Polibotánica 35:109-131.

Baradaran, R. V., H. Rakhshandeh, F. Raucci, B. Buono, R. Shirazinia, K.A. Samzadeh *et al*. 2019. Anti-inflammatory and anti-oxidant activity of *Portulaca oleracea* extract on LPS-Induced rat lung injury. Molecules 24(1):139.

Castro-Lara, D., R. Bye-Boettler, F. Basurto-Peña, L.M. Mera-Ovando, J. Rodríguez-Servín, J. Álvarez-Vega *et al*. 2018. Revalorización, conservación y promoción de quelites una tarea conjunta. Agro Productividad 7(1): 8-12.

Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. pp: 161–186. *In:* Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. MacCarthy, P., C. E. Clapp, R.L. Malcolm and P.R. Bloom (eds.). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America: Madison, Florida, United States of America.

Chen, Y. and S. K. C. Chang. 2015. Macronutrients, phytochemicals, and antioxidant activity of soybean sprout germinated with or without light exposure. J. Food Sci. 80(6):391–398.

García, J. C., A. Hernández, Y. Acebo y N. Rives. 2008. Obtención de un nuevo método de desinfección de semillas de arroz. Cult. Trop. 29(4):55–59.

González-Solano, K. D., M.N. Rodríguez-Mendoza, J. Sánchez-Escudero, L. Trejo-Téllez y J. L. García-Cué. 2018. Uso de té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja. Agro Productividad 7(6):17-22.

Gulnaz, A., J. Iqbal, S. Farooq and F. Azam. 1999. Seed treatment with growth regulators and crop productivity. I. 2,4-D as an inducer of salinity-tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Soil 210(2):209–218.

Liu, H., Y. Kang, X. Zhao, Y. Liu, X. Zhang and S. Zhang. 2019. Effects of elicitation on bioactive compounds and biological activities of sprouts. J. Funct. Foods 53(13):136–145.

Lynch, J., P. Marschner and Z. Rengel. 2012. Effect of internal and external factors on root growth and development. pp: 331-346. *In:* Marschner's mineral nutrition of higher plants. Marschner, P. (ed.). Third Edition. Academic Press: Amsterdam, Netherlands.

Maeda, T. 2006. Process for producing peanut sprouts. EP1683409A1. European Patent Office. https://patents.google.com/patent/EP1683409A1/en#nplCitations [consultado el 19 de agosto de 2022]

Maggioni, A., Z. Varanini, S. Nardi and R. Pinton. 1987. Action of soil humic matter on plant roots: Stimulation of ion uptake and effects on ($Mg2^{+}$ $+K^{+}$) ATPase activity. Sci. Total Environ. 62:355–363.

Meng, Y., Z. Ying, Z. Xiang, D. Hao, W. Zhang, Zheng *et al*. 2016. The anti-inflammation and pharmacokinetics of a novel alkaloid from *Portulaca oleracea* L. J. Pharm. Pharmacol. 68 (3):397–405.

Olivares, F. L., J.G. Busato, A.M. de Paula, L. da Silva Lima, N.O. Aguiar and L. P. Canellas. 2017. Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. Chem. Biol. Technol. Agric. 4(1):1-13.

Pepper, I. L. and T. J. Gentry. 2015. Earth Environments. pp: 59-88. *In:* Environmental microbiology. Pepper, I.L., C.P. Gerba and R.M. Maier (eds.). Third Edition, Academic Press: Walthman, Massachusetts, United States of America.

Ponce de León, C., M. Esperanza-Torrija y M. Cruz-Matallana. 2013. Utilidad en la alimentación de algunas semillas germinadas: brotes de soja y trigo. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Biol. 107: 47–55.

Rolnik, A. and B. Olas. 2020. Vegetables from the *Cucurbitaceae* family and their products: positive effect on human health. Nutrition 78: 110788.

Smith, G. S., C. M. Johnston and I. S. Corforth. 1983. Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture. New Phytol. 94(4):537–548.

Trejo-Valencia, R., P. Preciado-Rangel, R.A. Herrera-Garcia, M. Fortis-Hernández, E. Madero-Tamargo y A. Largada-Murrieta. 2015. Soluciones nutritivas orgánicas: una opción en la agricultura sustentable. pp 303-313. *In:* Desarrollo y Tecnologia. Aportaciones a los Problemas de la Sociedad. Santiago-Tepantlán C, Ayala-Garay, A.V. y G. Almaguer-Vargas (eds.). Plaza y Valdes Editores: D.F. México.

Vaughan, D., and R. E. Malcolm. 1985. Influence of humic substances on growth and physiological processes. pp: 37-75. *In:* Soil Organic Matter and Biological Activity. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 16. Vaughan, D., and R.E. Malcolm (eds.). Springer: Dordrecht, Netherlands.

Vázquez-Atanacio, M. J., M. Bautista-Ávila, C. Velázquez-González, A. Castañeda-Ovando, M. González-Cortazar, C.G. Sosa-Gutiérrez *et al*. 2021. *Porophyllum* genus compounds and pharmacological activities: A Review. Sci. Pharm. 89 (1):7.

Vera-Sánchez, K. S., J. Cadena-Iñiguez, L. Latournerie-Moreno, J.F. Santiaguillo-Hernández, A. Rodríguez-Contreras, F.A. Basurto-Pena *et al.* 2016. Conservación y utilización sostenible de las hortalizas nativas de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México. pp: 1-6.

Verlinden, G., T. Coussens, A. De Vliegher, G. Baert and G. Haesaert. 2010. Effect of humic substances on nutrient uptake by herbage and on production and nutritive value of herbage from sown grass pastures. Grass Forage Sci. 65 (1):133–144.

COMPARACIÓN DE LA MICROBIOTA EDÁFICA EN FUNCIÓN DEL HISTORIAL DE USO DE GLIFOSATO EN NARANJA

José Manuel Macotela Cruz[1], Laura Gómez Tovar[1]* y Manuel Ángel Gómez Cruz[2]

Resumen

Los microorganismos del suelo desempeñan distintas funciones de interés para los cultivos agrícolas; están implicados en varias fases del ciclo de nutrientes, descomponen detritos, procesan el almidón, celulosa, proteínas, solubilizan nutrientes como fósforo y hierro, y sintetizan fitohormonas que promueven el crecimiento radicular, por mencionar algunas. El estilo de agricultura conocido como manejo agroecológico persigue la salud de los suelos, buscando promover las comunidades microbianas edáficas para establecer sistemas que permitan el reciclaje de nutrientes, las relaciones simbióticas y el control de fitopatógenos por medio de organismos antagonistas. Esto se logra adicionando microorganismos locales reproducidos artesanalmente y proveyendo las condiciones idóneas para que estos desarrollen su actividad en el agroecosistema. Por otro lado, el manejo convencional emplea sustancias nocivas que atentan contra la microbiología de los suelos. En Papantla, Veracruz, éste incluye el uso del herbicida glifosato, cuyos efectos nocivos sobre la microbiología han sido reportados por diversos autores. Se identificaron y analizaron las especies de hongos y bacterias presentes en cinco suelos cultivados con naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) con distinto manejo, 2 agroecológicos y 3 convencionales, en la comunidad de San Pablo, Papantla, Veracruz. Se contabilizaron propágulos de hongos y Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de bacterias. Para analizar las poblaciones microbianas y comparar los suelos, se emplearon los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson y se realizaron estudios con cromatografías de Pfeiffer para comparar las características en un análisis integral de salud del suelo. En los terrenos bajo manejo agroecológico sin aplicación de glifosato se encontró la mayor diversidad de microorganismos, mayor número de microorganismos

[1] Departamento de Agroecología-CIIDRI-UACh. gomezlaura@yahoo.com.
[2] CIIDRI-UACh, magomezcruz@live.com.

benéficos y mejor salud del suelo en base a las cromatografías, índices de diversidad y cantidad de propágulos y UFC. El uso de glifosato incidió de forma significativa sobre las especies identificadas de hongos y bacterias de los terrenos; en suelos con aplicaciones continuas de glifosato las especies fitopatógenas se encontraron en una proporción mayor respecto a las benéficas. Con respecto a las cromatografías, los suelos tratados con glifosato presentaron menor actividad enzimática, menor integración mineral, y menor procesamiento de la materia orgánica por parte de los microrganismos.

Palabras clave: manejo agroecológico, naranja orgánica, cromatografías de Pfeiffer, diversidad microbiana, fertilidad de suelo

Introducción

Para el año 2019 México ocupó el sexto lugar en producción de naranja a nivel mundial, con una superficie cosechada de 329,771ha (SIAP, 2021). Así mismo la producción es sostenida bajo un paradigma tecnológico convencional que contamina suelo, agua y planta, utilizando sustancias químicas perjudiciales para la salud, entre las cuales se encuentra el herbicida glifosato (SIAP, 2021; FAOSTAT, 2019, citados por Gómez *et al*., 2021). Según Gómez y Gómez (2022) citando a CONACYT (2020) el 14% del uso de glifosato en México se destina a la producción de cítricos.

Para la búsqueda de alternativas al manejo convencional de la naranja, el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el Desarrollo Rural Integral (CIIDRI) estableció en Papantla, Veracruz un Faro Agroecológico donde se emplean y desarrollan prácticas agroecológicas para el manejo de la naranja, como una alternativa al manejo convencional (Gómez *et al*., 2021) alcanzando rendimientos superiores a 37 ton/ha. Varias de estas prácticas implican la promoción, directa o indirecta, de la prosperidad de los microorganismos del suelo. Aunado al papel que desempeñan los microorganismos en el ciclo de nutrientes, a las relaciones simbióticas mutualistas que establecen con las plantas y también a su desempeño en la salud de suelos y consiguiente resiliencia de los cultivos. En tal sentido, los microorganismos son potencialmente buenos indicadores de cambios en poblaciones de

microorganismos del suelo en cortos períodos de tiempo y fáciles de evaluar (Sparling, 1992; citados por Quinchinguano-Hayo, 2013).

Segun Bórtoli *et al*., (2012) numerosos estudios han encontrado diversos efectos del glifosato sobre la actividad de los microorganismos del suelo, entre los cuales destaca la disminución del crecimiento micelial de *Fusarium solani, Phythium* spp*., y Trichoderma viride* frente a concentraciones altas del herbicida y la colonización abundante de patógenos (E.g*., Pythium* spp. y *Fusarium* spp.) en plantas anuales y perennes tratadas con glifosato.

Abonando a lo anterior, Lancaster *et al*., (2010) descubrieron que la población del patógeno *Burkholderia* spp. tiende a aumentar tras aplicaciones del herbicida. Así mismo, Hernández *et al*. (2018) registró que la población del grupo Bacteroidetes aumentó de manera significativa en respuesta a la aplicación de herbicidas. A su vez, Lupwayi *et al*., (2008) descubrió que, en los cultivos de canola resistente a glifosato, donde se hacen aplicaciones abundantes y regulares de este herbicida, se alteró la estructura funcional y se redujo la diversidad de las bacterias del suelo, sin embargo, también aumentó la biomasa microbiana. Los autores deducen que los cambios observados en las comunidades microbianas edáficas podrían afectar las redes alimentarias del suelo y los procesos biológicos. (Lancaster *et al*., 2010; Hernández *et al*., 2018 y Lupwayi *et al*., 2009)

Por otra parte, y retomando a Bórtoli *et al*. (2012) el impacto del glifosato sobre la actividad y biomasa microbianas podría estar relacionado con el tipo de suelos y con su historial de aplicaciones previas de glifosato. Destaca el hallazgo de Ratcliff *et al*. (2006), citados por Bórtoli *et al*., (2012) quien encontró que la aplicación de glifosato produce un aumento de la diversidad en suelos arcillosos-limosos, así como el de Araújo *et al*. (2003, citados por Bórtoli *et al*., 2012) quien demostró que los suelos con aplicaciones previas de glifosato muestran una fuerte respuesta en su actividad microbiana frente a una nueva aplicación del herbicida.

Con el uso de cromatografías de Pffeifer, Medina-Saavedra *et al*. (2018), encontraron una relación entre el manejo convencional y la degradación de la salud del suelo, denunciando una baja actividad enzimática de la microbiología, producida por la erosión en el suelo desnudo, registrando tonalidades parduzcas y grises por el uso de fertilizantes y estiércoles, aislamiento de los minerales con la poca materia orgánica, así como características contrastantes de buena actividad microbiana en áreas con manejo agroecológico.

En base a lo anterior, resulta relevante profundizar en el efecto que tiene el glifosato sobre las comunidades microbianas del suelo cultivado con naranja, considerando su relevancia a nivel nacional en cuanto a producción y superficie ocupada, así mismo, en el estudio del efecto que tienen sobre ellas las alternativas de manejo probadamente competitivas, como el manejo agroecológico.

La presente investigación tuvo por objetivo estudiar en campo la composición, proporción, actividad y diversidad de las comunidades microbianas en suelos con aplicación continua del herbicida glifosato, y compararlas con la de sistemas de manejo agroecológico.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio sobre cinco parcelas para comparar la presencia, dinámica y proporción de microorganismos ligados a diferentes tipos de manejo; dos terrenos bajo manejo agroecológico y tres con manejo convencional y distinto historial de aplicación de glifosato.

Ubicación

El estudio fue realizado en la localidad de San Pablo, del municipio de Papantla de Olarte en el estado de Veracruz. Su ubicación geográfica se describe por las coordenadas: 20° 27´ 18.27” LN y 97° 12´ 05.28” LO, y se encuentra a una altitud de 20 m. El clima de la región es cálido regular, con una temperatura media anual de 20.8°C y abundantes lluvias en verano y principios de otoño, con una precipitación media anual de 1186.8 mm (INEGI, 2015, citado por Reyes-Ortíz, 2017). El periodo en el cual se realizó el estudio comprendió los meses de enero y febrero del año 2022. Los terrenos analizados corresponden al tipo de suelo llamado “vega”, que se refiere a aquél que es de origen aluvial, acumulado por el río Tecolutla, así como deposiciones de los accidentes geográficos circundantes. Las huertas están cultivadas con naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck), variedad Valencia tardía, en suelos franco-limosos. En estos espacios se cultivan árboles de entre 30 años y 10 años, mientras que pocos superan los 60 años de edad.

Manejo de las parcelas evaluadas

En la Cuadro 1 se describen las características de las parcelas de naranja evaluadas y su manejo.

Cuadro 1. Manejo de las parcelas evaluadas. 2022.

Parcela	Leonor	Geño	Reyes	Aldo	Eduardo
Tipo de manejo	Agroecológico	Agroecológico	Convencional	Convencional	Convencional
Tiempo con tal manejo	5 años	10 años	10 años	5 años	n/a
Prácticas asociadas	-Aplicación de microorganismos: Micorrizas, Magro simple, M.M. -Control de malezas: Motochapeadora, chapotes, redondeo con azadón, siembra de leguminosas. -Control de enfermedades: Agua de vidrio -Podas -Adición de compostas y harinas de rocas.	-Aplicación de microorganismos: Micorrizas, M.M., Magro simple. -Control de malezas con paso de rastra, chapotes, redondeo con azadón. -Podas -Adición de compostas y harinas de rocas	-Paso de rastra regular (2-3 meses) -Uso de glifosato de forma regular (2-3 meses) -Poda	-Uso regular de glifosato (2-3 meses) -Poda -Siembra de maíz -Redondeo con azadón	-Aplicación de glifosato (4 meses) -Paso de rastra (cada 3 meses) -Poda -Redondeo con machete -Siembra de Maíz

Fuente: Elaboración propia con base a los informantes clave y trabajo de campo. 2022.

Fase de campo

Para la toma de muestras el día 6 de enero del 2022, se realizaron transectos a través de cada parcela, se tomaron tres muestras al azar cerca de especímenes de árboles de naranja, midiendo a partir de ellos cuatro metros de distancia al tronco y obteniendo submuestras de 0-20 cm de profundidad. Adicionalmente, a dos metros se tomaron submuestras de 0-20 cm y 20-40 cm de profundidad. En total, de cada terreno se obtuvieron tres muestras, cada una con tres diferentes profundidades manejadas por separado en submuestras. Se realizó la extracción con palas utilizando la metodología recomendada por Restrepo y Pinheiro (2011). Adicionalmente se buscó un suelo saludable para comparar las cromatografías de Pfeiffer, luego de encontrarlo se obtuvieron tres muestras de cada profundidad con el mismo procedimiento antes descrito, y se elaboraron muestras compuestas.

Análisis de laboratorio

Para el análisis en laboratorio, las submuestras se tamizaron con colador de plástico y se elaboraron dos muestras compuestas de 500 g de cada terreno, una para cada tipo de análisis. Se etiquetaron y enviaron en un contenedor aislante al Laboratorio de Fitopatología LADIFIT del Colegio de Postgraduados en Texcoco.

Para la identificación de bacterias y su correspondiente conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) se utilizaron los métodos de diagnóstico de bacterias fitopatógenas mediante técnicas moleculares y pruebas bioquímicas en productos y subproductos vegetales IT-BIM-01. Se identificaron por medio del Manual para identificación de bacterias fitopatógenas de Rodríguez (2012) y del Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria (APS, 2001).

Para la identificación de hongos y el conteo de sus propágulos se utilizó el método de detección de hongos fitopatógenos mediante técnicas de aislamiento y claves taxonómicas en productos y subproductos vegetales IT-MIC-01, y de acuerdo a la “Illustrated genera of imperfect fungi” de Barnet y Hunter (1987), el “Compendium of soil fungi” de Domsch *et al*., (1980) y el libro “The fusarium laboratory manual” de Leslie y Summerell (2008).

Análisis cuantitativo

Se analizó la presencia de géneros y especies patógenas y benéficas, así como su proporción. Para cuantificar, analizar y comparar la diversidad de microorganismos se utilizarán los índices de Simpson y de Shannon-Wiener, capturando los datos de especies y géneros identificados en cada terreno, comparando sus poblaciones entre terrenos y contrastando con bibliografía. Se realizó el análisis de estadística no paramétrica conocido como la prueba del signo para determinar diferencia.

Análisis cualitativo

Se realizaron cromatografías de Pfeiffer de acuerdo al procedimiento indicado por Restrepo y Pinheiro (2011), preparando una solución extractora de Hidróxido de sodio, una sustancia reveladora a base de nitrato de plata y usando papel filtro redondo del número 4. Se interpretaron según lo indicado por estos autores, y comparando estudios similares.

Resultados y Discusión

El tipo de manejo provocó diferencias significativas sobre la presencia y cantidad de especies de hongos identificados; existe una mayor cantidad de propágulos del hongo benéfico *Trichoderma* sp, y hongos con potencial simbiótico como *Penicillium* sp en el terreno con manejo agroecológico sin paso de rastra. Mientras que los hongos fitopatógenos fueron identificados en mayor proporción respecto a los benéficos en los terrenos con aplicación de glifosato, lo cual ha sido reportado también por Kremer *et al*., (2005) y Alegrini (2017). Kremer *et al*., (2005) mencionan que el glifosato presente en los exudados de raíces puede ser utilizado por *Fusarium* sp. para obtener nutrientes, o que el herbicida favorece la germinación de sus propágulos. Los géneros con mayor prevalencia en terrenos con uso regular de glifosato coinciden con lo reportado por Chaves-Bedoya *et al*. (2013) y Carranza *et al*. (2014). Las proporciones también se asemejan a las reportadas por Chaves-Bedoya *et a*l. (2013) quienes identificaron mayor número de hongos fitopatógenos como *Fusarium* sp*. Penicilium* sp. y una menor proporción de hongos antagónicos como *Trichoderma* sp. Los valores de índices de diversidad en hongos indican una diversidad media en las parcelas “Leonor” (manejo agroecológico), “Reyes” (Manejo convencional) y “Aldo” (manejo convencional), mientras que “Geño” (manejo agroecológico) y “Eduardo” (manejo convencional) presentan una diversidad baja (Cuadro 2).

Los terrenos bajo manejo orgánico presentaron mayor número de especies de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, así como mayor diversidad de especies. No existió variación significativa en las poblaciones debido al paso de rastra, sin embargo, las especies *Bacillus licheniformis y B. subtilis* no fueron identificadas en dos de los tres terrenos tratados con glifosato. La incipiente presencia del género *Bacillus* en los suelos manejados de forma convencional indica un posible desarrollo de resistencia, coincidiendo con Castañeda *et al*. (2019), quienes también reportaron que los organismos procariotas de suelos tratados con glifosato eran comparativamente menores que los de suelos no tratados, indicando un menor porcentaje de filo, clase, órdenes y familias en ellos, lo cual coincide con lo encontrado en este estudio (Cuadro 3).

Cuadro 2. Índices de diversidad de hongos por parcela de naranja evaluada.

Parcela	Especie	Población específica (propágulos/g suelo)	Índice de Simpson	índice de Shannon-Wiener
"Leonor" Agroecológico	*Fusarium solani*	30	0.72906778	2.16100994
	Fusarium sp.,	10		
	Trichoderma sp.,	100		
	Penicilium sp.,	50		
	Aspergillus niger	10		
	Mucor	30		
"Reyes" Convencional	*Fusarium solani*	40	0.75062552	2.11807821
	Cladosporium sp.,	10		
	Penicillium sp.,	30		
	Aspergillus niger	10		
	Mucor sp.,	20		
"Geño" Agroecológico	*Fusarium oxysporum*	10	0.57142857	1.37095059
	Fusarium sp.,	10		
	Aspergillus niger	30		
"Aldo" Convencional	*Fusarium solani*	10	0.79642058	2.3898981
	Fusarium sp.,	10		
	Trichoderma sp.,	30		
	Aspergillus niger	40		
	Mucor sp.,	20		
	Penicillium sp.,	40		
"Eduardo" Convencional	*Fusarium solani*	10	0.42553191	1.0869877
	Trichoderma sp.,	70		
	Aspergillus niger	15		

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Cuadro 3. Índices de diversidad de bacterias por parcela de naranja evaluada.

Parcela	Especie	Población (UFC/g suelo)	índice de Simpson	índice de Shannon-Wiener
"Leonor" Agroecológico	*Bacillus* sp.,	12	0.75201613	1.94274081
	Bacillus subtilis	7		
	Bacillus licheniformis	7		
	Pseudomonas fluorecens	6		

Continúa Cuadro 3…

Parcela	Especie	Población (UFC/g suelo)	índice de Simpson	índice de Shannon-Wiener
"Reyes" Convencional	*Bacillus* sp.,	10	0.7635468	1.9652115
	Bacillus subtilis	6		
	Bacillus licheniformis	7		
	Pseudomonas fluorecens	6		
"Geño" Agroecológico	*Bacillus* sp.,	6	0.77470356	1.97264741
	Bacillus subtillis	7		
	Bacillus licheniformis	4		
	Pseudomonas fluorecens	6		
"Aldo" Convencional	*Bacillus* sp.,	6	0.54545455	0.99403021
	Pseudomonas fluorecens	5		
"Eduardo" Convenconal	*Bacillus* sp.,	4	0.55555556	0.99107606
	Pseudomonas fluorecens	5		

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los terrenos con mayor población y diversidad de especies de bacterias benéficas fueron los manejados agroecológicamente según los índices de Simpson y Shannon-Wiener, mientras que la diversidad de hongos en algunos casos fue superior en los terrenos con uso de glifosato, empero a las mayores proporciones de patógenos hallados en estos. El manejo con mayor proporción de microorganismos benéficos respecto a fitopatógenos fue el manejado agroecológicamente sin paso de rastra, también sembrado regularmente con leguminosas. Según los valores de los índices, los terrenos agroecológicos "Leonor" "Geño" y el convencional "Reyes" presentan una diversidad media, mientras que el resto poseen una diversidad baja (Cuadro 3).

En las cromatografías, los suelos tratados con glifosato presentaron menor actividad enzimática, menor integración mineral y menor procesamiento de la materia orgánica por parte de los microrganismos, así como menos aireación, comparados con los terrenos manejados agroecológicamente, lo anterior es visible por la falta de integración entre zonas del cromatograma, la inexistencia de la zona central, y los dientes finos en la delgada zona enzimática, ello indica una actividad microbiana incipiente (Pinheiro y Restrepo, 2011). En los suelos sin aplicación de herbicida y con manejo agroecológico se detectó buena actividad enzimática, patrones de integración de la materia orgánica con los minerales y mayor cantidad

de materia orgánica, lo que indica una buena actividad microbiológica (Pinheiro y Restrepo, 2011).

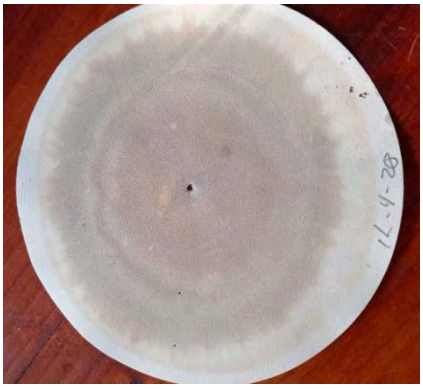


Figura 1. Parcela modelo "La ilusión".
Fuente: Fotografía propia. 2022.



Figura 2. Parcela agroecológica "Leonor".
Fuente: Fotografía propia. 2022.



Figura 3. Parcela agroecológica "Geño".
Fuente: Fotografía propia. 2022.



Figura 4. Parcela convencional "Reyes".
Fuente: Fotografía propia. 2022.



Figura 5. Parcela convencional "Aldo".
Fuente: Fotografía propia. 2022.

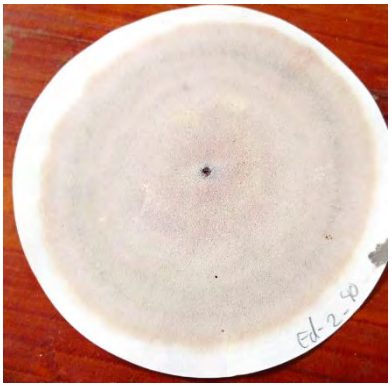


Figura 6. Parcela convencional "Eduardo".
Fuente: Fotografía propia. 2022.

Conclusiones

1. Se estudiaron y compararon exitosamente las composiciones, proporciones, actividad y diversidad de las comunidades microbianas en suelos bajo distinto manejo, encontrando diferencias significativas entre las desarrolladas sobre sustratos con la aplicación de glifosato, y aquellas bajo manejo agroecológico. 2. En los terrenos bajo manejo agroecológico sin aplicación de glifosato se encontró la mayor diversidad de microorganismos, mayor número de microorganismos benéficos y mejor salud del suelo con base a las cromatografías, índices de diversidad y cantidad de propágulos y UFC. 3. El uso de glifosato incidió de forma significativa sobre las especies identificadas de hongos y bacterias de los terrenos; en suelos con aplicaciones continuas de glifosato las especies fitopatógenas se encontraron en una proporción mayor respecto a las benéficas. 4. Los análisis cromatográficos indicaron que los suelos tratados con glifosato presentaron menor actividad enzimática, menor integración mineral y menor procesamiento de la materia orgánica por parte de los microrganismos, así como menos aireación, que los terrenos manejados agroecológicamente.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente al promotor y técnico agroecológico Albino Gaona San Martín, cuyo conocimiento, contactos y disposición fueron decisivos para la realización de este estudio.

Literatura Citada

Allegrini, M. (2017). Análisis del impacto de glifosato sobre comunidades microbianas de suelos de la región pampeana mediante un enfoque fisiológico y molecular. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Rosario. 277 p.

APS (2001) Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. 3ra ed. Edited by Schaad, J. B. Jones, y W. Chun. APS PRESS. Minnesota. 398 p.

Barnett, H. L., and Hunter, B. B. (1987). Illustrated Genera of imperfect Fungi: Pub. C. New York, 218p.

Bórtoli, P. V., Verdenelli, R. A., Corforto, C., Vargas Gil, S., and Meriles, J. M. 2012. Effects of glyphosate on microbial community structure and activity in two soils under olive plantations. Ecología Austral, 22(01), 033-042.

Carranza, C. S., Bergesio, M. V., Barberis, C. L., Chiacchiera, S. M., and Magnoli, C. E. 2014. Survey of Aspergillus section Flavi presence in agricultural soils and effect of glyphosate on nontoxigenic A. flavus growth on soil-based medium. Journal of applied microbiology, 116(5), 1229–1240. https://doi.org/10.1111/jam.12437

Castañeda Neuta, D. C., Contreras Garzon, A. M., and Aguilar Lopez, I. D. 2019. Evaluación del uso del glifosato sobre la microbiota del suelo, en la zona de amortiguación del parque nacional natural paramillo, en Córdoba, Colombia. Tésis. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá. Colombia. 133p.

Chaves-Bedoya, G., Ortíz-Moreno, M. L., and Ortiz-Rojas, L. Y. 2013. Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. Acta agrónomica, 62(1), 66-72

Domsch, K. H., Gams, W., and Anderson, T. H. 1980. Compendium of soil fungi. Volume 1. Academic Press (London) Ltd.

Gómez C. M. A., Gómez T. L., Gómez O. B. G., Hernández C. A. 2021. La Universidad Autónoma Chapingo y su faro agroecológico en naranja en el Norte de Veracruz. CIDRII. Reunión científica Veracruz 2021.

Gómez T. L. y Gómez C. M. Á. 2022. Glyphosate substitution in organic orange production in northern Veracruz, Mexico. Studies in environmental and animal sciences, 3(1): 103-117.

Hernández, G. K., Aparicio, V., Gerónimo, E., Figueroa, L. V., Costa, J. L., Erijman, E. 2018. Science of The Total Environment Soil microbial communities and glyphosate decay in soils with different herbicide application history. Science of The Total Environment 634: 974-982

Kremer, R.J., Means, N.E., and Kim, S. 2005. Glyphosate affects soybean root exudation and rhizosphere micro−organisms. International Journal of Environmental Analytical Chemistry 85, 1165−1174.

Lancaster, S. H., Hollister, E. B., Senseman, S. A., and Gentry, T. J. 2010. Effects of repeated glyphosate applications on soil microbial community composition and the mineralization of glyphosate. Pest management science, 66(1): 59–64. https://doi.org/10.1002/ps.1831

Leslie, J. F., and Summerell, B. A. 2008. The Fusarium laboratory manual. John Wiley & Sons.

Lupwayi, N.Z., Harker G.W., Clayton J.T., O'Donovan R.E. and Blackshaw C. 2009. Respuesta microbiana del suelo a herbicidas aplicados a canola resistente al glifosato. Agricultura, ecosistemas y medio ambiente. ELSEVIER. Volumen 129, números 1 a 3, 171-176.

Medina Saavedra, T., Arroyo Figueroa, G. and Peña Caballero V. 2018. Cromatografía de Pfeiffer en el análisisde suelos de sistemas productivos. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 9(3): 665–673. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1223

Quinchiguano Haro, A. B. 2013. Impacto del glifosato sobre flora, fauna, propiedades químicas, físicas, mineralógicas y biológicas del suelo y residualidad en bosque secundario en Sucumbíos. Tesis. Universidad Técnica del Norte. Ecuador. 133p.

Restrepo, R. J. y Piñeiro, S. 2011. Cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo. COAS editores. Cali, Colombia. 240 p.

Reyes-Ortíz, P. A. 2017. Producción de Naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) variedad valencia tardía bajo manejo orgánico en San Pablo, Papapntla de Olarte; Veracruz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Especialista en fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. Edo. Mex. México.

Rodríguez-M, M. L. 2012. Manual para la identificación de bacterias fitopatógenas. 3ª ed. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco de Mora. 146 p.

SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la producción agrícola 2019. http://www.siap.gob.mx/

DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE NPK MEDIANTE UNA FUNCIÓN DE RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE LECHUGA

Antonio Martinez Ruiz[1]*, Cándido Mendoza Pérez[2], Genaro Pérez Jiménez [1], Miguel Servin Palestina[1] y Simón Alvarado Mendoza [1]

Resumen

Un pobre manejo de la fertilización en el cultivo de lechuga puede afectar su rendimiento o una excesiva fertilización incrementa la concentración de nitratos en sus hojas. Esta especie es susceptible a una intoxicación por nitrógeno, aprender acerca de su patrón de desarrollo, absorción y utilización de los nutrimentos son importantes para planear, establecer y manejar el programa de fertilización para este cultivo. En esta investigación se evaluaron 4 dosis de nitrógeno – fósforo y potasio (NPK) con tres densidades de plantación para lechuga “iceberg” con la finalidad de obtener la mejor dosis de fertilización de este cultivo que sirva de base para realizar un programa de fertilización. Se probaron tres densidades de plantación, densidad 1 (D = 50,000 plantas/ha), densidad 2 (D2 = 55,000 plantas/ha), densidad 3 (D3 = 60,000 plantas/ha). Las dosis de NPK que se evaluaron fueron: Dosis 1 (DF1=88N-20P-171K), dosis 2 (DF2=102N-23P-200K), dosis 3 (DF3 =117N-27P-228K) y testigo (DF4=73N-17P-143K). Los rendimientos más altos se encontraron para la densidad más alta de 65,000 plantas/ha, 93 toneladas/ha para un suministro de nitrógeno de 117 kg/ha, 200 kg/ha de potasio y 23 kg/ha de fósforo.

Palabras clave: contenido nutrimental, requerimiento interno, traslocación nutrimental, fertilización inorgánica

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). * autor de correspondencia: martinez.antonio@inifap.gob.mx
[2] Colegio de Postgraduados, Postgrado de Hidrociencias.

Introducción

La lechuga (*Lactuca Sativa* L.) un vegetal de hoja de invierno ampliamente cultivado alrededor del mundo por su alto consumo y valor económico (Djidonou and Leskovar 2019). Debido a su dinámica poco común de desarrollo, ciclo de cultivo corto y su establecimiento por trasplante su nutrición requiere precaución. Un pobre manejo de la fertilización puede afectar su rendimiento o una excesiva fertilización incrementa la concentración de nitratos en sus hojas. Esta especie es susceptible a una intoxicación por nitrógeno, aprender acerca de su patrón de desarrollo, absorción y utilización de los nutrimentos son importantes para planear, establecer y manejar el programa de fertilización para este cultivo (Sosa *et al*., 2012). El requerimiento nutrimental para el máximo rendimiento de un cultivo en específico puede depender del genotipo, diferentes cultivares de la misma especie generalmente tienen diferentes requerimientos, especialmente para nitrógeno (N), fósforo (P) y Potasio (K) (Resh, 2012). El requerimiento de N a menudo determina la eficiencia del uso de este nutrimento (NUE) el cual es un indicador de la respuesta a la fertilización. Ya que NUE cuantifica el incremento de rendimiento del peso fresca por unidad de N fertilizado acompañado de la eficiencia de absorción, el cual es la habilidad que tiene la planta de remover el N del suelo una eficiencia de utilización el cual es la habilidad de la planta de convertir el N absorbido a biomasa aérea (Benincasa *et al*., 2011). El potasio (K) es el catión más abundante en el citoplasma, juntos con sus aniones acompañantes tiene una contribución principal al potencial osmótico de las células, mejora la calidad, duración del cultivo, alivia el estrés, es activador de muchas enzimas que son esenciales en la fotosíntesis, respiración, síntesis de almidón, proteínas y está involucrado en la síntesis de fotoasimilados (Martínez y Garcés, 2010). Los efectos nutricionales dependen de la influencia que ejerce cada nutrimento sobre los procesos fisiológicos y bioquímico de las plantas (Mengel *et al.,* 2001). En esta investigación se evaluaron 4 dosis de NPK con tres densidades de plantación para lechuga “iceberg” con la finalidad de obtener la mejor dosis de fertilización de este cultivo que sirva de base para realizar un programa de fertilización.

Materiales y Métodos

Establecimiento del experimento

Se instaló un ensayo experimental en la comunidad de Xochimilco-Tecamachalco Estado de Puebla con coordenadas, latitud 18.843º, y longitud -97.744, se sembró un cultivo de lechuga *cv*. "*Oriola*" a campo a cielo abierto en un suelo con textura arcillosa.

Diseño experimental

Se diseñó un experimento en bloques aleatorios con arreglo de parcelas divididas, con cuatro repeticiones en el que las parcelas grandes correspondieron a las densidades de plantación y la parcela chica a las dosis de fertilización. Se probaron tres densidades de plantación, densidad 1 (D=50,000 plantas/ha), densidad 2 (D2=55,000 plantas/ha), densidad 3 (D3=60,000 plantas/ha). Las dosis de nitrógeno – fósforo y potasio (NPK) que se evaluaron fueron: Dosis 1 (DF1=88N-20P-171K), dosis 2 (DF2=102N-23P-200K), dosis 3 (DF3=117N-27P-228K) y testigo (DF4=73N-17P-143K). La dosis para el testigo se calculó para el potencial de rendimiento promedio de la zona hortícola de Tecamachalco. Las dosis 1,2 y 3 se calcularon para un incremento del 20, 40 y 60% del rendimiento testigo. Los tratamientos consistieron en las siguientes combinaciones: T1 (D1xDF1), T2 (D1xDF2), T3 (D1xDF3), T4 (D1xDF4), T5 (D2xDF1), T6 (D2xDF2), T7 (D2xDF3), T8 (D2xDF4), T9 (D3xDF1), T10 (D3xDF2), T11 (D3xDF3) y T12 (D3xDF4). Cada parcela dividida consistió en 6 surcos de 8.5 m de longitud y ancho de surco de 0.9 m, dando un área de 45.9 m^2. La fertilización se realizó en tres fraccionamientos de la dosis de fertilización en cada tratamiento.

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestran las curvas para cuatro dosis de nitrógeno con su correspondiente rendimiento en toneladas/hectárea, y tres densidades de plantación, en donde se observa que los rendimientos más altos se encontraron para la densidad más alta de 65,000 plantas/hectárea, 93 toneladas/hectáreas para un suministro de nitrógeno de 117 kg/ha, seguido por un rendimiento de 85 t/ha para un suministro de 102 Kg/ha estos rendimientos son cercanos a 100 t/ha para una dosis de 250 ppm de N, los encontrados por (Djidonou and

Leskovar, 2019). Por otro lado, Martínez y Garcés, (2010) encontraron rendimientos para lechuga “romana” rendimientos del orden de 20 a 25 t/ha para dosis de potasio que fueron del orden de 200 a 300 ppm, esto está en correspondencia que a mayores aplicaciones de nutrimentos se obtienen mejores rendimientos hasta llegar a un límite máximo. De Barros Sylvestre *et al.* (2019) encontró los valores más altos de rendimiento para una dosis de 120 kg/ha de nitrógeno para un ciclo de invierno, reportando un rendimiento de 44.6 t/ha y para el ciclo de primavera un rendimiento de 20.3 t/ha para una dosis de 60 kg/ha de N.

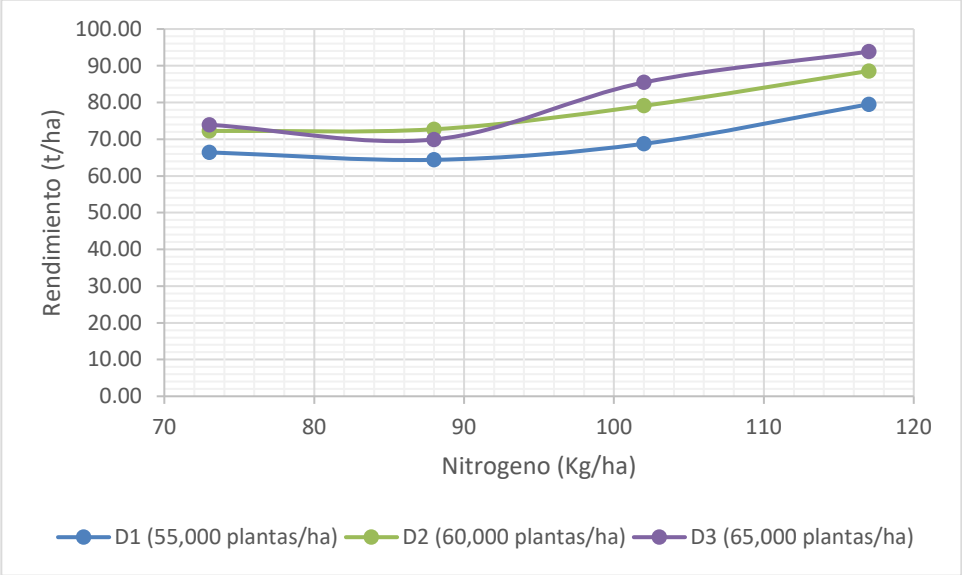


Figura 1. Rendimiento de lechuga, dosis de nitrógeno para tres densidades de plantación.

Para el caso de fósforo cuando se suministraron 23 y 27 kg/ha es donde se obtuvieron los mayores rendimientos (Figura 2), esta misma tendencia se observó para el caso del potasio (Figura 3) teniéndose una dosis de 200 kg/ha de este elemento. Para fines de recomendación se puede utilizar las dosis 3, ya que nos garantiza un rendimiento suficientemente alto, quizás ligeramente por debajo de la dosis 4. Sin embargo, esta dosis es muy alta y frente a los precios de los fertilizantes en la actualidad quizás conviene hacer una aplicación de NPK no demasiado elevados. Chagas *et al.* (2015), encontraron que los mejores rendimientos para fosforo en lechugas fue aplicar una solución nutritiva con cantidades de fosforo que van de 400-800 ppm de este elemento, después de esos rangos los rendimientos en peso freso, área foliar empiezan a decrecer. Sorensen *et al.* (1994), recomiendan una fertilización del cultivo de entre

100-200kg/ha, y los niveles encontrados en esta investigación se encuentran dentro de los rangos que estos autores mencionan.

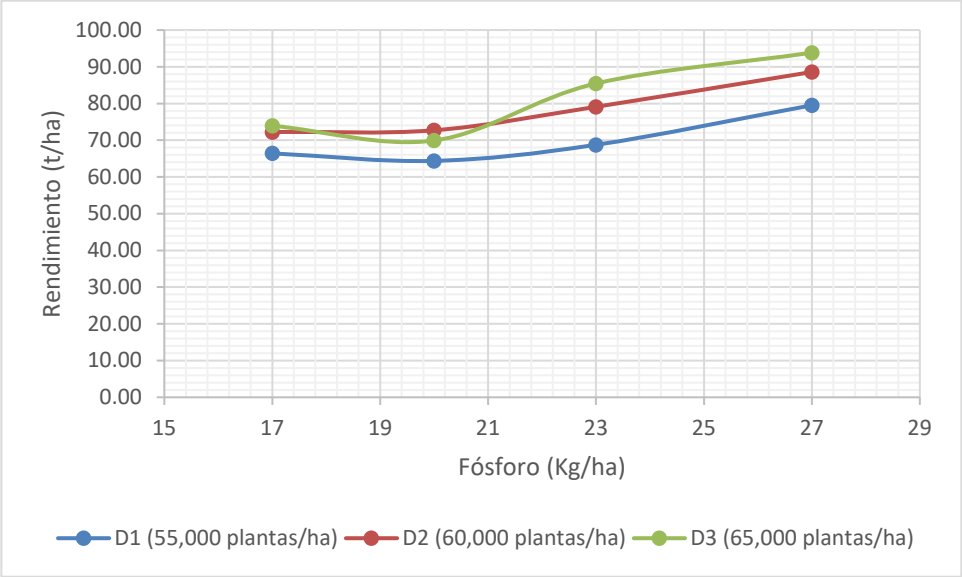


Figura 2. Rendimiento de lechuga, dosis de fósforo para tres densidades de plantación.

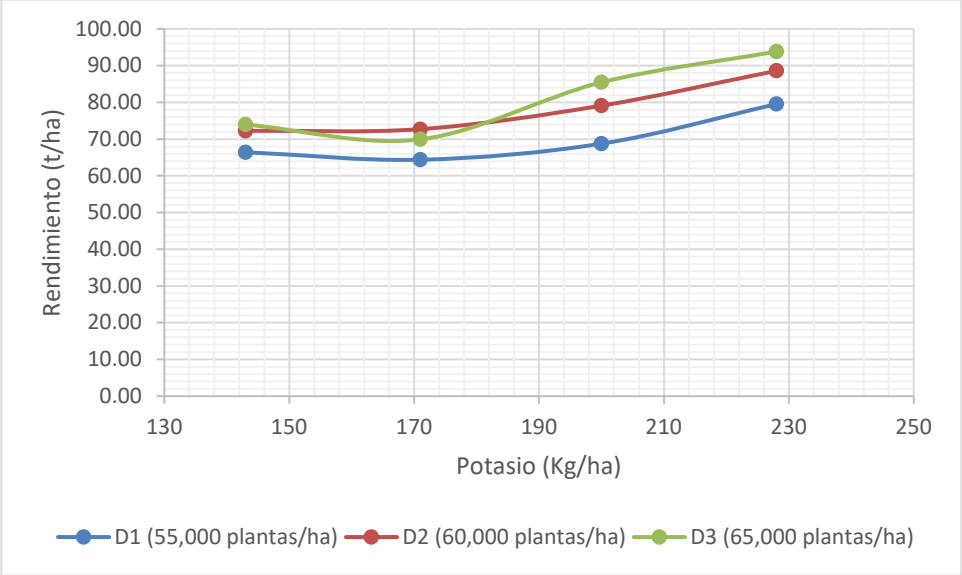


Figura 3. Rendimiento de lechuga, dosis de potasio para tres densidades de plantación.

A continuación, se presentan las funciones de rendimiento para cada una de las densidades, los cuales permiten estimar la cantidad de NPK (kg/ha) a aplicar según la meta de rendimiento en la región del Estado de Puebla.

Funciones de rendimientos para densidad de plantación de 55,000 plantas/Hectáreas.

$$R1 = 36.886 - 5.111 * N + 12.797 * P + 1.295 * K \quad (1)$$

funciones de rendimientos para densidad de plantación de 60,000 plantas/Hectáreas.

$$R2 = 40.520 - 2.808 * N + 7.817 * P + 0.726 * K \quad (2)$$

funciones de rendimientos para densidad de plantación de 65,000 plantas/Hectáreas.

$$R3 = 18.713 - 18.522 * N + 15.859 * P + 7.956 * K \quad (3)$$

Conclusiones

Derivado de la investigación, se encontró que la densidad de 65,000 plantas/ha es la densidad recomendable para el cultivo de lechuga y se en cuanto a la aplicación de la fertilización se recomienda aplicar una dosis intermedia entre la dosis alta y la baja ya que es la que produjo los más altos rendimientos, y con ello no provocar acumulaciones excesivas y peligrosas de nitratos en las hojas ya que la acumulación de nitrógeno en forma de nitratos causa problemas serios de salud. Además, contar con una función de rendimiento que dependa de la dosis de NPK ayuda de cierta forma calcular la dosis de NPK para un rendimiento meta.

Literatura Citada

Benincasa, P., M. Guiducci, and F. Tei. 2011. The nitrogen use efficiency: Meaning and sources of variation-case studies on three vegetable crops.

De Barros Sylvestre, T., Braos, L. B., Batistella Filho, F., da Cruz, M. C. P., and Ferreira, M. E. 2019. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. Scientia Horticulturae, 255:153-160.

Djidonou, D., and Leskovar, D. I. 2019. Seasonal changes in growth, nitrogen nutrition, and yield of hydroponic lettuce. HortScience, 54(1):76-85.

Martínez, F. E., y Garcés, G. A. 2010. Crecimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. romana) bajo diferentes niveles de potasio. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 4(2):175-184.

Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., and Appel, T. 2001. Principles of plant nutrition. Edition Kluwer academic publishers, 51-52.

Sosa, A., Padilla, J., Ortiz, J., and Etchevers, J. D. 2012. Biomass accumulation and its relationship with the demand and concentration of nitrogen, phosphorus, and potassium in lettuce. Communications in soil science and plant analysis, *43*(1-2):121-133.

Sorensen, J.N., Johansen, A.S. and Poulsen, N. 1994. Influence of growth conditions on the value of crisphead lettuce: 1. Marketable and nutritional quality as affected by nitrogen supply cultivar and plant age. Plant-Foods-for-Human-Nutrition 46:1-11.

Resh, H.M. 2012. Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. CRC Press, Boca Raton, FL.

Chagas, W. F. T., Emrich, E. B., Guelfi, D. R., Caputo, A. L. C., and Faquin, V. 2015. Productive characteristics, nutrition and agronomic efficiency of polymer-coated MAP in lettuce crops. Revista Ciência Agronômica, 46:266-276.

INFLUENCIA DE DEFICIENCIENCIAS NUTRIMENTALES DEL SUELO EN LA INCIDENCIA DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DEL CAFETO

Rafael Alberto Guajardo Panes[1], Luis Eduardo García Mayoral[2]*, Rosalío López Morgado[1], Gabriel Díaz Padilla[1], Finlandia Barbosa Moreno[2], y Rafael Iván Granados Argüello[1]

Resumen

En México, más del 70% de los cafetales son cultivados bajo sistemas agroforestales con prácticas tradicionales de mínima tecnología en su manejo, la nutrición de los suelos implica realizar manejos para mejorar sus rendimientos, sin embargo, se tiene poca evidencia de la magnitud de la relación que tiene éste con la incidencia de plagas y enfermedades. En este sentido, en el presente trabajo se planteó como objetivo cuantificar la relación entre la deficiencia de nutrientes en el suelo y la incidencia de plagas y enfermedades en el cafeto. Se consideraron como base de consulta y análisis los resultados de monitoreo de fincas de café en estados productores del aromático, por parte de técnicos del Programa Productividad para el Bienestar; adyacente a estas acciones, se realizó la colecta de información en áreas productoras de café en nueve estados, a fin de saber la incidencia de plagas y enfermedades y la calidad de los suelos en cuanto a nutrición se refiere. Lo anterior, se realizó mediante la colecta de información *in-situ* en fincas cafetaleras. A los datos se les realizó análisis exploratorio y mediante la técnica multivariada de análisis de correlación canónica, se cuantificó la relación entre los indicadores ya mencionados. Se observó que de forma directa los nutrientes cuantificados no tienen relación directa con la presencia de plagas y enfermedades vinculadas directamente con el cultivo de café, sin embargo, en conjunto, la limitación del Fe mostró mediana relación ($\hat{\rho}_1 = 0.5127$) con la incidencia de antracnosis y la mancha de hierro, en tanto que el Mg, Mn, P y Fe registró moderada relación ($\hat{\rho}_2 = 0.3090$) con la incidencia de mancha de hierro, minador de hoja y ojo de gallo.

[1] SE Teocelo/CE Cotaxtla. CIRGOC. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
[2] CE Valles Centrales. CIRPAS. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
garcia.eduardo@inifap.gob.mx

Palabras clave: nutrición edáfica, correlación canónica, fitosanidad

Introducción

Para asegurar la rentabilidad de una finca de café, es necesario considerar, además de cumplir con los requisitos de vocación natural, las características fisicoquímicas del suelo, pues serán estas las que se aprovechen con el suministro de los nutrientes que contribuyen a la producción de café cereza (Zetina *et al.*, 2013). La producción de café y el medio ambiente que rodea las fincas se benefician cuando el suelo se utiliza de forma sustentable, esto propicia que siga manteniendo sus aptitudes y conserve su calidad, permitiendo que siga siendo capaz de satisfacer las necesidades de predios cafetaleros por más tiempo, sin interrupción y sin debilitarlo o bien, sin perder el potencial productivo y calidad (Geissert *et al.*, 2013). Por otro lado, Velasco (1999) resalta que la nutrición del suelo tiene influencia en el crecimiento y supervivencia de patógenos, en la predisposición, tolerancia y resistencia de las plantas lo que se traduce en mejor desarrollo y rendimiento. La relación entre la cantidad de macronutrientes en el suelo y la incidencia de plagas y enfermedades en el cafeto ha sido estudiada por Wairegi y van Asten (2012); Mokondoko *et al.* (2022) y Martins *et al.* (2020), sin embargo, en México hay pocos trabajos realizados en las principales regiones cafetaleras y sobre todo con pequeños productores. El presente trabajo tiene como objetivo cuantificar la relación de nutrientes contenidos en los suelos donde se encuentran establecidas fincas de café con la incidencia de plagas y enfermedades, mediante la aplicación de metodologías estadísticas multivariadas.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló bajo el marco del Programa Productividad para el Bienestar de las regiones operativas de los estados productores de café cereza en México bajo la responsabilidad del M.C. Luis Eduardo García Mayoral, en las que se encuentran las vertientes

de las cadenas montañosas del centro y sur del país, en terrenos con pendientes que van de las más suaves a las muy pronunciadas, y bajo la cubierta de un dosel diverso de árboles (López *et al.*, 2013). En la actualidad, en México se identifican cuatro grandes macrorregiones administrativas con características propias y condiciones agroecológicas adecuadas para el cultivo, estas macrorregiones; son (Barrientos, 1990): 1) Vertiente del Golfo de México, 2) Vertiente del Océano Pacífico, 3) Región de Soconusco y 4) Región centro-norte de Chiapas. La desagregación de las zonas donde fue recopilada la información se muestra en la Figura 1.

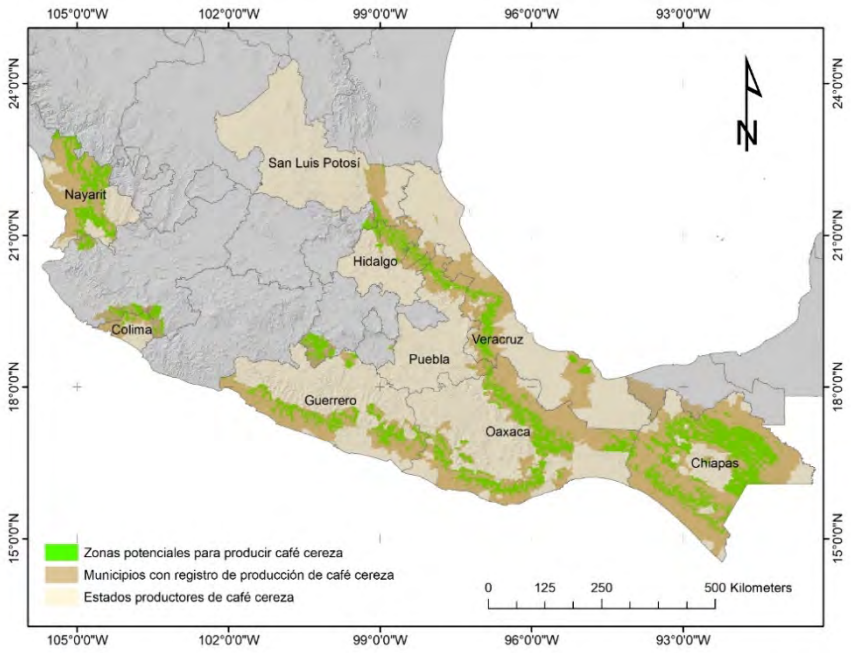


Figura 1. Distribución espacial de estados, municipios y zonas potenciales para la producción de café cereza en México.

Descripción de la base de datos

Se conformó una base de datos con información de 1,488 fincas en las que se registró información de alrededor de 63 variables en las que se incluyen datos generales de la parcela, estado del cultivo, estado de la producción, estado de fertilidad, síntomas de deficiencias nutrimentales en plantas, presencia-ausencia de plagas y enfermedades y costo-beneficio de la producción. Para el caso del presente estudio solo se tuvo acceso a los indicadores en lo que se registraron las deficiencias de suelo e incidencia de plagas y enfermedades por lo que

se conformó una base de datos con 17 variables y 1488 registros; la descripción de las variables y codificación se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Codificación y descripción de indicadores químicos de suelo e incidencia de plagas y enfermedades monitoreadas consideradas en el presente estudio.

Variable	Deficiencia en suelos (%)	Variable	Incidencia de plagas y enfermedades (%)
%DefiN	Nitrógeno	PorcentIncRoya	Roya del cafeto
%DefiP	Fósforo	PorcentIncOjoGall	Ojo de gallo
%DefiiK	Potasio	PorcentIncManchHierr	Mancha de hierro
%DefiMg	Magnesio	PorcentIncMalHil	Mal de hilachas
%DefiS	Azufre	PorcentIncAntrac	Antracnosis
%DefiFe	Hierro	PorcentIncMinador	Minador de hoja
%DefiB	Boro	PorcentIncbroca	Broca en el fruto
%DefiCa	Calcio		
%DefiMn	Manganeso		
%DefiZn	Zinc		

Análisis de datos

El análisis tanto exploratorio como de correlación canónica se realizó en el entorno para la computación estadística de R (R Core Team, 2020), en el que se calcularon estadísticas y gráficos descriptivos de dispersión y correlación. En lo referente al análisis de asociación de grupos de variables, se aplicó el análisis de correlación canónica, el cual permite cuantificar la relación lineal entre un grupo de variables, **X**, que, para el presente estudio, son los indicadores de deficiencia en suelos, y un grupo, o más de un grupo de variables **Y**, que para el estudio son los indicadores de incidencia de plagas y enfermedades presentes en el cafeto (Urrutia *et al.*, 2011).

Resultados y Discusión

En el análisis exploratorio se observa que las fincas que fueron monitoreadas en el estado de Oaxaca representan el 39% de las concentradas a nivel nacional, en las que se registraron

fincas con extensiones de entre 1.07 y 1.23 ha en promedio; le sigue con el 24% el estado de Chiapas con fincas de entre 1.02 y 1.17 ha; para el caso del estado de Guerrero, se observó que la extensión promedio de las fincas osciló entre los 1.27 y 1.60 ha, siendo este estado el que registró fincas con mayor extensión en contraste con las extensiones promedio registradas en los estados de San Luis Potosí (entre 0.41 y 0.59 ha), Hidalgo (entre 0.58 y 0.78 ha) y Veracruz (entre 0.70 y 0.87 ha) y que mayor detalle se puede consultar en la Cuadro 2.

Cuadro 2. Desagregación de fincas monitoreadas por estado, superficie representada y tamaño promedio de la finca.

Estado	Fincas	Superficie (ha)	Superficie promedio por finca (ha)
Oaxaca	581	669.98	1.07 - 1.23
Chiapas	359	392.30	1.02 - 1.17
Puebla	177	180.12	0.92 - 1.11
Veracruz	172	135.24	0.70 - 0.87
Guerrero	88	126.50	1.27 - 1.60
Hidalgo	42	28.65	0.58 - 0.78
San Luis Potosí	29	14.60	0.41 - 0.59
Nayarit	25	38.65	1.07 - 2.03
Colima	15	19.00	0.97 - 1.57
Total	1,488	1,605.03	1.04 - 1.12

Análisis descriptivo

En la Cuadro 2, se observa el desplegado de estadísticas descriptivas, en el que se puede resaltar que la deficiencia en el suelo con mayor variabilidad entre las fincas monitoreadas es el manganeso (CV=237.02) y que solo el 25% de las fincas registraron valores de entre 6 y 100% de deficiencia en este elemento (último cuartil); le sigue la deficiencia de azufre (CV=209.47) con una representación del 25% de fincas con valores que van de 9.75 al 100% de deficiencia (último cuartil). En el caso de deficiencia de nitrógeno, se observó que el 50% de las fincas registraron entre deficiencias entre los 3 y 35% (segundo y tercer cuartil).

En lo referente a incidencia de plagas, en la Cuadro 3, se observó que la roya ocupa el primer lugar de presencia en los cafetos, seguido del ojo de gallo y la mancha de hierro. Con mayor variabilidad se observó que está presente el mal de hilachas (CV=285.37), la broca del cafeto

(CV=278.78) y el minador de hoja (CV=249.89), con variaciones en el último cuartil que van del 0 al 100%.

Cuadro 3. Estadística descriptiva de las deficiencias de indicadores químicos de suelo e incidencia de plagas y enfermedades monitoreadas en fincas productoras de café cereza.

Variable	Media	DE*	CV**	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
%DefiN	24.44	27.33	111.81	0	3	15	35	100
%DefiP	14.56	24.16	165.85	0	0	4	17	100
%DefiiK	15.32	24.91	162.55	0	0	4	18	100
%DefiMg	12.82	23.70	184.90	0	0	1	14	100
%DefiS	9.86	20.66	209.47	0	0	0	9.75	100
%DefiFe	15.20	25.19	165.71	0	0	4	18	100
%DefiB	11.8	23.99	202.10	0	0	0	11	100
%DefiCa	15.15	26.57	175.31	0	0	2	16	100
%DefiMn	8.55	20.26	237.02	0	0	0	6	100
%DefiZn	9.57	21.71	226.80	0	0	0	7	100
PorcentIncRoya	24.72	27.24	110.19	0	0	14	43	100
PorcentIncOjoGall	12.36	19.88	160.89	0	0	2	18	100
PorcentIncMancHierr	9.62	17.87	185.73	0	0	0	11	100
PorcentIncMalHil	2.69	7.70	285.37	0	0	0	0	100
PorcentIncAntrac	5.64	12.52	221.91	0	0	0	6	100
PorcentIncMinador	5.88	14.71	249.89	0	0	0	4	100
PorcentIncbroca	5.89	16.42	278.78	0	0	0	1	100

*DE: Desviación estándar
**CV: Coeficiente de variación

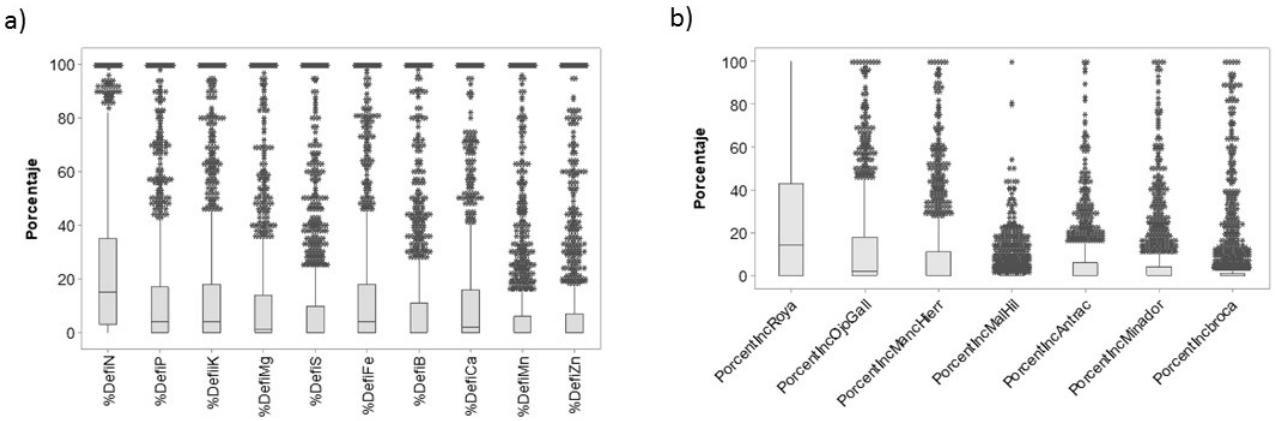


Figura 2. Diagrama de cajas y alambres para a) Deficiencias de indicadores químicos de suelo y b) Incidencia de plagas y enfermedades monitoreadas en fincas productoras de café cereza.

En la Figura 3, se muestra la matriz de correlaciones entre deficiencias de indicadores químicos de suelo e incidencia de plagas y enfermedades monitoreadas en fincas productoras de café cereza, en donde se observan correlaciones “fuertes” entre la deficiencia del potasio y del fósforo ($\rho = 0.74$), en tanto que con el magnesio se encuentran relacionadas el manganeso ($\rho = 0.76$), hierro ($\rho = 0.73$), azufre y zinc ($\rho = 0.72$).

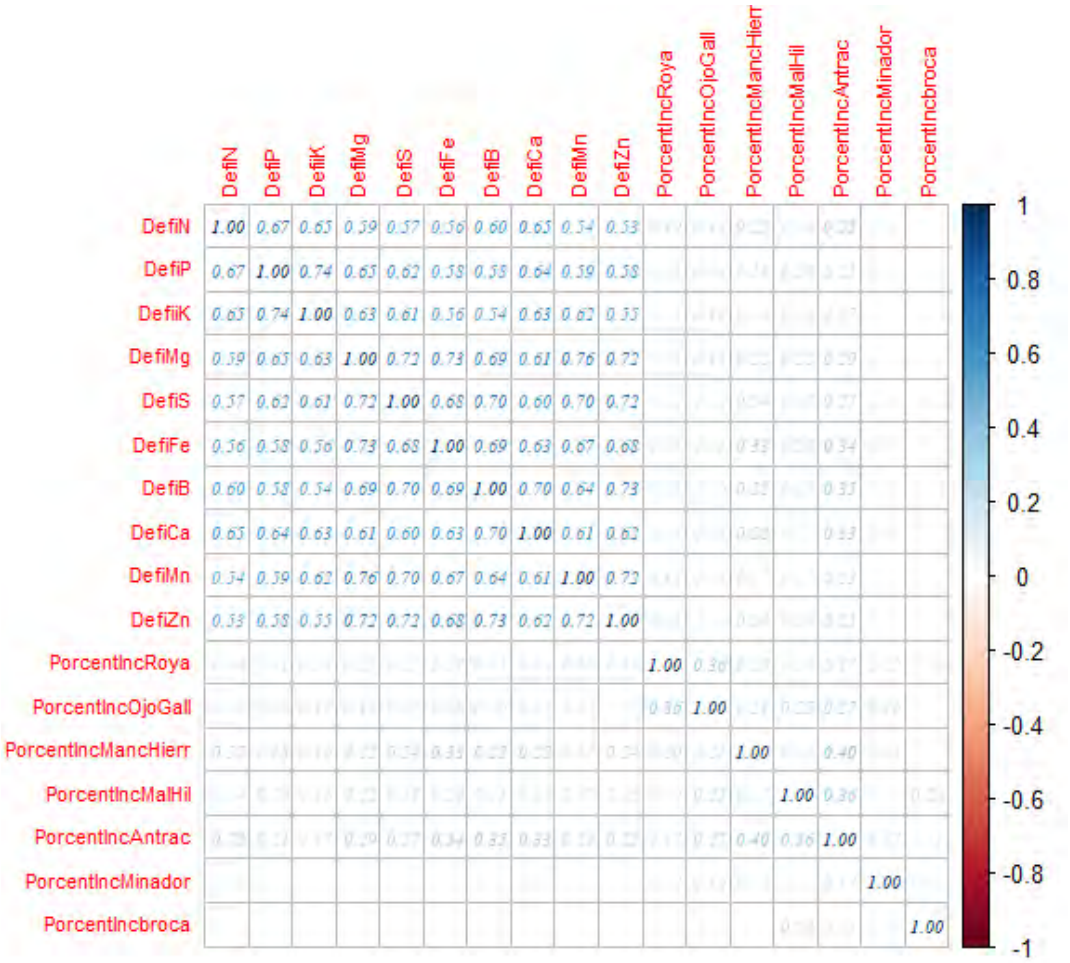


Figura 3. Matriz de correlaciones simples entre deficiencias de indicadores químicos de suelo e incidencia de plagas y enfermedades monitoreadas en fincas productoras de café cereza.

Análisis de correlación canónica

Se identificaron dos redes de asociación entre los indicadores de la deficiencia de elementos del suelo y la presencia de enfermedad y plagas en plantas de cafeto, la primera registró la correlación canónica de $\hat{\rho}_1 = 0.5127$ y la segunda de $\hat{\rho}_2 = 0.3090$, que de acuerdo con la escala descrita por Guajardo (1999), se pueden establecer como relaciones mediana y

moderada, respectivamente; ambas son significativas $(p = 0.000)$. Es importante considerar que se registraron correlaciones significativas sin relación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Representación de variables canónicas y significancia.

	Correlación canónica (R)	Correlación canónica (R^2)	Valor de χ^2	Grados de libertad	Valor *p*	Lambda
0	**0.5127**	0.2628	603.5015	70	0.0000	0.5765
1	**0.3090**	0.0955	269.2062	54	0.0000	0.7822
2	0.2374	0.0563	159.1725	40	0.0000	0.8648
3	0.2099	0.0440	95.5595	28	0.0000	0.9165
4	0.1575	0.0248	46.1555	18	0.0003	0.9587
5	0.1057	0.0111	18.6028	10	0.0456	0.9831
6	0.0755	0.0057	6.2661	4	0.1801	0.9942

Los indicadores de deficiencia de elementos del suelo con representatividad en la primera correlación cacanónica es la deficiencia de hierro, en tanto que para la segunda se identificaron la deficiencia de fósforo, magnesio, hierro y manganeso (Cuadro 5).

Cuadro 5. Aportación de la deficiencia de elementos del suelo a la correlación canónica (variables independientes).

	VI-CC0*	VI-CC1*	VI-CC2*	VI-CC3*	VI-CC4*	VI-CC5*	VI-CC6*
DefiN	0.2281	-0.0020	0.1221	-0.9160	-0.4286	0.1661	-0.5362
DefiP	0.0631	**-0.4885**	-0.1766	0.3877	-0.9454	-0.4216	0.1352
DefiiK	-0.0106	0.2380	0.9491	0.2660	-0.0659	0.1099	-0.7365
DefiMg	-0.0801	**-0.8631**	-0.1037	0.5988	0.0015	0.0747	0.3073
DefiS	0.0698	0.5106	-0.4109	0.7441	0.6040	-0.4835	-0.5226
DefiFe	**0.5408**	**0.4459**	0.2337	-0.1922	-0.3080	-0.0901	0.9256
DefiB	0.1391	-0.2854	-0.6087	0.1745	0.0796	1.4166	-0.1477
DefiCa	0.2244	0.1792	0.8085	0.0401	0.6850	0.0728	0.5104
DefiMn	-0.0004	**-0.7833**	-0.3897	-0.7295	0.6817	-0.5097	-0.0892
DefiZn	-0.0076	0.9515	-0.4553	-0.3689	-0.2312	-0.4368	-0.1493

*VI-CC: Variable independiente de la correlación canónica.

En lo que corresponde a indicadores de incidencia de plagas y enfermedades con representatividad en la primera correlación cacanónica se identificaron la mancha de hierro y

la antracnosis, mientras que para la segunda se identificaron la incidencia de ojo de gallo, mancha de hierro y minador de hoja (Cuadro 6).

Cuadro 6. Aportación de la incidencia de plagas y enfermedades a la correlación canónica (variables dependientes).

	VD-CC0*	VD-CC1*	VD-CC2*	VD-CC3*	VD-CC4*	VD-CC5*	VD-CC6*
IncRoya	0.2215	-0.1525	-0.1629	-0.8133	-0.0562	0.3055	-0.5631
IncOjoGall	0.1332	**-0.4779**	0.9474	0.3189	-0.0267	0.0804	0.1744
IncMancHierr	**0.4542**	**0.7383**	0.1417	0.2265	-0.5553	0.4115	0.0870
IncMalHil	0.0680	-0.2237	-0.2349	0.1582	-0.7655	-0.5998	-0.4529
IncAntrac	**0.5387**	-0.2273	-0.4590	-0.0265	0.9365	-0.2605	0.3354
tIncMinador	-0.1162	**0.5669**	0.3051	-0.0610	0.3651	-0.5453	-0.4212
Incbroca	-0.0835	-0.0655	-0.0957	0.5971	0.2561	0.5449	-0.5454

*VD-CC: Variable dependiente de la correlación canónica.

Con la finalidad de facilitar la interpretación de las correlaciones canónicas, se elaboraron dos redes de asociación y se despliegan en la Figura 4. Se observa que la correlación canónica a), la creciente deficiencia de hierro en el suelo contribuye medianamente al incremento de la incidencia de antracnosis y hierro en plantas de café. Para el caso de la correlación canónica b), se observa que la creciente deficiencia de hierro y la disminución de deficiencias de magnesio, manganeso y fósforo, contribuyen moderadamente al incremento de incidencia de hierro y de minador de hoja, sin embargo, el comportamiento es inverso para la incidencia de ojo de gallo.

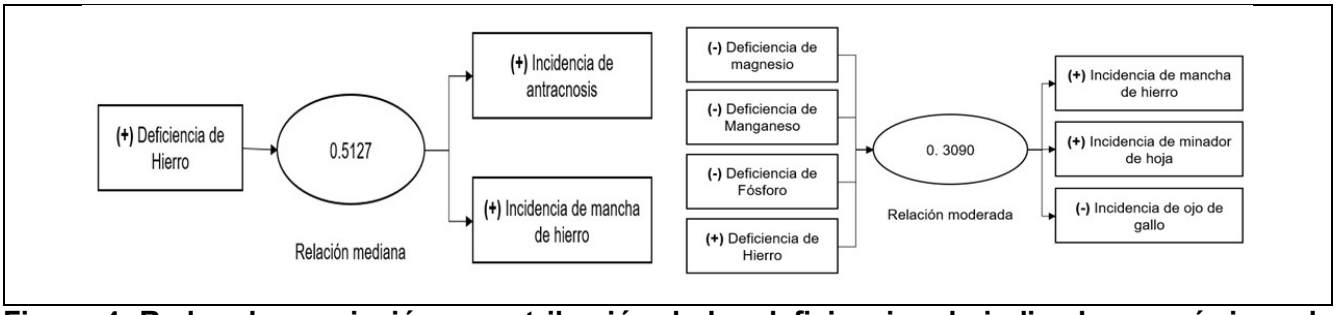


Figura 4. Redes de asociación y contribución de las deficiencias de indicadores químicos de suelo e incidencia de plagas y enfermedades monitoreadas en fincas productoras de café cereza en dos correlaciones canónicas.

Conclusiones

En general, los efectos de los nutrientes sobre el comportamiento de las plantas de café cereza frente a la incidencia de plagas y enfermedades es explicado no solo por el control de los patógenos, sino también por los nutrientes dispuestos en el suelo y el presente estudio evidencia que la falta de Fe, Mg, Mn y P, conducirá al cultivo a registrar mayor incidencia de enfermedades siendo este un factor de influencia en los rendimientos, por tanto, es importante considerar al plan de control la aplicación de estos nutrientes al suelo que coadyuven a contrarrestar la presencia de plagas y enfermedades.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo de los técnicos del Programa Productividad para el Bienestar de las regiones operativas de los estados incluidos en este trabajo.

Literatura Citada

Barrientos, M. E. 1990. Ecología del cafeto. p. 27-32. *In:* Instituto Mexicano del café-Nestlé (eds.). El cultivo del Cafeto en México. Editorial La Fuente, S. A. Xalapa, Ver., México.

Geissert, D. Barois, I., Mólgora, A. Mokondoko, P. Maas, K. y Manson, R. 2013. Manual para el manejo sustentable del suelo en cafetales de sombra. INECOL. Xalapa, Ver., México. 52 p.

Lopez, M.R., Escamilla, P.E., Díaz, P.G., Guajardo, P.R.A., Martínez, R.J.L., García, M.L.E., Castillo, G.M.C, López, R.M.A. y Barreda, R.S. 2013. La cafeticultura en México y su problemática. *In*: López, M.R., Díaz, P.G. y Zamarripa, C.A. (comps.). El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.

Martins N. F. L., A. Nain P., M. De P. Pimenta, J. E. Santana P. C. and R. H. Silva S. 2020. Soil chemical characteristics on coffee plantations fertilized with continuous application of compost and green manure. Communications in Soil Science and Plant Analysis 51:6, 829-838.

Mokondoko P., V. S. Avila F. and J. M. Galeana P. 2022. Biophysical drivers of yield gaps and ecosystem services across different coffee-based agroforestry management types: A global meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment 337.

R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

Urrutia, J.A., Cruz, T.E.A. y Palomino, R. 2011. Una aplicación de las correlaciones canónicas en climatología. Scientia et Technica 16(48): 263.268.

Velasco, V.V.A. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. Terra Latinoamericana 17(3):193-200.

Wairegi, L. W. I. and P. J. A Van Asten. 2012. Norms For Multivariate Diagnosis of Nutrient Imbalance In Arabica and Robusta Coffee in The East African Highlands. EXPERIMENTAL AGRICULTURE. 48 (3): 448-460.

Zetina, L.R., Vasquez, H.A., Díaz, P.G. y López, M. R. 2013. Suelos y nutrición del cafeto. p. 209-234. *In*: López, M.R., Díaz, P.G. y Zamarripa, C.A. (comps.). El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.

CRECIMIENTO DE LA PIÑA MD-2 EN FUNCIÓN DE LA COMBINACIÓN DE BOKASHI Y FERTILIZANTES INORGÁNICOS

Nain Peralta Antonio[1]*, Andrés Rebolledo Martínez[1], Gerardo Montiel Vicencio[1], María Enriqueta López Vázquez[1], Rosa Laura Rebolledo García[1], Aurelio Pérez Báez[2], Carlos A. Tinoco Álfaro[1] y Rigoberto Zetina Lezama[1]

Resumen

El abono orgánico bokashi (BO), además de permitir reutilizar insumos orgánicos locales, es una opción sustentable para para sustituir a los fertilizantes inorgánicos (FI) en el cultivo de piña; sin embargo, es necesario determinar hasta qué punto pueden ser sustituidos. El acolchado plástico total (APT) es otra práctica común en la producción de piña y se espera que su uso mejore el aprovechamiento de los nutrientes suministrados. El objetivo fue medir el crecimiento de piña MD-2, en función del ACP y diferentes proporciones de BO y FI, con la finalidad de identificar la proporción más adecuada para la fertilización de la piña. Diferentes proporciones (%) de BO y la FI (15-6-15-4 g de N-P-K-Mg por planta) fueron utilizadas: 100BO/00FI, 60BO/40FI, 40BO/60FI, 20BO/80FI y 00BO/100FI. Se utilizó como testigo un tratamiento sin fertilización y una dosis de fertilización mineral, superior a la recomendada (18-6-18-4 g de N-P-K-Mg por planta). Al momento de la cosecha de frutos, al tamaño de planta con APT fue superior al de plantas sin APT. El tamaño de las plantas fertilizadas con 60BO/40FI fue mayor al de las plantas no fertilizadas y similar al de los otros tratamientos. Con base en lo anterior, se corrobora el efecto positivo del acolchado plástico en el crecimiento de la piña MD-2, además, se demuestra que, para una densidad de 50,000 plantas/ha, el mejor efecto se obtiene cuando el 40% de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio se aplica a través de fertilizantes inorgánicos y la cantidad restante a través del bokashi.

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Medellín, Veracruz, México, CP. 94270. *Autor por correspondencia: peralta.nain@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Carretera Celaya San Miguel de Allende Kilómetro 6.5, Celaya, Gto. C.P. 38010.

Palabras clave: *Ananas comosus var. Comosus*, nitrógeno, fertilidad de suelo, macronutrientes

Introducción

El cultivo de piña en México se destaca por presentar un sistema de producción convencional. Esto implica que la nutrición de planta se realiza principalmente a través del uso de FI. Veracruz es el principal estado productor (SIAP, 2022), específicamente en la región del Bajo Papaloapan. Los principales estudios sobre la nutrición de la piña se han realizado en dicha región y se ha detectado que el requerimiento nutrimental aumenta, a medida que aumenta la densidad de plantación. Para una densidad de 60 000 plantas/ha (frutos de 2.1 kg y rendimiento de 125 t/ha) la extracción por hectárea es de 600, 60, 750, 280, 180, 170, 6, 0.6, 0.9, 1 y 1 kg de N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Cu, Zn, B y Mb, respectivamente. Para poder suplir las necesidades nutrimentales del cultivo, las dosis recomendadas fluctúan entre 8-3-8-2 y 18-5-18-4 g de N-P_2O_5-K_2O-Mg (Rebolledo *et al*., 2016; Uriza *et al*., 2018). Estas dosis de FI resultan en una aplicación de entre 3 y 5 t/ha/ciclo, para lograr rendimientos de hasta 110 t/ha de fruta fresca (Uriza *et al*., 2018). Esto ha contribuido en el deterioro de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, en general estos suelos presentan problemas de acidez, compactación, baja actividad y diversidad microbiológica (Zetina *et al*., 2005; Espinoza, 2016). Además del deterioro del suelo, estas prácticas generan contaminación, por lo que el cultivo de piña contribuye a la degradación ambiental y a la emisión de gases de efecto invernadero, siendo los nutrientes de origen orgánico una alternativa viable para la solución a este problema (Paungfoo *et al*., 2012; Rothe *et al*., 2019).

Otra práctica que se ha vuelto común en el sistema de producción es, el acolchado plástico total. Esta práctica se recomienda principalmente para evitar la pérdida de suelo ocasionado por la erosión hídrica, ya que, la pérdida constante de partículas finas ha ocasionado suelos de baja fertilidad, con problemas de acidez (Francisco-Nicolas *et al*., 2015; Rebolledo *et al*., 2016; Crivelli, 2017). Además de conservar el suelo, el plástico tiene la ventaja de reducir la proliferación de arvenses y reducir la pérdida de humedad del suelo (Uriza *et al*., 2018). Todas

estas características hacen que el acolchado plástico afecte el rendimiento de la planta y la calidad del fruto (Aguilar *et al*. 2021; Seman *et al*., 2021; Patnaik *et al*., 2022).

El abono orgánico bokashi puede ser una alternativa sustentable para sustituir a los FI en el cultivo de la piña. El proceso de elaboración de este producto se caracteriza por una fermentación aeróbica y puede ser elaborado utilizando residuos orgánicos locales (Ramos y Terry, 2014). Algunos estudios reportan que piñas manejadas orgánicamente fueron calificadas sensorialmente con aroma más dulce y con mejor fragancia (Liu y Liu, 2012). Incluso, en el cultivar “Queen Victoria” se ha reportado que la fertilización orgánica puede promover peso de fruto piña similar al logrado con FI (Rothe *et al*., 2019).

Los fertilizantes orgánicos se caracterizan por presentar baja capacidad nutrimental, las concentraciones de N fluctúan entre 1% y 2%, mientras que las de K se mantienen entre 1.5% y 3.5% (Perez *et al*., 2008), debido a esto, la fertilización de la piña exclusivamente por fuentes orgánicas es inviable, ya que se requeriría cantidades que fluctúan entre las 43 y 64 t/ha. Por lo tanto, una mejor opción es reducir las dosis de FI y complementarlas con baja dosis de fertilizantes orgánicos. Se espera que esta combinación tenga un mejor efecto en suelos ácidos, de baja fertilidad y textura arenosa, debido a que, los aniones y compuestos de bajo peso molecular que son liberados durante el proceso de mineralización propicien la desorción del fósforo, aumentando su disponibilidad en la solución del suelo. La liberación de cationes básicos y los compuestos de bajo peso molecular también tienen efecto alcalino, capaz de neutralizar la acidez del suelo, de igual forma, incrementa la capacidad de retención de iones en el suelo, todo lo anterior tiene efecto positivo en el aprovechamiento de los nutrientes aplicados a través de la fertilización mineral (Souza *et al*., 2006; McCauley *et al*., 2017). A pesar de los estudios existentes en otras regiones del mundo, en México aún es limitado el conocimiento sobre el efecto del abono orgánico bokashi sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de la piña, por lo que, el objetivo del estudio fue medir el crecimiento de piña MD-2, en función del uso de acolchado plástico total y diferentes proporciones del abono orgánico bokashi y FI, con la finalidad de identificar la proporción más adecuada para la fertilización de la piña.

Materiales y Métodos

Vástagos de piña MD-2 de 600 g fueron plantados el 01/12/2019, con densidad de 50,000 plantas/ha, en el sitio denominado el Callejón de los Aguilar, ubicado en el municipio de Isla, Veracruz (18°06'57.2'' N y 95°33'30.6'' W). El suelo utilizado se clasifica con textura de migajón arenoso (63.2% de arena, 9.8% de arcilla y 27% de limo), 4.02 de pH, 1.45% de materia orgánica, 12.0, 37.3, 80.0, 126.0, 73.8, 0.40 y 3.58 mg/kg de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn, respectivamente. La temperatura ambiental, humedad relativa y la precipitación fue monitoreada durante el periodo que duró el estudio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comportamiento de clima durante el periodo que duro el experimento de nutrición de piña MD-2, en Isla, Veracruz.

Mes	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Medad relativa (%)	Precipitación acumulada (mm)
			2019		
Diciembre	24.2	29.2	22.8	75.5	5.0
			2020		
Enero	22.1	25.5	19.9	83.1	39.0
Febrero	22.5	26.0	19.7	80.9	22.2
Marzo	26.2	31.7	22.0	69.9	0.6
Abril	29.5	36.1	24.6	63.9	0.2
Mayo	28.9	33.2	24.9	62.6	79.6
Junio	27.2	30.9	24.0	75.5	173.2
Julio	27.6	32.0	24.1	72.6	177.2
Agosto	26.4	30.6	23.8	80.0	316.8
Septiembre	26.4	30.1	23.5	77.0	188.2
Octubre	25.4	29.3	22.5	74.8	72.8
Noviembre	23.4	26.6	21.2	80.5	239.0
Diciembre	21.0	24.6	18.3	75.5	7.6
			2021		
Enero	21.5	24.3	19.4	78.6	36.0
Febrero	22.2	26.5	18.9	73.4	8.2
Marzo	24.6	29.6	20.8	66.3	46.4

Los factores de estudios fueron el acolchado plástico (con y sin) y las proporciones de bokashi (BO/fertilización inorgánica (FI). El BO se combinó con la FI en la dosis 15-6-15-4 g/planta de N-P-K-Mg, las proporciones (%) de BO y FI fueron las siguientes: 100BO/0FI, 60BO/40FI, 40BO/60FI, 20BO/80FI y BO0/100FI. Se utilizó como testigo un tratamiento sin fertilización y una dosis de FI superior (FIS) a la recomendada (18-6-18-4 g/planta de N-P-K-Mg) (Cuadro 5).

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. La parcela grande corresponde al acolchado plástico y la parcela chica a las proporciones de BO/FI. En cada tratamiento se consideraron cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de dos camas de doble hilera de 6 m, cada cama de 1.2 m de ancho entre centro y centro, amplitud de calle ancha de 80 cm y amplitud de calle angosta de 45 cm, con 32 cm entre plantas, resultando en promedio de 70 plantas en cada unidad experimental.

El BO utilizado se elaboró el 03/09/2019, las materias primas utilizadas fueron: estiércol vacuno, estiércol de pollo, pasto pangola y tierra, en la proporción 2:2:1:1.5 volumen/volumen. Las características químicas del bokashi fue: 7.19 de pH; 2.74 dS/m de conductividad eléctrica; 15.01, 1.90, 3.84, 2.73, 2.72, 0.69, 0.35, 0.32% de materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg, S y Na, respectivamente; 8.71 de relación C/N; concentración de 8652, 74, 367 y 616 ppm de Fe, Cu, Mn y Zn, respectivamente. El BO se aplicó en una sola dosis, cinco días posteriores a la siembra (6/12/2019) de los hijuelos. Se colocó sobre el suelo, alrededor de la planta. La cantidad de BO aplicado por hectárea y por planta, se estimó tomando como referencia su concentración de nitrógeno total (Cuadro 2). La cantidad total de nutrientes aplicados a través de los fertilizantes se presenta en el Cuadro 3.

En cuanto a la FI, el N, P, K y Mg se aplicaron de forma sólida y liquida. Para las combinaciones 60BO/40FI y 40BO/50FI, los nutrientes se aplicación 50% de forma sólida, en una y tres aplicaciones respectivamente. El otro 50% se aplicó de forma líquida, dividido en tres aplicaciones. Para la combinación 20BO/80FI, el 70% de los nutrientes se aplicó de forma sólida (en tres aplicaciones) y 30% de forma líquida (en cuatro aplicaciones). Para los tratamientos que incluyeron exclusivamente FI (0BO/100FI y FIS), el 80% de los nutrientes se aplicó de forma sólida (en tres aplicaciones) y 20% de forma líquida (en cuatro aplicaciones). La fertilización sólida se realizó en las fechas 16/12/2019, 14/02/2020 y 03/06/2020, correspondientes a los 15, 75 y 184 días posteriores a la plantación de hijuelos. La fertilización

líquida se dividió en cuatro dosis aplicado el 12/03/2020, 27/03/2020, 8/04/2020 y 23/04/2020, correspondiente a los 102, 148, 159 y 174 días posteriores a la plantación de hijuelos, respectivamente. Tanto para la fertilización sólida como para la fertilización liquida, el fertilizante se depositó en las hojas axilares más cercanas al suelo. Para aplicar N, P, K y Mg de forma sólida su utilizaron los fertilizantes: nitrato de amonio (33% de N), DAP (18%-46% de N-P), cloruro de potasio (60% de K) y sulfato de magnesio (9.8% de Mg). Para la fertilización liquida se utilizaron los fertilizantes urea (46% de N), DAP, cloruro de potasio soluble (60% de K) y sulfato de magnesio. En cada fecha de fertilización líquida, para diluir los fertilizantes se consideró una dosis de 40 ml de agua por planta.

Cuadro 2. Proporciones y cantidad de bokashi (BO) y fertilización inorgánica (FI) aplicados a la piña MD-2, en Isla Veracruz.

Tratamiento	Bokashi (%)	Fertilización inorgánica (%)	Bokashi (t/ha)	Bokashi (g/planta)
100BO/00FI	100	0	0	0
60BO/40FI	60	40	46	788
40BO/60FI	40	60	27	473
20BO/80FI	20	80	18	315
00BO/100FI	0	100 (15-6-15-4 NPKMg)	9	158
FIS*	0	18-6-18-4 NPKMg	0	0
Testigo	0	0	0	0

*FIS – Dosis de fertilización inorgánica superior a la recomendada.

El tratamiento de inducción floral se realizó el 30/09/2020 y el 03/10/2020, donde se utilizó 3 kg de etileno + 20 kg de carbón activado por cada 3000 L de agua por aplicación por hectárea. Para determinar el crecimiento de planta, fueron realizados un total de cinco muestreos, que correspondieron a los 138 (13/04/2020), 229 (16/07/2020), 297 (23/09/2020), 380 (15/12/2020) y 471 (16/03/2021) días posteriores a la plantación. Para cada fecha de muestreo, una planta representativa de cada unidad experimental fue colectada. De cada planta se registró el peso fresco total, así como el peso fresco de sus diferentes órganos (raíz, tallo, hoja, peciolo y fruto). Al momento de la cosecha (16/03/2021), para estimar el rendimiento de frutos por hectárea, tres frutos representativos fueron colectados de cada unidad experimental, el peso promedio de los tres frutos (kg), se multiplicó por 50,000, para obtener el rendimiento por hectárea. De

una planta representativa de cada unidad experimental, se registró el peso fresco total y de sus diferentes órganos (raíz, tallo, hoja, pedúnculo, fruto).

Análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) fueron realizados para comparar el efecto de los factores de estudio en la producción de biomasa.

Cuadro 3. Cantidad de nutrientes aplicados por la combinación del bokashi (BO) y la fertilización inorgánica (FI), en plantas de piña MD-2, producidos en Isla, Veracruz.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg
	g/planta				
100BO/00FI	15.0	30.3	21.5	21.4	5.4
60BO/40FI	15.0	20.6	18.9	12.9	4.8
40BO/60FI	15.0	15.7	17.6	8.6	4.6
20BO/80FI	15.0	10.9	16.3	4.3	4.3
00BO/100FI	15.0	6.0	15.0	0.0	4.0
FIS*	18.0	6.0	18.0	0.0	4.0
Testigo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

*FIS – Dosis de fertilización inorgánica superior a la recomendada.

Resultados y Discusión

El efecto del acolchado plástico en la producción de materia fresca se detectó hasta el momento de la cosecha, donde, mayor cantidad de materia fresca se detectó en las plantas producidas con acolchado plástico total (Figura 1).

En cuanto a los tratamientos de fertilización, las diferencias estadísticas se detectaron al momento de la cosecha. Las plantas fertilizadas con 40BO/60FI superaron a las plantas no fertilizadas (Figura 2).

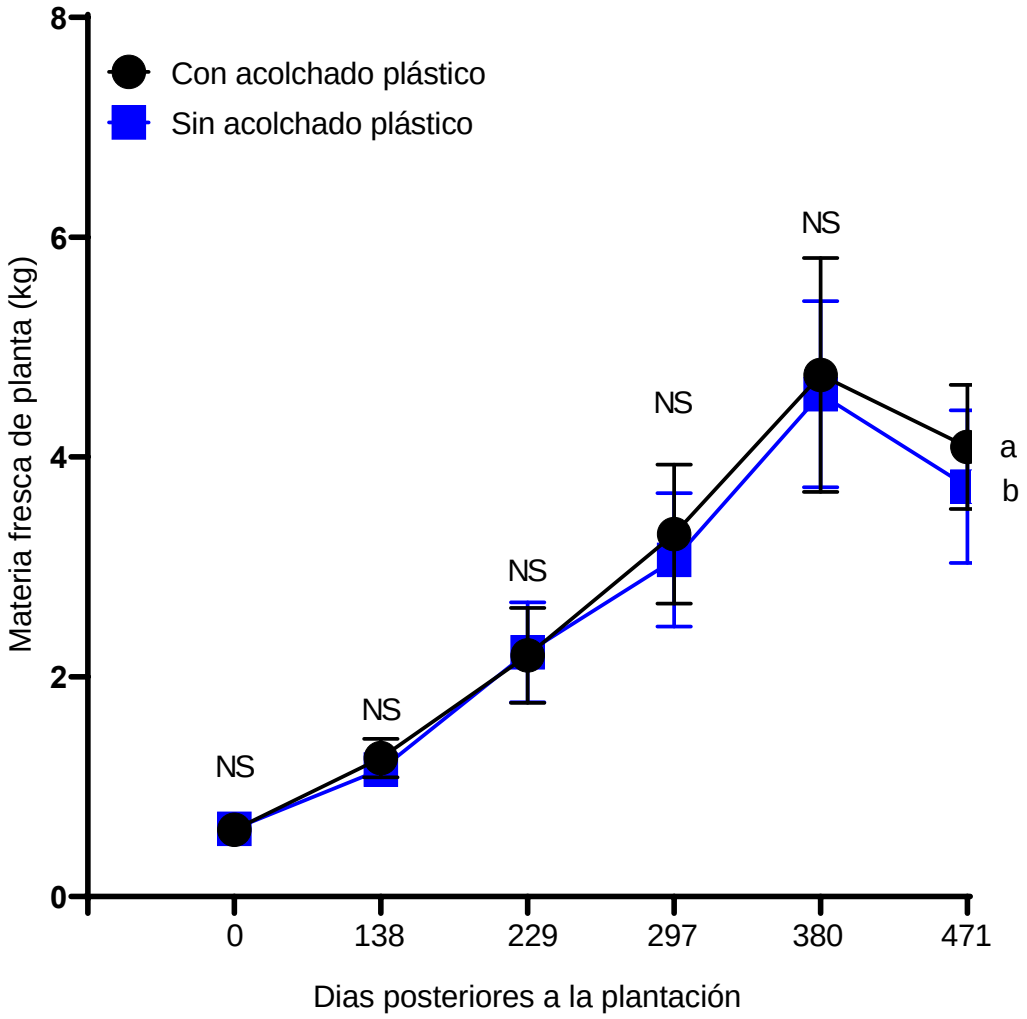


Figura 1. Cantidad de materia fresca registradas en diferentes fechas de muestreo, en plantas de piña MD-2 producidos en presencia y ausencia del acolchado plástico total, en Veracruz, México.

Mayor cantidad de materia fresca en las plantas establecidas bajo condiciones de acolchado plástico total, era esperado desde el inicio de la investigación, ya que, estudios previos mencionan que esta práctica evita la pérdida de suelo, disminuye la pérdida de humedad y también la proliferación de arvenses (Rebolledo *et al.*, 1998; Hegazi, 2000; Ali *et al*., 2011; Zhang *et al*., 2014; Ahmad *et al*., 2015; Memon *et al*., 2017), el resultado de estas ventajas se puede traducir en plantas más grandes y con mayor rendimiento de fruto (Rebolledo-Martínez *et al*., 2005; Seman *et al*., 2021).

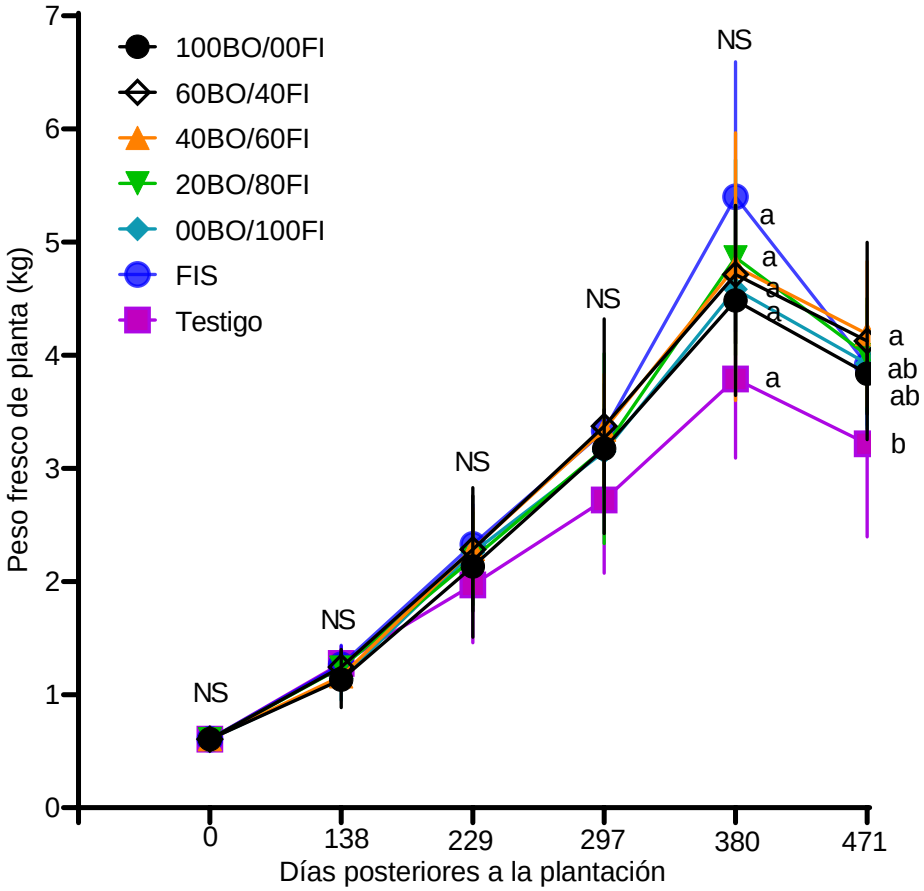


Figura 2. Cantidad de materia fresca registradas en diferentes fechas de muestreo, en plantas de piña MD-2 manejos con diferentes tratamientos de fertilización, en Veracruz, México.

El efecto positivo de los tratamientos de fertilización comenzó a resaltarse desde los 297 días posteriores a la plantación, tendencia que se mantuvo hasta la cosecha de frutos. A pesar de que todos los tratamientos con fertilización sólida suministraron similar cantidad de N, la única combinación de bokashi y FI que se diferenció de las plantas no fertilizadas fue la 60BO/40FI. Esto demuestra que, a una densidad de 50,000 plantas/ha, la aplicación de 473 g de bokashi por planta, permite reemplazar en hasta en un 40% los fertilizantes nitrogenados, sin que el crecimiento de la planta sea afectado. El efecto positivo de combinar abonos orgánicos y FI también ha sido detectado en cultivos básicos, como el arroz, donde el estiércol animal puede reemplazar hasta un 70% del N, sin que demerite su rendimiento; y esos efectos positivos se atribuyen a una mayor actividad biológica en el suelo (Iqbal *et al*., 2022). Con una dosis de 473 g/planta, el bokashi suministró al suelo un total de 9, 18, 13 y 3 g de N, P, K y Mg, considerando que en la densidad de 50,000 plantas/ha se recomienda una dosis de 15, 6, 15 y 4 g/planta

(Rebolledo *et al*., 2016; Uriza *et al*., 2018), se deduce que el bokashi puede reemplazar el 40%, 100%, 57% y 54%, del N, P, K y Mg, respectivamente. Esta hipótesis aún no ha sido probada, por lo que, se recomienda considerarlo en futuros estudios de nutrición.

Conclusiones

Se corroboró el efecto positivo del acolchado plástico en el crecimiento de la piña MD-2, además, se demuestra que para una densidad de 50,000 plantas/ha, el mejor efecto se obtiene cuando el 60% de nitrógeno se aplica a través de fertilizantes inorgánicos y la cantidad restante a través del bokashi.

Literatura Citada

Aguilar, L. A. P., Nieto, A. D., Vallejo P. M. R., Ochoa M. D. L., Espinosa V. D., Rebolledo, M. A. y A. R. Sao Jose. 2021. Suppression effects on pineapple soil-borne pathogens by *Crotalaria juncea*, dolomitic lime and plastic mulch cover on MD-2 hybrid cultivar. Phyton 90(4):1205-2016.

Ahmad, S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Zahra, S. S., Khan, I. H., Ali, M., Shahid, A. M., Iqbal, R, and M. S. Zaheer. 2015. Mulching strategies for weeds control and water conservation in cotton. J. Agric. Biol. Sci. 10 (8): 299-306.

Ali, K., Munsif, F., Husain, Z., Khan, I., Ahmad, N., Khan, N. and M. Shahid. 2011. Effect of different weed control methods on weeds and maize grain yield. Pak. J. Weed Sci. Res. 17(4): 313-321.

Crivelli, S. C. 2017. Análisis del Ciclo de Vida de dos sistemas de manejo para la producción de piña en México. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.

Espinoza, T. G. 2016. Efecto del acolchado plástico sobre la fertilidad biológica del suelo en el cultivo de piña (*Ananas comosus*) en la región del Bajo Papaloapan, México. Universidad Veracruzana.

Francisco-Nicolas, Uriza-Ávila, D. E., Zetina-Lezama, R., Toral-Juárez, M. A. y A. Rebolledo M. 2015. Acolchado plástico como práctica para reducer la erosion hídrica en Cambisoles cultivador con piña *Ananas comosus* var. Comosus en México. p. 148-158. *In:* II Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical y XXV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2013, Villahermosa Tabasco, México.

Hegazi, A. 2000. Plastic mulching for weed control and water economy in vineyards. Acta Hortic. 536: 245-250.

Iqbal, A., He, L., Ali, I., Yuan, P., Khan, A., Hua, Whei, Z. and L. Jiang. 2022. Partial substation of organic fertilizer with chemical fertilizer improves soil biochemical attributes, rice yields, and restores bacterial community diversity in a paddy field. Front. Plant Sci. 13. 895230.

Liu, C.H. and Y. Liu. 2012. Influences of organic manure addition on the maturity and quality of pineapple fruits ripened in winter. J. Soil Sci. Plant Nutr. 12(2):211-220.

McCauley, A., Jones, C., and J. Jacobsen. 2017. Soil pH and organic matter. Nutrient Management Module 8: 1-16.

Memon, M. S., Zhou, J., Guo, J., Ullah, F., Hassan, M., Ara, S. and C. Ji. 2017. Comprehensive review for the effects of ridge furrow plastic mulching on crop yield and water use efficiency under different crops. Int. Agri. Eng. J. 26(2): 58-67.

Patnaik, K., Dash, S., Patra, C., Dash, D. K., Swain, S., Pradhan, P. C., Mishra, A. and R. Bhol. 2022. Effect of fertigation and mulching on growth and yield of pineapple cv. Simhachalam. J. Pharm. Innov. 11(2): 2954-2959

Paungfoo-Lonhienne, C., J. Visser, T. G. A. Lonhienne and S. Schmidt. 2012. Past, present and future of organic nutrients. Plant soil 359:1-18.

Pérez A., Céspedes, C., y P. Nuñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. R. C. Suelo Nutr. Veg. 8(4):10-29.

Ramos, D. y E. Terry. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bokashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cult. Trop. 115:52-59.

Rebolledo M.A., D. Uriza A. y L. Rebolledo M. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. Libro técnico Núm. 20. SAGAR. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México. 159 p.

Rebolledo-Martínez, A., del Ángel-Pérez, A. L., Becerril-Román, A. E., and L. Rebolledo-Martínez. 2005. Growth analysis for three pineapple cultivars grown on plastic mulch and bare soil. Interciencia 30(12): 758-763.

Rebolledo, M. A., D. Uriza A., L. Del Angel, P. A.L., Rebolledo M. L. y R. Zetina L. 2016. Piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. 324 p.

Rothé, M., M. Darnaudery y L. Thuriés. 2019. Organic fertilizers, green manures and mixtures of two revealed their potential as substitutes for inorganic fertilizers used in pineapple. Sci. Hort. 257:108691.

Seman, N. Mulualem, T., Etana, G. and T. Eshetu. 2021. Effect of different mulches on pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr) yield and quality traits in Southwest Ethiopia. J. Genet. Environ. 9(1): 1-6.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Anuario Estadisticode la Producción Agrícola. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Souza, R. F. d., Faquin, V., Torres, P. R. F., and D. P. Baliza. 2006. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. Rev. Bras. Cienc. Solo 30: 975-983.

Uriza-Ávila, D. E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V. H., Zetina-Lezama, R., y A. Rebolledo-Martínez. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACh.

Zetina, R. L., Rebolledo, M. A., D. E. Uriza A. 2005. Soil characterization of pineapple producing regions of Mexico. Acta Hortic. 666:51-58.

Zhang, H. Y., Liu, Q. J., Yu, X. X. and L. Z. Wang. 2014. Influences of mulching durations on soil erosion and nutrient losses in a peanut (*Arachis hypogaea*)-cultivated land. Natural Hazards 72: 1175-1187.

SELECCIÓN FAMILIAL COMBINADA EN CALABAZA PIPIANA PARA RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO Y SEMILLA

Isaac Meneses Márquez[1], Andrés Vásquez Hernández[1] y Arturo Andrés Gómez[2]

Resumen

La calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*), cuyo consumo principal es en forma de semilla, fue domesticada en el sur de México hace aproximadamente 5 200 años A. C., de acuerdo con evidencias arqueológicas de la especie en las cuevas de Tehuacán en Puebla, México, las que sugieren que ya había sido cultivada y seleccionada para mayor tamaño de semilla. Hoy en día se cultiva en muchas regiones del país y gran parte de la producción se realiza en pequeñas parcelas, para autoconsumo o destinada a mercados locales. Este trabajo tiene por objetivo identificar materiales de alto rendimiento y que a través de la selección permita incrementar el valor de producción a través del aumento en el rendimiento de la producción y calidad de semilla. Las mejores cinco familias con base en el peso promedio de fruto fueron la Familia 15, Familia 1, Familia 8, Familia 40 y la Familia 7. El peso promedio de fruto de toda la población (60 familias) fue de 1.28 kg. Para la variable peso de cien semillas, la cual es el principal carácter que se considera para seleccionar aquellas mejores 20 familias de la población, se encontró que la Familia 8 tuvo el peso máximo de 100 semillas con un valor promedio de 47.90 g mientras que la Familia 29 tuvo solamente 19.92 g, dato que la ubica en la familia de menor peso.

Palabras clave: hortaliza, Cucurbita argyrosperma, producción, mejoramiento genético

[1] Investigador del INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. E-mail: meneses.isaac@inifap.gob.mx
[2] Auxiliar de investigación en el Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP.

Introducción

La calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*), cuyo consumo principal es en forma de semilla, fue domesticada en el sur de México hace aproximadamente 5 200 años A. C., de acuerdo con evidencias arqueológicas de la especie en las cuevas de Tehuacán en Puebla, México, las que sugieren que ya había sido cultivada y seleccionada para mayor tamaño de semilla. Hoy en día se cultiva en muchas regiones del país y gran parte de la producción se realiza en pequeñas parcelas, para autoconsumo o destinada a mercados locales (Pérez *et al*., 1997). La calabaza pipiana (Cucurbita argyrosperma Huber) se cultiva en la República Mexicana, con una amplia gama de variedades criollas adaptadas a cada región agrícola, en donde forma parte de la dieta alimenticia de la población (Montes, 1991; Lira, 1995). Las principales entidades que producen semilla para el consumo son: Campeche, Guerrero, Michoacán y Tamaulipas, en las cuales se cultiva en la época de lluvias; sólo en Tamaulipas se produce en el ciclo Otoño–Invierno (SIAP, 2015).

Meneses *et al*., (2002) al trabajar con una población de 120 familias durante dos ciclos de selección familiar de C. pepo encontró una alta diversidad genética de naturaleza aditiva en todos los caracteres evaluados, tanto cualitativos como cuantitativos, pero esta diversidad disminuyó en el segundo ciclo de selección; la varianza genética total estuvo determinada principalmente por efectos aditivos de los genes, la heredabilidad estimada fluctuó, en ambos ciclos, desde 28 hasta 95% y se encontró que la mayor respuesta esperada a la selección lo presentó el peso de semilla desde 60 hasta 154%.

Estudios de evaluación de algunas poblaciones avanzadas llevados a cabo por Sánchez *et al*. (2004) encontraron que el peso de fruto (PFR) por localidad promedió 1 917 en VCH y 1 712 g/planta en VM. El peso de semilla (PSE) de VCH fue 84.1 y de 65 g/planta en VM. En la variedad ‘Morelos’ la familia 27 presentó la media más alta en peso de fruto, con 2 050.6 y de peso de semilla con 103.4 g/planta. La familia 19 (PFR: 2 564.8; PSE: 142.1 g/planta) fue la más sobresaliente en la variedad ‘Chapingo’.

Meneses *et al*. (2006) llevaron a cabo estudios para determinar el tamaño óptimo de parcela en calabaza asociada con maíz en caracteres de fruto, de pulpa y de la semilla y encontraron que la mejor parcela fue aquella de 5.4 m^2; el coeficiente de variación disminuyó al aumentar el tamaño de parcela, sin embargo, hubo caracteres como ancho de semilla donde este valor

fue superior al aumentar el tamaño de parcela. Las máximas reducciones del CV ocurrieron en color, grosor y sabor de pulpa, textura de fruto y peso de semilla.

Meneses *et al*. (2009) mencionaron que esta especie responde muy bien a la selección combinada, tal como lo muestra el trabajo realizado al determinar los cambios en la calidad de fruto maduro de una población sintética de calabaza por efecto de la selección. Lo anterior permitió incrementar la frecuencia de frutos de alta calidad desde 18% en la población original hasta 73% en el quinto ciclo de selección. La aplicación del enfoque de mejoramiento participativo, a pesar de los cinco ciclos de selección, permitió conservar la diversidad genética presente en la población original.

Debido a que todo el material vegetal que se utiliza actualmente es semilla criolla, la siembra de pipián en casi todos los estados productores representa un cultivo poco competitivo, ya que solo es factible alcanzar en la mayoría de las veces no más de 0.5 toneladas por hectárea, con la única excepción para el estado de Jalisco. No obstante, es un cultivo cuyo precio medio rural varía de un estado a otro, como por ejemplo la entidad de Jalisco es que ofrece el mejor pago por esta semilla en contraste con Quintana Roo cuyo valor rural es el más inferior. La región sur-sureste en conjunto es donde se encuentra la mayor cantidad de superficie sembrada y donde están las mejores perspectivas de impacto al disponer de un material mejorado.

En las regiones de las Costas, Centro, La Montaña, Tierra Caliente y Norte de Guerrero se cultivan materiales criollos, generalmente asociados con maíz (*Zea mays* L.) de temporal o secano. De la calabaza se consumen los frutos maduros e inmaduros, las flores masculinas, las semillas secas y los meristemos tiernos de los tallos o guías (Lira, 1995); también se aprovecha la pulpa cocida o en conserva, pero las semillas representan el producto alimenticio y comercial más importante, por sus altos contenidos de aceite, proteína y fósforo (Guenkov, 1983). Las semillas tostadas y saladas se consumen en forma directa, y son el condimento principal para la elaboración de los moles conocidos como “pipianes” en diversas localidades de Guerrero, Oaxaca, Hidalgo, San Luis Potosí, Morelos y Veracruz; además, de la semilla se extrae aceite para preparar jabones finos (Lira, 1995).

Lira *et al*. (1995) señalaron que la variabilidad en el género Cucurbita se encuentra en la morfología, el tamaño de frutos y semillas, la coloración, y el tipo y sabor de mesocarpio. El número básico de cromosomas de todas las especies de Cucurbita es 2n = 2x = 40, los cariotipos sugieren que estas especies son de origen alopoliploide (Weeden *et al*., 1984). No

obstante, a pesar de su alto grado de diferenciación, las especies de este género no están completamente aisladas en términos reproductivos.

Para realizar mejoramiento genético en calabaza, es necesario, además de entender los aspectos biológicos y agronómicos de la especie, conocer las características genéticas de la población en estudio como son los componentes de la varianza genética (aditiva y de dominancia), las correlaciones fenotípicas y genéticas aditivas, el coeficiente de variación genética aditiva y la heredabilidad.

En calabaza se busca obtener cultivares superiores con mayor producción de semilla por fruto, mejor coloración, sabor y grosor de la pulpa, al tiempo de mejorar el hábito de crecimiento de la planta y la distribución de la producción de frutos a lo largo de la guía (Villanueva, 2007). A través del mejoramiento genético por selección combinada es factible avanzar rápidamente hacia la formación de un material de excelente producción, en estudios previos se ha encontrado que la característica de peso de semilla presentó una respuesta esperada a la selección de 154%, aunado a que por la duración del ciclo del cultivo es factible obtener dos ciclos de selección por año y esto permite reducir el tiempo para generar un genotipo mejorado, estable y uniforme a través del mejoramiento genético por selección familial.

Con base en lo anterior, el trabajo tiene por objetivo identificar materiales de alto rendimiento y que a través de la selección permita incrementar el valor de producción a través del aumento en el rendimiento de la producción y calidad de semilla. Lo anterior permitirá que los productores sean más competitivos y logren un mayor ingreso económico por unidad de superficie y que contribuya al mismo tiempo a lograr la autosuficiencia económica y alimentaria.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, durante el ciclo verano–otoño de 2017 en condiciones de riego de auxilio; el Campo se localiza en el km 34 de la carretera federal Veracruz-Córdoba, en Medellín de Bravo, Ver., a 18º 50’ de latitud norte y 96º 10’ de longitud oeste, a una altitud de 15 msnm. El clima es cálido subhúmedo Aw (w) (g), la temperatura

media anual de 25.4ºC, con máxima de 42.5ºC y mínima de 7.0ºC. La precipitación anual es de 1400 mm y el periodo de lluvias está comprendido desde junio hasta octubre (García, 1988). El material vegetal fue una población de calabaza pipiana de amplia base genética integrada por 60 familias de medios hermanos maternos derivadas de colectas realizadas en el estado de Veracruz, en la cual el lote experimental se utilizó simultáneamente para evaluación y selección de las familias. La siembra de las 60 familias de medios hermanos maternos de calabaza pipiana tuvo lugar el 12 de abril del 2020; cada parcela experimental estuvo integrado por tres surcos de 15 m de longitud por familia, la distancia entre surcos de 1.8 m y entre matas a 1.5 m y se depositaron tres semillas por mata. Los distanciamientos anteriores permitieron alcanzar una densidad de población por hectárea de aproximadamente 11,256 plantas. La parcela útil fue el surco central y como unidad experimental fueron 10 matas centrales de tres plantas, eliminando las matas de los bordos, de tal forma que se evalúen aquellas con competencia completa.

Las variables que se registraron fueron las relacionadas con características de fruto y semillas y son las siguientes: peso de fruto (kg), alto y ancho de fruto (cm), forma de fruto (de acuerdo a la escala donde 1: globo, 2: aplanada, 3: ovalada y 4: pera), peso de semilla (g), alto y ancho de semilla (cm), peso de cien semillas (g).

El diseño experimental fue de anidamiento, en el cual las plantas estuvieron anidadas en matas y las matas en familias. Cada mata fue una repetición, donde las plantas se consideraron observaciones dentro de una repetición, aunque en este documento solo se presentan promedios aritméticos de las observaciones. En la población se aplicó selección combinada de familias de medios hermanos maternos con una presión de selección del 33% y 10% entre y dentro familias, respectivamente, de acuerdo con Meneses *et al*. (2009).

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se observa que el peso promedio de fruto (PF) es muy variable, como era de esperarse al ser una población de amplia base genética, aunado a que la polinización de esta especie es anemófila y se establecen a campo abierto. Se encontró que la Familia 36 fue la de

menor valor con un promedio de 0.66 kg por fruto, muy contrastante con la Familia 15 que tuvo un peso de 2.26 kg, siendo éste el valor superior en toda la población.



Figura 1. Comportamiento del peso de fruto de las 60 familias de MHM de calabaza pipiana bajo evaluación. CECOT P-V 2020.

Las mejores cinco familias con base en el peso promedio de fruto fueron la Familia 15, Familia 1, Familia 8, Familia 40 y la Familia 7. El peso promedio de fruto de toda la población (60 familias) fue de 1.28 kg, tal como se muestra en línea azul en la Figura 1. Para la variable peso de cien semillas, la cual es el principal carácter que se considera para seleccionar aquellas mejores 20 familias de la población, se encontró que la Familia 8 tuvo el peso máximo de 100 semillas con un valor promedio de 47.90 g mientras que la Familia 29 tuvo solamente 19.92 g, dato que la ubica en la familia de menor peso (Figura 2).

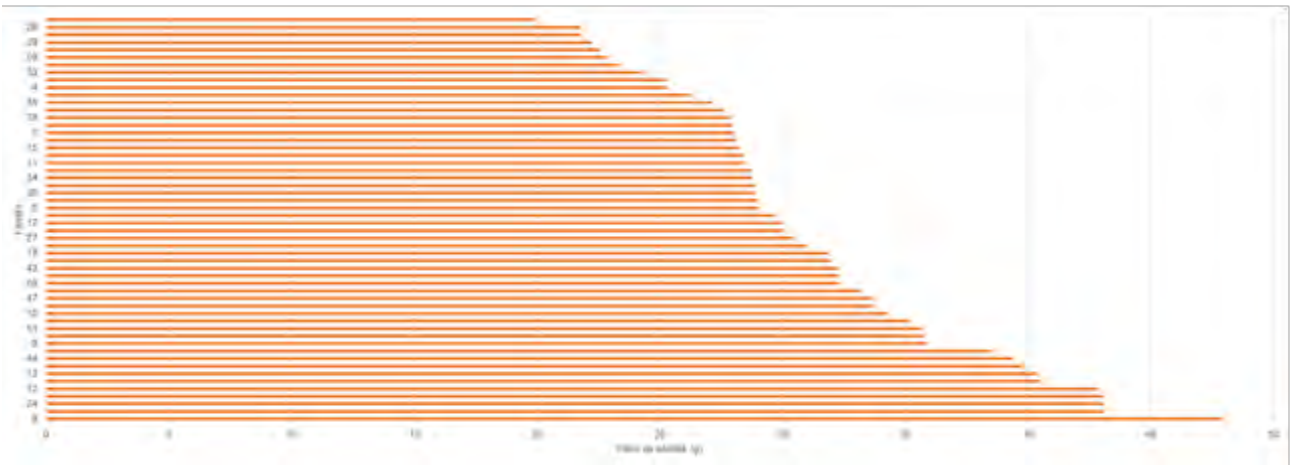


Figura 2. Peso de cien semillas de las 60 familias de MHM de calabaza pipiana. CECOT P-V 2020.

En el Cuadro 1 se presentan los valores de ocho variables que se registraron durante el ciclo de selección, para aquellas familias seleccionadas. Estas variables se clasifican como de fruto y variables de semilla.

Cuadro 1. Familias seleccionadas en el ciclo P-V 2020. CECOT.

Familia	Fruto				Semilla			
	PF	ALF	ANF	FF	PS	ALS	ANS	P100S
8	2.46	21.10	22.70	2.00	112.38	33.90	17.50	47.90
28	1.33	12.30	18.50	2.00	66.25	30.90	17.60	43.11
24	1.12	13.10	19.50	3.00	50.33	30.60	16.40	43.07
53	1.26	16.63	17.13	1.70	72.61	24.27	16.10	43.06
12	2.61	18.00	23.70	2.00	115.70	30.40	17.30	42.85
50	1.35	10.65	18.75	3.00	60.90	31.40	13.00	40.55
13	1.29	12.80	17.75	1.50	48.84	28.15	17.10	40.40
37	1.51	16.30	19.23	2.70	67.16	30.37	18.50	39.73
44	1.44	12.00	19.50	3.00	73.38	30.00	13.10	39.39
41	1.50	12.40	19.70	2.50	54.67	29.30	17.50	38.57
9	0.80	14.17	13.83	2.70	38.35	28.00	17.20	35.90
16	1.36	12.80	18.63	2.00	59.03	29.23	16.60	35.77
51	1.20	12.65	19.00	3.50	53.60	29.70	13.70	35.66
32	1.65	13.50	18.50	2.00	50.88	31.90	15.90	35.19
10	1.24	15.75	17.75	3.00	62.81	28.79	16.35	34.29
1	1.51	14.25	16.75	3.00	54.71	28.50	17.00	33.72

Continúa Cuadro 1…

Familia	Fruto				Semilla			
47	0.88	13.00	10.80	3.50	42.56	31.30	15.52	33.68
57	1.43	16.20	18.83	2.30	70.45	27.85	16.38	33.19
58	1.27	15.32	18.96	2.00	72.68	28.12	16.72	32.36
55	1.22	13.88	17.80	2.00	62.82	27.70	16.63	32.34
Prom FS	1.42	14.34	18.37	2.46	64.50	29.52	16.30	38.04
Prom Pob	1.24	14.17	16.87	2.60	51.63	27.94	16.12	31.38

PF: Peso de fruto (kg), ALF y ANF: Altura y ancho de fruto (cm), FF: Forma de fruto, PS: Peso de semilla seca (g), ALS y ANS: Alto y ancho de semilla (cm) y P100S: Peso de 100 semillas en seco (g).

En el grupo de las 20 familias seleccionadas es posible encontrar valores de PF que a la vista parecen bajos (0.8 kg) como la Familia 9 y que, si la selección se guía por esta característica, quedaría descartada, sin embargo, ahí entra la importancia de tener un carácter de mayor importancia y sobretodo relacionado con la parte de interés para el consumidor, el cual lo representa la semilla, en cuanto al llenado mismo de la semilla. Es así que esta familia tiene un valor del peso de 100 semillas de 35.9 g, situada entre el 50% de las familias seleccionadas que son superiores.

Considerando que la característica de semilla es la que se toma en cuenta en el proceso de mejoramiento genético de la población de calabaza pipiana, en la Figura 3 se presenta el diferencial de selección para las variables peso de semilla por fruto y el peso de 100 semillas.

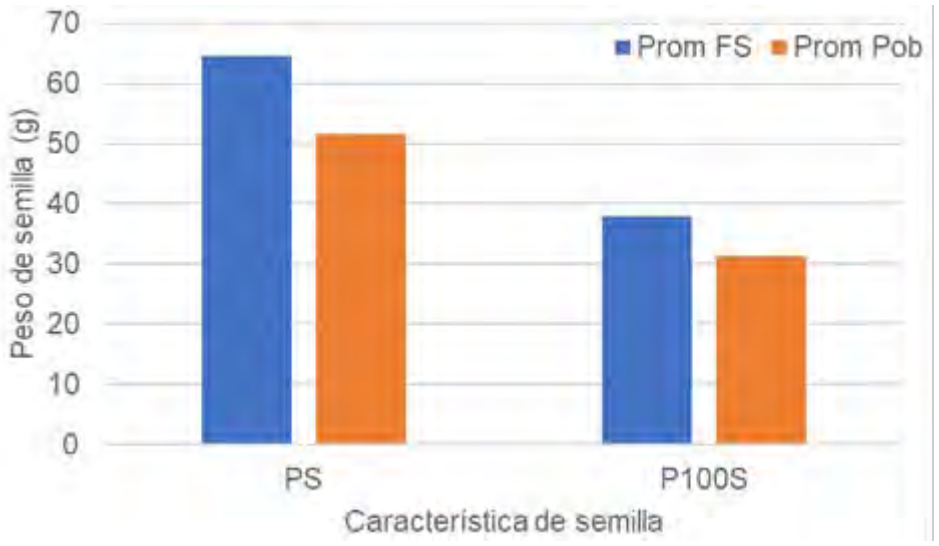


Figura 3. Diferencial de selección en la población de familias de MHM de calabaza pipiana de dos caracteres de semilla. CECOT P-V 2020.

El diferencial de selección es la media de las familias seleccionadas comparadas con la media de la población bajo selección. Y en el caso que nos ocupa para la variable peso de semilla por fruto el valor fue de 12.87 g, mientras que para la variable peso de cien semillas fue 6.65 g.

Dentro de cada una de las 20 familias que se presentan en el Cuadro 1, se seleccionaron a los mejores tres individuos, de acuerdo con el peso de cien semillas y de esta manera, se restituyen nuevamente la población de 60 familias que se establecen en cada ciclo de selección.

Al ser una población de amplia base genética, a pesar de estar en el segundo ciclo de selección familiar combinada, permite conservar la diversidad inicial de la forma de fruto original, el cual es un aspecto a resaltar por considerarse que la presión de selección ha sido apropiada para no descartar ese tipo de características. Las formas anteriores siempre se presentarán debido a que la calabaza es una especie de polinización cruzada favorecida por la actividad de transporte de polen que realizan las abejas (Robinson y Decker-Walters, 1997) y, más aún, cuando en la población bajo selección se permitió la polinización natural, por lo que las múltiples visitas de abejas sobre las flores masculinas, frecuentemente resulta en una deposición de polen mezclado en estigmas receptivos (Kirkpatrick y Wilson, 1988).

Conclusiones

Las mejores cinco familias con base en el peso promedio de fruto fueron la Familia 15, Familia 1, Familia 8, Familia 40 y la Familia 7. El peso promedio de fruto de toda la población (60 familias) fue de 1.28 kg. Para la variable peso de cien semillas, la cual es el principal carácter que se considera para seleccionar aquellas mejores 20 familias de la población, se encontró que la Familia 8 tuvo el peso máximo de 100 semillas con un valor promedio de 47.90 g mientras que la Familia 29 tuvo solamente 19.92 g, dato que la ubica en la familia de menor peso

Literatura Citada

García E. 1988. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Koppen para adaptarlos a las condiciones de la república mexicana. 4ª edición. UNAM. México, D. F. 110 p.

Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. pp. 169-172.

Kirkpatrick, K. J.; Wilson, H. D. 1988. Interspecific gene flow in *Cucurbita*: *C. texana* vs *C. pepo*. American Journal Botanical 75(4): 519-527.

Lira S., R. 1995. Estudios Taxonómicos y Eco geográficos de las Cucurbitaceaes Latinoamericanas de Importancia Económica. UNAM. Instituto de Biología. IPGRI. D. F., México. 281 p.

Meneses M. I.; Villanueva V. C.; Sahagún C. J.; Vázquez R. T.R.; Merrick L. C. 2002. Componentes de varianza genética y respuesta a la selección combinada en calabaza *Cucurbita pepo* L. bajo el sistema milpa. Revista Chapingo Serie Horticultura 8(1): 5-14.

Meneses M. I., C. Villanueva V., J.A. Mejía C., J.D. Molina G., S. Miranda C. 2006. Tamaño óptimo de parcela en calabaza asociada con maíz. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): 27-31.

Meneses M. I.; Villanueva V. C.; Sahagún C. J. 2009. Cambios en la calidad de fruto maduro de una población sintética de calabaza (*Cucurbita pepo* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 15(3): 269-274.

Pérez G. M.; Márquez S. F.; Peña L. A. 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. 380 p.

Robinson, R. W.; Decker-Walters, D. S. 1997. Cucurbits. CAB International. University Press. Cambridge, UK. 226 p.

Sánchez H. M. A.; Villanueva V. C.; Sahagún C. J.; Merrick, L. C. 2000. Variación genética y respuesta a la selección combinada en una variedad criolla de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *stenosperma*). Revista Chapingo Serie Horticultura 6(2): 221-240.

Sánchez H. M.A., J.A. Mejía C., C. Villanueva V., J. Sahagun C., A. Muñon O., J.D. Molina G. 2004. Selección combinada de genotipos de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *stenosperma*) en el sistema milpa. Revista Chapingo Serie Horticultura 10(1): 57-66.

Weeden N. F., R. W. Robinson, F. Ignart. 1984. Linkage between an isoszyme locus and one of controlling resistance in watermelon mosaic virus 2 in Cucurbuta ecuadorensis. Cucurbit Genetics Coop. Rpt. 7:86

RESPUESTA ANTIOXIDANTE A LA TOLERANCIA A *Alternaria* ssp. EN CRISANTEMOS PREINCUBADOS EN ÁCIDO SALICÍLICO

Martha Elena Mora Herrera[1]*, Nohemi de la Cruz-Linares[1], Rómulo García Velasco[1], Humberto López Delgado[2] y Sotero Aguilar Medel[1]

Resumen

El crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) se encuentra entre los tres cultivos ornamentales de importancia económica y cultural a nivel mundial. Los principales factores limitantes en la producción de crisantemo son las enfermedades fungosas, que se presentan en todos los invernaderos donde se cultiva. Una de estas enfermedades en el sur del Estado de México es la mancha foliar del crisantemo que está asociada a *Alternaria alternata* y *A. tenuissima*, siendo el uso de agroquímico la primera fuente de control de esta y otras enfermedades. El manejo integrado de los cultivos exige hoy día el estudio de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de las plantas, que reduzcan la incidencia, severidad y desarrollo de una enfermedad. Se ha comprobado que el ácido salicílico (AS) induce tolerancia a estrés biótico y abiótico a través del sistema oxidativo y antioxidativo, además de ser económico e inocuo. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue conocer la respuesta antioxidante a la tolerancia a *Alternaria* ssp. en crisantemos preincubados en ácido salicílico. Microplantas de crisantemo de la variedad Polaris White se cultivaron en ácido salicílico y subcultivadas en condiciones de invernadero donde fueron inoculadas a los 150 días con *Alternaria* ssp. Se evaluó incidencia, severidad, además la actividad de enzimas antioxidantes y contenido de H_2O_2 antes y después de la inoculación. El pretratamiento de AS indujo significativamente menor incidencia y severidad que el testigo, especialmente las plantas tratadas con 0.1 mM de AS tuvieron hasta 61.5% menos incidencia y 11% menos severidad que los controles. Esta respuesta se asocia al incremento de la actividad enzimática de APX, SOD y CAT, y disminución del contenido de H_2O_2 por AS previo a la inoculación. Se concluye que el

[1] Centro Universitario Tenancingo Universidad Autónoma del Estado de México *marthaelenam@gmail.com
[2] Programa Nacional de Papa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Conjunto SEDAGRO. Metepec, Estado de México.

pretratamiento en condiciones *in vitro* de AS en plantas de crisantemo, tiene efecto después de cinco meses (largo plazo) en la disminución de la incidencia y la severidad de la mancha foliar del crisantemo (*Alternaria* spp.), siendo una alternativa sustentable.

Palabras clave: *Dendranthema grandiflora* Tzvelev, mancha foliar del crisantemo, enzimas antioxidantes, peróxido de hidrógeno

Introducción

El Estado de México es el productor más importante de flor de corte en el país. El crisantemo ocupa el tercer lugar en producción de flor de corte y principalmente es afectado por enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, los cuales tienen un impacto significativo en la producción al disminuir la calidad y rendimiento, y como consecuencia pérdidas económicas (SIAP-SAGARPA, 2013). Un problema en la entidad es la “mancha foliar del crisantemo” que en México se había reportado como agente causal a *Alternaria chrysanthemi,* pero en 2012, se reportó a *A. alternata* y *A. tenuissima* como los agentes causales de la mancha foliar del crisantemo en el Estado de México. Los principales síntomas se presentan en las hojas, donde se observan puntos redondos de color gris pálido, que, posteriormente se tornan de color gris oscuro a negro parduzco, en ocasiones con una mancha pálida en el centro; cuando las manchas son numerosas causan la muerte de la hoja (de la Cruz-Linares *et al*., 2014). Para el control de esta enfermedad en la zona habitualmente se usan principalmente compuestos químicos del grupo de los triazoles, oximinoacetatos o dicarboximidas (Vázquez, 2016). El manejo integrado de los cultivos exige hoy día el estudio de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de las plantas, que reduzcan la incidencia, severidad y desarrollo de una enfermedad. Se ha comprobado que el ácido salicílico (AS) induce tolerancia a estrés biótico y abiótico a través del sistema oxidativo y antioxidativo, además de ser económico e inocuo (Mora-Herrera *et al*., 2021). Espinosa-Vázquez *et al*. (2019), reportaron que el ácido salicílico aplicado al follaje de *Solanum lycopersicum*, redujo la severidad de *Alternaria solani*, al mismo tiempo que causó un incremento significativo en el crecimiento y rendimiento del cultivo. Asimismo, Salazar (2021), reportó que este compuesto

redujo los síntomas de la mancha de chocolate originada por *Botrytis fabae* en habas. Los factores bióticos y abióticos causan estrés oxidativo que puede destruir las funciones y estructura celular, por ello, se requiere un sistema de defensa antioxidante que reduzca su daño. Las enzimas antioxidantes constituyen un grupo de proteínas anti estrés que intervienen en la eliminación de las especies reactivas de oxígeno (ERO). Entre ellas se encuentran: la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT), la peroxidasa (POX), la ascorbato peroxidasa (APX) y el glutatión reductasa (Scandalios, 2005). El estrés en las plantas genera diversas respuestas de tolerancia o sensibilidad; en ellas la función de algunas moléculas como el AS participan en la inducción de tolerancia. El conocimiento de la señalización en la inducción de tolerancia en las respuestas de estrés, así como de las moléculas involucradas, pueden ser utilizado en el manejo integrado del cultivo para inducir tolerancia de manera natural y disminuir el uso de agroquímicos en la producción de los cultivos de interés económico y alimenticio (de la Cruz *et al*., 2014; Mora-Herrera *et al*., 2021); por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer la respuesta antioxidante a la tolerancia a mancha foliar por *Alternaria* ssp. en crisantemos preincubados en ácido salicílico.

Materiales y Métodos

Microesquejes de crisantemo de la variedad “Polaris White” con una yema axilar y sin hoja, provenientes de plantas madre *in vitro* de 30 días de edad, fueron sembrados en medio de cultivo MS (Murashige y Skoog) como se describe en Espinoza *et al*. (1986), con 0.4 mg/L de tiamina, 100 mg/L de mio-inositol, 30 g/L de sacarosa y 6 g/L de agar-agar; los tratamientos además contenían 0 (Testigo), 0.1, 0.01 ó 0.001 mM de AS. Las microplantas se incubaron durante 28 a 30, después fueron cultivadas en condiciones de invernadero por cinco meses (previa aclimatación cinco días en condiciones de laboratorio). Para la inoculación con *Alternaria* spp., las plantas se desinfestaron con hipoclorito de sodio (Clorox®) y agua destilada estéril, posteriormente se asperjó una solución de conidios (2.5×10^4) sobre el follaje de las plantas y, por último, se colocaron en cámara húmeda en condiciones de laboratorio (Domínguez, 2012). La incidencia se determinó por medio del conteo de las unidades de muestreo enfermos vs sanos y en la severidad se midió el área dañada por hoja utilizando el

software ASSES (Lamari, 2008). Se utilizó un diseño experimental al azar con cuatro tratamientos y 13 repeticiones. Se le cuantificó el contenido de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), fenoles totales, y pigmentos fotosintéticos, así como la actividad enzimática de la, ascorbato peroxidasa (APX), catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD) de acuerdo a la metodología de Gutiérrez-Martínez *et al*. (2020); un día antes de la inoculación con *A. alternata* y *A. tenuissima* (150 días de edad de la planta), y a los 11 días después de la inoculación. Los datos fueron analizados por medio de la prueba t Student ($p \leq 0.05$), en algunos casos los promedios de los tratamientos se sometieron a la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el programa Statgraphics plus 5.0.

Resultados y Discusión

Los primeros síntomas de la inoculación de *A. alternata y A. tenuissima* sobre crisantemo, se observaron a los cuatro días como manchas irregularmente circulares de color café oscuro a negro rodeadas por un halo clorótico, que iniciaban en los bordes de las hojas basales.

Las plantas de crisantemo pretratadas con 0.001 y 0.01 mM de AS, a los siete días después de la inoculación presentaron los primeros síntomas, mientras, que las plantas testigo mostraron los primeros síntomas a los cuatro días después de la inoculación.

El pretratamiento de AS indujo menor incidencia y severidad que el testigo especialmente las plantas tratadas con 0.1 mM de AS tuvieron hasta 61.5% menos incidencia y 11% menos severidad (Figura 1) (de la Cruz *et al*., 2014; Mora-Herrera *et al*., 2021).

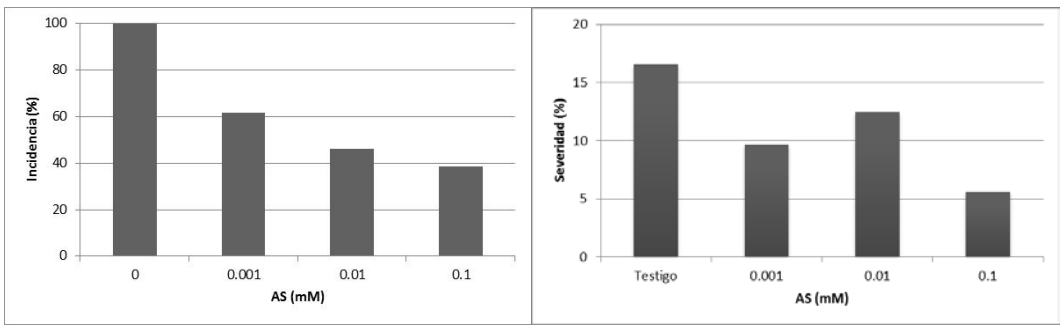


Figura 1. Efecto del pretratamiento *in vitro* del AS en plantas de crisantemo en la incidencia y severidad a *Alternaria* ssp.

Respuesta antioxidante en la tolerancia a *Alternaria* ssp.

Se cuantificó el contenido de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), así como la actividad enzimática, ascorbato peroxidasa (APX), catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD), un día antes de la inoculación con *A. alternata* y *A. tenuissima* (150 días de edad de la planta) y a los 11 días después de la inoculación.

Efecto del AS en el contenido de H_2O_2

Un día antes de la inoculación con *A. alternata y A. tenuissima* no hubo cambios entre los tratamientos de AS y el testigo, pero a los 11 días después de la inoculación, el contenido de peróxido de hidrógeno aumentó hasta 3.6, 1.5 y 4.8 veces en las plantas pretratadas *in vitro* con 0.001, 0.01 y 0.1 mM de AS respectivamente en relación al testigo (Cuadro 1).

Se ha encontrado que el AS regula el contenido de H_2O_2 en las plantas para inducir tolerancia, así, se ha demostrado que, tratamientos exógenos de AS pueden inducir un incremento de los niveles de H_2O_2, tal como se encontró en plantas de tabaco (Dat *et al*., 2000). Es posible que el incremento del H_2O_2 observado en las plantas de crisantemo pretratadas con 0.1 mM de AS (Cuadro 1), contribuyó a la disminución de la severidad e incidencia observada al inducir los mecanismos necesarios para proteger a las plantas.

Además, se ha reportado que el contenido de H_2O_2 inducido por AS participa en la tolerancia a factores abióticos como el frío en plantas de papa (Mora-Herrera *et al*., 2005).

Cuadro 1. Contenido de peróxido de hidrógeno en plantas de crisantemo pretratadas *in vitro* con AS. A) Un día antes de la inoculación (*A. alternata* y *A. tenuissima*) y B) a los 11 días después de la inoculación.

Tratamiento AS (mM)	A	B
0 (testigo)	0.15 ± 0.01 a	0.17 ± 0.003 c
0.001	0.15 ± 0.01 a	0.61 ± 0.003 b
0.01	0.16 ± 0.01 a	0.23 ± 0.003 c
0.1	0.15 ± 0.01 a	0.81 ± 0.003 a

Los datos corresponden a las medias ± el error estándar. *Literales diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey (p≤0.05).

Efecto del AS en la actividad de la SOD

La actividad enzimática de la SOD en plantas de cinco meses de edad pretratadas *in vitro* con AS, antes de ser inoculadas con *A. alternata* y *A. tenuissima* no presentaron diferencias

significativas con respecto al testigo, aun así se observa que las plastas tratadas con AS tuvieron menor actividad de la SOD con respecto al testigo y a los 11 días de ser inoculadas, la actividad enzimática de la SOD en los cuatro tratamientos disminuyó en referencia a antes de la inoculación y de igual manera, los tratamientos 0.001 y 0.1 mM de AS tuvieron menor actividad enzimática de la SOD con respecto al testigo (Cuadro 2). La principal función de la SOD en dismutar al superóxido en peróxido de H_2O_2, la disminución de SOD, posiblemente se deba que hay menos producción de superóxido en plantas preincubadas en AS y que el H_2O_2 generado es de otras fuentes inducidas por el patógeno. No existen estudios de las respuestas de esta enzima a largo plazo, porque está demostrado que el ácido salicílico incrementa los niveles de SOD ante estrés abiótico (Zhang *et al*., 2021).

Cuadro 2. Actividad enzimática de la SOD en plantas de crisantemo pretratadas *in vitro* con AS. A) Un día antes de la inoculación (*A. alternata y A. tenuissima*) y B) a los 11 días después de la inoculación.

Tratamiento (mM) AS	A	B
0 (testigo)	1.56 ± 0.08 a	0.65 ± 0.03 b
0.001	1.47 ± 0.08 a	0.63 ± 0.03 b
0.01	1.36 ± 0.08 a	0.87 ± 0.03 a
0.1	1.39 ± 0.08 a	0.54 ± 0.03 b

Los datos corresponden a las medias ± el error estándar. *Literales diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey (p≤ 0.05).

Efecto del AS en la actividad enzimática de la CAT

Las microplantas de crisantemo en condiciones *in vitro* pretratadas con 0.1 mM de AS, tuvieron significativamente mayor actividad enzimática de la CAT con respecto al testigo. Antes de la inoculación, las plantas de los tres pretratamientos con AS presentaron mayor actividad enzimática de la CAT con respecto al testigo. Después de la inoculación la actividad enzimática de la CAT no presentó diferencias significativas; sin embargo, los pretratamientos 0.001 y 0.1 mM de AS, tuvieron 11.19% y 35.37% más actividad enzimática de la CAT respectivamente en relación con el testigo (Cuadro 3). Cabe destacar que las plantas que presentaron menor incidencia de la enfermedad de la mancha foliar del crisantemo, fueron las pretratadas con 0.1 mM de AS, mismas donde la actividad enzimática de la CAT tendió al incremento. Posiblemente lo anterior estuvo relacionado a la protección de las plantas contra el hongo, por

lo que hubo menor severidad e incidencia, ya que se ha sugerido que la inhibición de la CAT por el AS tiene la función de mediar respuestas de estrés (Zhang *et al*., 2021).

Cuadro 3. Actividad enzimática de la CAT en plantas de crisantemo pretratadas *in vitro* con AS. A) Un día antes de la inoculación (*A. alternata y A. tenuissima*) y B) a los 11 días después de la inoculación.

Tratamiento [mM] AS	A		B	
0 (testigo)	0.22 ± 0.05	b	0.28 ± 0.05	a
0.001	0.43 ± 0.05	a	0.31 ± 0.05	a
0.01	0.44 ± 0.05	a	0.26 ± 0.05	a
0.1	0.46 ± 0.05	a	0.37 ± 0.05	a

Los datos corresponden a las medias ± el error estándar. *Literales diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey (p≤0.05).

Efecto del AS en la actividad de la APX

Antes de inocular las plantas de crisantemo con *A. alternata* y *A. tenuissima*, la actividad enzimática de la APX, de los tratamientos 0.01 y 0.1 mM de AS, fue 75.1% y 74.5% respectivamente mayor, en relación al tratamiento testigo (Cuadro 4). Después de la inoculación, en los cuatro tratamientos la actividad enzimática de la APX disminuyó con respecto a antes de la inoculación, y no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo.

Cuadro 4. Actividad enzimática de la APX en plantas de crisantemo pretratadas *in vitro* con AS. A) 150 días de edad de la planta (el día anterior a la inoculación con *A. alternata* y *A. tenuissima*) y B) a los 11 días después de la inoculación.

Tratamiento (mM) AS	A		B	
0 (testigo)	13.18 ± 1.12	b	6.88 ± 0.42	a
0.001	12.94 ± 1.12	b	5.68 ± 0.42	a
0.01	23.08 ± 1.12	a	6.96 ± 0.42	a
0.1	23.00 ± 1.12	a	6.01 ± 0.42	a

Los datos corresponden a las medias ± el error estándar.
*Literales diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey (p ≤ 0.05).

Es posible que previo a la infección, el alto contenido de APX fuera importante para disminuir significativamente la incidencia y la severidad en las plantas de crisantemo, evitando el estrés

generado por el patógeno. El AS incrementó inclusive después de 150 días del pretratamiento de la actividad de la APX, lo que hace potencialmente útil a este compuesto para tener efecto a largo plazo. Es importante destacar que el efecto de AS para disminuir la severidad e incidencia de *Alternaria* ssp sobre crisantemos fue a largo plazo, efecto que también se encontró en la protección contra fitoplasma de papa (López-Delgado *et al*., 2013), lo que destaca la función del AS en los procesos de inducción de tolerancia con efecto a largo plazo.

Conclusiones

1. El pretratamiento en condiciones *in vitro* de AS en plantas de crisantemo, tiene efecto después de cinco meses (largo plazo) en la disminución de hasta el 61.5% en la incidencia y un 11% en la severidad de la mancha foliar del crisantemo (*Alternaria* spp.), a través del incremento la actividad enzimática antioxidante de CAT, APX previo a la inoculación de *Alternaria* ssp.

Literatura Citada

Dat, J., S. Vandenabeele, E. Vranová, M. Van Montagu, D. Inzé and F. Van Breusegem. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. Cellular and Molecular Life Sciences 57:779-795.

de la Cruz, L. N., M. E. Mora H., R. García V. y H. López D. 2014. Efecto del ácido salicílico en la tolerancia de crisantemo a *Alternaria* spp. p. 149-153. *In*: XVII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas 2014. Mexicali, B.C., México.

Domínguez, S. D. 2012. Patogenicidad del género *Alternaria* spp. en variedades de crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev). Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Edo. de Méx., México. 75 p.

Espinosa-Vázquez, M. A., E. E. Espinoza-Medinilla, C. Orantes-García, E. Garrido-Ramírez y T. M. Rioja-Paradela. 2019. Salicylic acid and *Bacillus subtilis* as control of early blight (*Alternaria solani*) in tomato plants (*Solanum lycopersicum*). Revista de La Facultad De Ciencias Agrarias UNCUYO 51(1):161-171.

Espinoza, N. O., R. Estrada, D. Silva-Rodríguez, P. Tovar, R. Lizarraga and J. H. Dodds. 1986. The potato: A model crop plant for tissue culture. Outlook on Agriculture 15(1):21-26.

Gutiérrez-Martínez, P. B., M. I. Torres-Morán, M. C. Romero-Puertas, J. Casas-Solís, P. Zarazúa-Villaseñor, E. Sandoval-Pinto y B. C. Ramírez-Hernández. 2020. Assessment of antioxidant enzymes in leaves and roots of *Phaseolus vulgaris* plants under cadmium stress. Biotecnia 22(2):110-118.

Mora-Herrera, M. E., H. López-Delgado, A. Castillo-Morales and C. H. Foyer. 2005. Salicylic acid and H_2O_2 function by independent pathways in the induction of freezing tolerance in potato. Physiologia Plantarum 125(4):430-440.

Lamari, L. 2008. Assess 2.0. Image análisis sofware for plant disease quantification. The American Phytopathological Society. Sant Paul, MN, USA.

López-Delgado, H. A., M. E. Mora-Herrera, R. Martínez-Gutiérrez and S. Sánchez-Rojo. 2013. Short and long term effects of salicylic acid on protection to phytoplasma associated stress in potato plants. p. 315-338. *In:* Hayat, S., A. Ahmad and A. M. Naseer. (eds.) Salicylic acid: Plant growth and development. Springer. Heidelberg. New York. London.

Mora-Herrera, M. E., R. García V., S. Aguilar M. y H. López D. 2021. Actividad de las peroxidasas en crisantemos pretratados con ácido salicílico en la tolerancia *Alternaria* spp. p. 70. *In*: 3er Congreso Mexicano y 1er Congreso Internacional de Fisiología Vegetal. Tepatitlán, Jal., México.

Salazar, T. A. J. 2021. Efecto del ácido salicílico en combinación con el fungicida penconazol, para el control de mancha chocolate (*Botrytis fabae*). Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Ceballos, Ecuador. 74 p.

Scandalios, J. G. 2005. Oxidative stress: Molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. Brazilian Journal of Medical and Biological Research 38:995-1014.

SIAP-SAGARPA (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Resumen de producción agrícola anual, ciclo 2012-2013. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

Vázquez, G. J. G. G. 2016. Problemas fitosanitarios del crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), var. Polaris en el municipio de Villa Gro., Estado de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Edo. de Méx., México. 125 p.

Zhang, Q., D. Li, Q. Wang, X. Song, Y. Wang, X. Yang *et al*. 2021. Exogenous salicylic acid improves chilling tolerance in maize seedlings by improving plant growth and physiological characteristics. Agronomy 11(7):1341.

ANÁLISIS DE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DEL COCOTERO HÍBRIDO CHACTEMAL EN SEMILLERO

Matilde Cortazar Ríos[1*], Gilbert José Herrera Cool[1] y Feliciano Gerardo Balderas Palacios[2]

Resumen

El cocotero (*Cocos nucifera* L.) es una especie que mantiene un lugar privilegiado dentro de los 50 principales cultivos en el mundo, derivado por los diversos productos y subproductos que de ella se obtienen, que además son saludables para los consumidores y el ambiente. Una de las alternativas varietales utilizadas en la renovación de plantaciones viejas o nuevas plantaciones de cocotero, son los híbridos de cocotero, producto del cruzamiento entre un cultivar enano con uno alto, debido a que la nueva planta reúne precocidad, resistencia al Amarillamiento Letal y productividad. Cuando se comercializan los híbridos se debe garantizar semilla o planta de calidad genética a los clientes. Por lo anterior, en este estudio se planteó el objetivo de evaluar en semillero a cielo abierto parámetros de germinación y crecimiento de la planta del cocotero híbrido Chactemal, cruza del Enano Amarillo Malayo con el Criollo Alto Felicitos. Los resultados obtenidos bajo el manejo que se le proporcionó al material genético en el Campo Experimental Chetumal, fueron un 81% de germinación final y un 81% de velocidad de germinación en la categoría rápida y muy rápida, no sobrepasando los 70 días después de la siembra. Dentro de un período de 121 días, sólo en 44 días ocurrió la emergencia del brote y en 77 no se manifestó actividad fisiológica. Con respecto a la eficiencia de hibridación, se encontró 85%, por lo que el otro 15% correspondió a plantas ilegítimas, o sea, de Enano Amarillo Malayo. Dentro de los híbridos, el color que se presentó con mayor frecuencia fue el verde. Con respecto a la posición de la semilla, ésta no influyó en los parámetros de germinación, pero sí en los de crecimiento de las plantas de cocotero, encontrándose los mayores valores de grosor y altura de la planta cuando la semilla se colocó en posición ligeramente inclinada. El porcentaje obtenido de plantas híbridas de calidad para

[1] Campo Experimental Chetumal. CIRSE. INIFAP. *cortazar.matilde@inifap.gob.mx
[2]Campo Experimental Santiago Ixcuintla. CIRPAC. INIFAP

trasplante con un buen desempeño agronómico fue de 57% y 83%, considerando el total de semillas sembradas y considerando el total de plantas híbridas germinadas, respectivamente.

Palabras clave: posición de semilla, emergencia, eficiencia de hibridación

Introducción

El cocotero (*Cocos nucifera* L.) es una fruta tropical perenne de fructificación continua y cultivo oleaginoso adaptado a los trópicos costeros húmedos y subhúmedos (Yang *et al*., 2018). Es una especie explotada desde las raíces hasta las hojas y el fruto; este último es la fuente de componentes comestibles como agua de coco, aceite de coco virgen, copra y leche de coco, así como fibra natural (cáscara) y carbón activado (hueso) (Islas y Tzec, 2021). El fruto es una drupa seca pseudomonocárpica superior, con exocarpio delgado, coriáceo, denso y suave. El mesocarpio es potente, desarrollado y fibroso y el endocarpio consiste en células muy duras. En la base de la fruta, hay tres aberturas germinales, dos de las cuales están cubiertas de fibra y la tercera sirve como punto de salida de la raíz embrionaria. Para el proceso de germinación, que abarca desde la germinación del embrión en el interior hasta la emergencia del brote a la superficie, el embrión dentro de la semilla con edad de 11 a 14 meses de edad y en ocasiones hasta menos tiempo, comienza a agrandarse internamente, para eventualmente llenar la cavidad completamente con un haustorio similar a una esponja. Esto produce las enzimas que convierten el aceite interno en nutrientes que luego absorbe para apoyar el crecimiento hasta que emergen hojas y raíces a través de la cáscara y se expanden a la luz del día para que comience la fotosíntesis (Manjula *et al*., 1995). Métodos de germinación han sido desarrollados para producir un flujo uniforme de plántulas vigorosas en grandes cantidades; además, se han sugerido numerosas formas de acelerar y maximizar la germinación total de las semillas (Harries, 2012). El establecimiento adecuado de semillas es una etapa crucial que puede determinar el número de plantas desarrolladas, el tiempo de emergencia y el crecimiento y desarrollo temprano de las plántulas (Gardarin *et al*., 2016). Estas características en semillas de coco, pueden estar determinadas por diversos factores como: la genética de la variedad (Harries, 2012), pretratamiento de las semillas (Al-Khayri *et al*., 2018) o por el tamaño y la

posición de la semilla en el momento de la siembra (Raja y Sivasubramaniam, 2015; Balderas *et al*., 2022). Debido a lo anteriormente mencionado, es importante evaluar parámetros de germinación y crecimiento en variedades de cocotero, para generar información, que permita seleccionar variedades de importancia comercial, y precoces durante la etapa de semillero.

Materiales y Métodos

El área de estudio se ubica dentro del Campo Experimental Chetumal, en las coordenadas 18°34'23" LN y 88°27'35" LO, a una altitud de 27 m, bajo la influencia de un clima cálido subhúmedo, donde ocurre una precipitación de 1,300 mm y una temperatura promedio anual de 26°C.

El 8 de enero de 2022, en el área de semilleros del campo experimental se sembraron 100 semillas totalmente secas del híbrido Chactemal (Enano Amarillo Malayo x Criollo Alto Felicitos), es decir la F1, procedentes de la Hacienda Campo Real y Anexos, ubicada en Comalcalco, Tabasco, donde tuvieron un proceso de selección, eligiendo semillas recién cosechadas, sanas, completamente maduras de color café pajizo, con agua audible en su interior al agitarlas o al menos pesadas, es decir, no vanas. Cincuenta y tres semillas se colocaron en posición vertical y 47 en posición ligeramente inclinada, se cubrieron con tierra agrícola; a partir de ahí se les suministró riego continuo y se realizó la eliminación manual de las malezas mientras emergieron, crecieron y se desarrollaron en plantas.

Las variables registradas fueron: fecha de emergencia del brote, días a emergencia, velocidad de germinación utilizando una escala modificada (Cuadro 1), tomando como base la escala de la Guía Técnica para la Descripción Varietal de Cocotero del SNICS (SNICS, 2014), grosor de la base y altura de la planta, éstas dos últimas se registraron a los 60 días después de la emergencia de cada plántula. También se calcularon el porcentaje de germinación, porcentaje de hibridación y porcentaje de producción de planta híbrida apta para trasplante. Por último, se determinó el color de las plantas híbridas.

Cuadro 1. Escalas para determinar la velocidad de germinación en cocotero (días después de la siembra).

Escala SNICS	Escala modificada	Equivalencia*
Muy rápida (51-60)	Muy rápida (≤60)	1
Rápida (61-70)	Rápida (61-70)	2
Moderada (71-80)	Moderada (71-80)	3
Lenta (81-100)	Lenta (81-100)	4
	Muy lenta (>101)	5

*Se usó para poder efectuar el análisis estadístico.

En el análisis estadístico sólo se contemplaron las plantas que llegaron a los 60 días de edad después de la emergencia. Los datos se analizaron con el Programa Estadístico SAS, bajo un diseño completamente al azar, con 39 repeticiones para la posición vertical y 38 para la posición ligeramente inclinada. La comparación de medias se realizó con la prueba de Duncan al 5%.

Resultados y Discusión

Germinación final

El 80% de germinación se alcanzó el 4 de abril de 2022, a los 87 días después de la siembra; posteriormente, a los 144 días después de la siembra, o sea, el 31 de mayo de 2022, ésta se incrementó a 81%, siendo el máximo valor obtenido (Figura 1); por lo tanto, 19 semillas no germinaron. Vargas *et al*. (2004), reportaron valores de germinación en híbridos de cocotero de 58.3 y 69.0% a los 150 días después de la siembra y de 83.0 y 85.6% a los 250 días después de la siembra, siendo este último tiempo bastante prolongado. A su vez, Faria *et al*. (2002) reportaron 83.3 y 88.1% de germinación en híbridos a los 120 días después de la siembra.

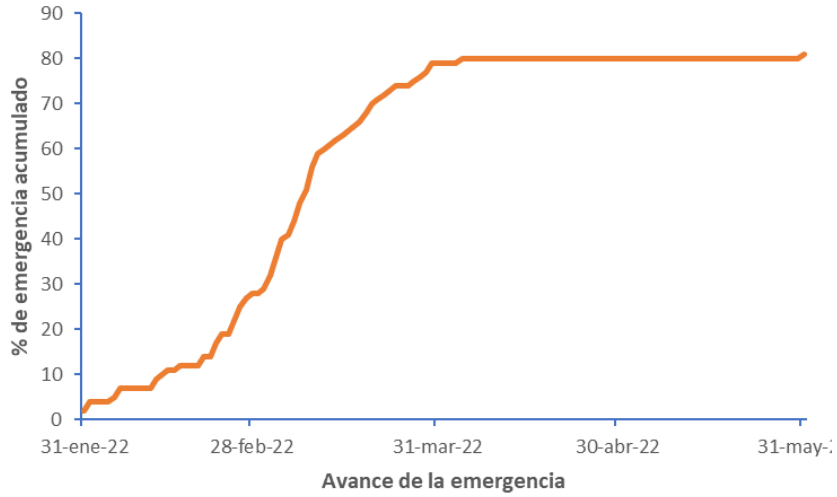


Figura 1. Porcentaje de germinación acumulado en el cocotero híbrido Chactemal.

Desde que emergió el primer brote hasta que emergió el último, transcurrieron 121 días; por otro lado, en 77 días de este período no ocurrió emergencia y en 44 días ocurrió emergencia con diferentes porcentajes: 23 días el 1%, 10 días el 2%, 7 días el 3%, 3 días el 4% y 1 día el 5% de germinación (Figura 2). La germinación final obtenida es adecuada tomando en cuenta que en esta especie un 50% de germinación se considera aceptable.

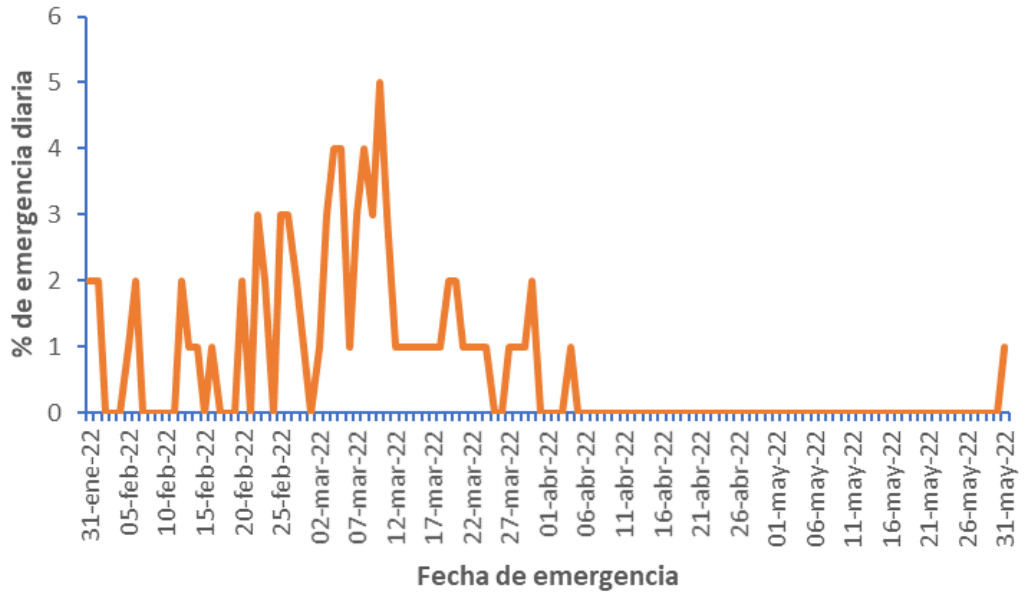


Figura 2. Porcentaje de germinación diaria en el cocotero híbrido Chactemal.

Velocidad de germinación

Un 81% de las semillas germinaron rápida y muy rápidamente, desde 24 hasta 70 días después de la siembra (Cuadro 2), lo cual es un carácter muy favorable cuando se produce y comercializa plántula de cocotero, pero es más importante porque se ha encontrado relación entre una rápida germinación y la precocidad en el inicio de la fase reproductiva. Por el contrario, Vargas *et al*. (2004), registraron germinaciones en semillas híbridas desde los nueve hasta los 250 días.

Cuadro 2. Velocidad y porcentaje de germinación del híbrido Chactemal.

No. de semillas		Velocidad de germinación				
Sembradas	Emergidas	Muy rápida	Rápida	Moderada	Lenta	Muy lenta
100	81 (69 híbridos y 12 ilegítimos)	48 (24-60 DDS) 59.26%	18 (61-70 DDS) 22.22%	10 (71-80 DDS) 12.35%	4 (81-87 DDS) 4.94%	1 (144 DDS) 1.23%

DDS = días después de la siembra.

Eficiencia de hibridación

De las 81 semillas germinadas, el 85% fueron híbridos y el 15% plántulas ilegítimas, es decir, Enano Amarillo Malayo. Se puede mencionar que estos porcentajes hasta cierto punto son aceptables cuando se forman híbridos en una huerta intercalada o mixta, en las que se encuentran los dos progenitores que intervienen en la hibridación. Este porcentaje de aceptación se debe a que existen varios factores no controlables, como la suspensión de labores los sábados y domingos, días en que no se emasculan las inflorescencias que llegan a abrir, mismas que son portadoras de algunas flores masculinas emitiendo polen, el cual se convierte en fuente de contaminación.

Color del híbrido

El color que sobresalió fue el verde con un 51%, siguiéndole el verde-dorado con un 28%, luego el dorado con un 10%, el verde-amarillo con un 10% y, por último, el bronceado-amarillo con un 1%. Desde que inició en México la formación de híbridos de cocotero, siempre ha sobresalido el color verde.

Plantas aptas para trasplante

Del total de plantas germinadas, seis murieron (tres híbridas y tres ilegítimas), 13 no tuvieron un buen desempeño agronómico (nueve híbridas y cuatro ilegítimas) (Figura 3) y 62 alcanzaron un buen crecimiento y desarrollo (57 híbridas y cinco ilegítimas). El porcentaje final de plantas híbridas aptas para trasplante, es decir plantas de calidad con un crecimiento y desarrollo adecuado, respecto a las semillas sembradas fue de 57%; resultados similares encontraron Cortazar y Carrillo (2002), pero con respecto a las plantas híbridas germinadas fue de 83%. Por su parte, Faria *et al*. (2002) reportaron 78 y 81% de plantas híbridas aptas para trasplante cuando fueron evaluadas bajo condiciones de sol, es decir, a cielo abierto.



Figura 3. Plantas del cocotero híbrido Chactemal: (a) muerta y (b) con crecimiento atrofiado.

Posición de la semilla

El análisis de varianza sólo arrojó diferencias significativas para las variables grosor de la base y altura de la planta, registradas a los 60 días después de la emergencia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias de parámetros de germinación y crecimiento en cocotero.

Tratamiento	No. de semillas sembradas	No. de semillas germinadas	% de germinación	Días a germinación	Velocidad de germinación	Grosor base de planta (mm)	Altura de planta (cm)
Posición vertical	53	42	79.25 a	56.69 a	1.69 a	19.79 b	23.72 b
Posición ligeramente inclinada	47	39	82.98 a	55.82 a	1.58 a	22.79 a	34.63 a

Prueba Duncan al 5%. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Sobre la posición de la semilla de cocotero, Chattopadhyay *et al*. (2004), encontraron que en la posición horizontal de la semilla se registró mayor germinación (82.69%), que con la de posición vertical (79.24%), siendo este último resultado prácticamente igual al encontrado en este estudio con la misma posición. Por su parte, Vargas *et al*. (2004) mencionaron que la distribución de semillas en posición vertical en el semillero es un proceso que facilita el transporte de plántulas, reduce el quiebre del tallo, elimina la escarificación y permite mayor número de semillas/m^2.

A los 116 días después de la siembra, se alcanzó un promedio general de 21 mm en grosor y 29 cm de altura en la planta. A los 146 días después de la siembra, el grosor se incrementó a 24 mm, la altura a 47 cm y el número de hojas presentes fue de cuatro (Figura 4).



Figura 4. Plantas del cocotero híbrido Chactemal con 116 y 146 días de edad después de la siembra.

Los registros de Vargas *et al*. (2004), en cuanto a la altura de planta híbrida son de 19.1 y 23.2 cm a los 150 días después de la siembra en el semillero, por lo tanto, son menores a los

encontrados en este estudio; incluso a los 116 días después de la siembra, la altura de la planta que se reporta en el presente documento fue aproximadamente 8 cm mayor a la que estos autores encontraron a los 150 días.

Conclusiones

1. El cocotero híbrido Chactemal, bajo una buena interacción genotipo-manejo puede alcanzar el 81% de germinación final. 2. El 59% de las semillas germinaron muy rápido y el 22% rápido, desde 24 hasta 70 días después de la siembra. 3. La eficiencia de hibridación manifestada fue del 85% y dentro de los híbridos, el color verde fue el que se encontró con el mayor porcentaje (51%). 4. El porcentaje de plantas híbridas de calidad para trasplante con un buen desempeño agronómico fue de 57% y 83%, considerando el total de semillas sembradas y el total de plantas híbridas germinadas, respectivamente. 5. La posición de la semilla no influyó en los parámetros de germinación, pero sí en los de crecimiento del cocotero, encontrándose los mayores valores de grosor y altura de la planta cuando la semilla se colocó ligeramente inclinada.

Agradecimientos

A la Lic. Carlota Pulido Falconi, propietaria de la Hacienda Campo Real y Anexos por la donación del lote de semillas híbridas utilizadas en este estudio conducido dentro del Proyecto “Conservación y caracterización de germoplasma de cocotero nacional e introducido” del INIFAP con No. SIGI 10905743.

Literatura Citada

Al-Khayri, J. M., S. Mohan J. and D. V. Johnson (eds.). 2018. Advances in plant breeding strategies. Volume 3, fruits. Springer International Publishing. 990 p.

Balderas, P. F. G., G. J. Herrera C., I. J. González A., M. Cortazar R., G. Ramírez J., J. H. Ramírez S. e I. A. Balderas A. 2022. Influence of sowing nuts method in the emergency of *Cocos nucifera* L. plantlets. International Journal of Scientific Research and Engineering Development 5(3):106-111.

Cortazar, R. M. y H. Carrillo R. 2002. Polinización libre controlada como alternativa para la producción de híbridos de *Cocos nucifera* L. p. 209. *In*: Memoria del XIX Congreso Nacional de Fitogenética. Saltillo, Coah., México.

Chattopadhyay, N., A. B. Sharangi and J. K. Hore. 2004. Effect of position and depth of planting on germination of coconut in West Bengal. Haryana Journal of Horticultural Sciences 33:85-86.

Faria, W. S. de, H. Ney G. e W. E. Pereira. 2002. Comportamento de cinco genótipos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na fase de germinação e de crescimento de mudas, sob diferentes sistemas de produção. Revista Brasileira de Fruticultura 24(2):458-462.

Gardarin, A., F. Coste, M. H. Wagner and C. Dürr. 2016. How do seed and seedling traits influence germination and emergence parameters in crop species? A comparative analysis. Seed Science Research 26(4):317-331.

Harries, H. C. 2012. Germination rate is the significant characteristic determining coconut palm diversity. AoB Plants 2012: pls045; doi:10.1093/aobpla/pls045.

Islas, F. I. and M. Tzec S. 2021. Research opportunities on the coconut (*Cocos nucifera* L.) using new technologies. South African Journal of Botany 141:414-420.

Manjula, C., B. Chempakam and V. Rajagopal. 1995. Changes in nut water constituents during seed germination in coconut. Plant Physiology and Biochemistry 22:169-172.

Raja, K. and K. Sivasubramaniam. 2015. Effect of seednut size, sowing orientation and nursery area on germination and seedling vigour in coconut (*Cocos nucifera* L.) var. East Coast Tall. Madras Agricultural Journal 102(4-6):179-181.

SNICS (*Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas)*. 2014. Guía técnica para la descripción varietal de cocotero (*Cocos nucifera* L.). SAGARPA. SNICS. Tlalnepantla, Edo. De Méx., México. 37 p.

Vargas, R. V. H., A. C. De Queiroz P., W. Menezes A., A. C. Gomes, N. T. Vilela J., E. Lobato *et al*. 2004. Revista Brasileira de Fruticultura 26(2):363-365.

Yang, Y., A. Iqbal and R. Qadri. 2018. Breeding of coconut (*Cocos nucifera* L.): The tree of life. p. 673-725. *In*: Al-Khayri, J. M., S. Mohan J. and D. V. Johnson (eds.). Advances in plant breeding strategies. Volume 3, fruits. Springer International Publishing.

RESPUESTA PRODUCTIVA DE MAÍCES DEL CAMPO COTAXTLA CICLO "TONALMIL" CUENCA BAJA DEL PAPALOAPAN

Francisco Javier Ugalde Acosta[1]*, Mauro Sierra Macías[1], Ernesto Preciado Ortiz[2], Flavio Rodríguez Montalvo[1], Carmen Aridai Hernández Estrada[1], Arturo Guirit Guzmán[3], Ignacio Castañeda Alday[4], Simón Leyva Vela[1], Luis Nieto Castillo[1], Francisco Sánchez Fernández[5], Jesús Cañas Morales[6], José Luis Menéndez Ronquillo[5], Jesús Zamudio Torres[5], José David Ramón Hernández[5], Ángel de Jesús Gúzman Cruz[5], Trinidad Bartolo López[5], Eliseo Capitan Beltrán[5], Juan Carlos Beltrán Zamorano[5], Fidel Quevedo Cervantes[5] y Francisco Javier Vaquera Aguilar[7]

Resumen

La productividad del maíz de "tonalmil" o siembras de invierno en la Cuenca baja del Papaloapan, están vinculadas a la humedad de los suelos aluviales y complementadas por lluvias generadas por los frentes fríos del Golfo de México; sin embargo, si estas disminuyen al final del ciclo productivo, los rendimientos son afectados y en consecuencia la rentabilidad y economía de la región. Para dar respuesta tecnológica, el Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP, dispone de maíces que fueron evaluados durante los ciclos O-I 2020/21 y 2021/22; para lo cual se establecieron 31 módulos de validación con productores cooperantes con los genotipos de maíz H-567, H-520 y V-537C. Las condiciones de humedad fueron variables de regular a baja, regida por la acumulada en los suelos aluviales, y complementada con las precipitaciones generadas por los frentes fríos al final del ciclo invernal. Al combinar el rendimiento de los genotipos, el promedio de los dos ciclos contrastantes de humedad residual, se observa un comportamiento aceptable comparado con el promedio regional de la Cuenca baja del Papaloapan. Resalta el comportamiento productivo de los genotipos a la falta de humedad en las etapas reproductivas del maíz. En términos de rentabilidad la productividad obtenida por el promedio de los genotipos en ambos ciclos, fue de 1:1.6. Los genotipos de

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. Autor para correspondencia: agrotecnia7@yahoo.com.mx
[2]Veracruz. Campo Experimental El Bajío.
[3]Centro Bachillerato Tecnológico Agropecuario 84 Carlos A. Carrillo, Ver.
[4]Jefe Agrícola de GRUMA.
[5]Prestadores de Servicios Profesionales Municipales.
[6]Distrito de Desarrollo Rural 005 Tuxtepec, Oaxaca.
[7]Integrantes de la Comisión del Papaloapan 1947-1988.

maíz del INIFAP presentaron de mediana a alta respuesta productiva con respecto al promedio regional de la Cuenca baja del Papaloapan en el ciclo de *tonamil* de humedad residual; por lo que, se consideran una alternativa a pesar de las condiciones de sequía terminal que se presentaron durante los ciclos O-I 2020/21 y 2021/22.

Palabras clave: sequía, suelos aluviales, factor abiótico

Introducción

El cultivo de maíz de "*tonalmil"* en la Cuenca baja del Papaloapan (Veracruz y Oaxaca), comprende varias temáticas que influyen en la productividad y rentabilidad de los productores. En ambas regiones se siembran 12 mil hectáreas durante el ciclo otoño-invierno (O-I) de humedad residual, con una superficie promedio de 1.5 has por productor, (SIAP 2022), aprovechando los suelos aluviales que drenan al final y principios de año. La productividad del maíz de "*tonamil"* de 2.3 t ha^{-1}, está ligada a la condición de humedad en el ciclo. En el diagnóstico realizado en 2020 a los técnicos de fomento agropecuario y de los Distritos de Desarrollo Rural de la referida cuenca baja, indicaron que, la problemática de sequía está identificada de alta prioridad con una afectación del 38% en la productividad del maíz (Ugalde *et al*., 2021). Durante los ciclos otoño-invierno 2020/21 y 2021/22, los registros de precipitación pluvial de las casetas meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua fueron de regulares a bajos lo que genero información variable del comportamiento productivo de los genotipos del INIFAP, ante un factor abiótico. Por lo anterior, el objetivo fue, conocer la respuesta productiva de los genotipos de maíz del INIFAP en condiciones de humedad residual en el ciclo otoño-invierno.

Materiales y Métodos

Se establecieron 31 módulos de validación de una hectárea con los genotipos de maíz H-567 (Sierra *et al*., 2017), H-520 (Sierra *et al*., 2008) y V-537C, (Sierra *et al*., 2001) de los cuales 21

fueron durante el ciclo O-I 2020/21 y 10 en el O-I 2021/22 en el polígono de la Cuenca Baja del Papaloapan. La fecha de siembra estuvo sujeta al drenado de los terrenos desde finales de septiembre a enero. La dosis de fertilización en promedio fue de 110- 46-0 de NPK menor a la recomendada por el INIFAP 146-46-30 de NPK. La densidad de población fue de 62,500 plantas por hectárea, la protección vegetal de plagas y malezas se realizó en forma oportuna y por métodos químicos. Para determinar el rendimiento de los genotipos se cosechó el lote total de cada uno y se expresó en toneladas por hectárea. Se analizó la información de tres casetas meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua, ubicadas dentro del referido polígono, para observar el comportamiento productivo de los genotipos de acuerdo a la distribución pluvial en cada ciclo. La rentabilidad del cultivo se analizó mediante la relación beneficio/costo de acuerdo al precio rural en campo al final de cada ciclo.

Resultados y Discusión

Cada ciclo de producción de humedad residual en la Cuenca baja del Papaloapan fue contrastante en lo que se refiere a la precipitación pluvial. Durante el O-I 2020/21 la precipitación superior a los 550 mm (Figura 1), con una disminución ligera al final del ciclo, lo que permitió obtener rendimientos superiores a las 7 t ha^{-1}, de acuerdo a la condición de manejo de los productores y sitio. Con el promedio de 21 módulos, la productividad fue de 5.3 t ha^{-1} lo que representó 130% más con respecto al promedio regional (Cuadro 1).

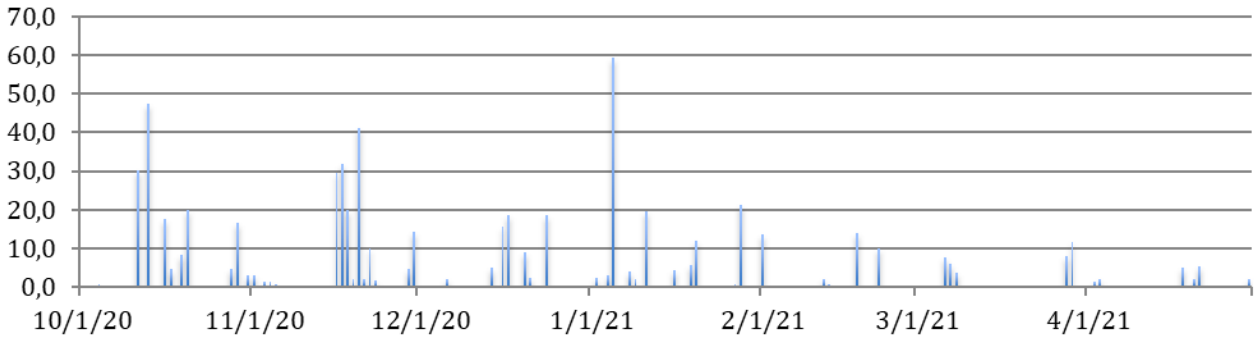


Figura 1. Registro promedio de precipitación pluvial del 1 de octubre del 2020 a la segunda quincena de abril del 2021 de la caseta de CONAGUA, de la Presa Miguel de la Madrid, en San Lucas Ojitlán, Oaxaca, que corresponde al periodo de siembra de maíz ciclo otoño-invierno 2020/21 en la Cuenca baja del Papaloapan.

Cuadro 1. Rendimiento de genotipos de maíz del INIFAP en la Cuenca baja del Papaloapan en el ciclo O-I de humedad residual 2020/21.

Estado	Municipio	Localidad	Fecha de Siembra	Genotipo	Rendimiento (t ha^{-1})
Oaxaca	San Lucas Ojitlán	Isla La Esperanza	24-dic-20	H-567	5
Oaxaca	San Lucas Ojitlán	Isla La Esperanza	24-dic-20	H-520	4.9
Oaxaca	San Lucas Ojitlán	Isla La Esperanza	24-dic-20	V-537C	5
Oaxaca	San Lucas Ojitlán	Nuevo Yucatán	23-dic-20	H-520	5.5
Oaxaca	San Pedro Ixcactlán	El Progreso	29-oct-20	H-567	3.3
Oaxaca	San Pedro Ixcactlán	El Progreso	29-oct-20	H-520	3.3
Oaxaca	Ayotzintepec	San José Mano Marqués	19-oct-21	H-567	3.6
Oaxaca	Ayotzintepec	San José Mano Marqués	19-oct-21	H-520	3.8
Oaxaca	San Pedro Ixcactlán	El Progreso	29-oct-21	H-567	4.2
Oaxaca	San Pedro Ixcactlán	El Progreso	29-oct-21	H-520	3.5
Oaxaca	San Pedro Ixcactlán	El Progreso	29-oct-21	H-567	3.4
	San Pedro Ixcactlán	El Progreso	29-oct-21	H-520	3.7
Oaxaca	Acatlán de Pérez Figueroa	El Conejo	06-nov-20	H-520	4.2
Oaxaca	Acatlán de Pérez Figueroa	El Conejo	06-nov-20	H-520	4
Veracruz	Tierra Blanca	La Providencia	22-sep-20	H-520	5.6
Veracruz	Tierra Blanca	Márquez Galindo	02-sep-20	H-520	6.6
Veracruz	Tierra Blanca	Loma del Carmen	02-sep-20	H-567	5.2
Veracruz	Tierra Blanca	Quechuleño	20-sep-20	H-567	5.6
Veracruz	Tierra Blanca	Paso Bobo	18-sep-20	H-567	5
Veracruz	Tierra Blanca	El Contento	10-sep-20	H-567	5.5
Veracruz	Tierra Blanca	Paso Coyote	18-sep-20	H-567	5
Veracruz	Isla	Solerilla	05-feb-21	H-520	5.9
	Isla	Solerilla	05-feb-21	H-567	7.3
	Isla	Solerilla	05-feb-21	V-537C	5.7
Veracruz	Juan Rodríguez Clara	El Tular	14-ene-21	H-520	6.7
	Juan Rodríguez Clara	El Tular	14-ene-21	H-567	6.7
	Juan Rodríguez Clara	El Tular	14-ene-21	V-537C	6.0
Veracruz	Juan Rodríguez Clara	Nopalapam	18-ene-21	H-520	6.3
	Juan Rodríguez Clara	Nopalapam	18-ene-21	H-567	8.4
	Juan Rodríguez Clara	Nopalapam	18-ene-21	V-537C	6.3
Veracruz	Chacaltianguis	Moyota	15-ene-21	H-567	5.5
Veracruz	Chacaltianguis	Moyota		H-520	5.5
Veracruz	Ixmatlahuaca	Ixmatlahuaca	15-dic-20	H-520	7.3
Rendimiento promedio					5.3

En el ciclo O-I 2021/22 las condiciones de precipitación pluvial fueron a la baja con respecto al año anterior, apenas de 169 mm con ausencia de lluvia a partir del mes de enero del 2022 hasta la cosecha (Figura 2), lo que generó una respuesta productiva diferente de los genotipos en base a los diez módulos de validación establecidos con un rendimiento de 4.3 t ha^{-1}, lo que significó 86% más al rendimiento promedio regional (Cuadro 2). Es importante destacar que, los módulos sembrados a finales de octubre del 2021 presentaron menor afectación por la escasez de humedad al final del ciclo.

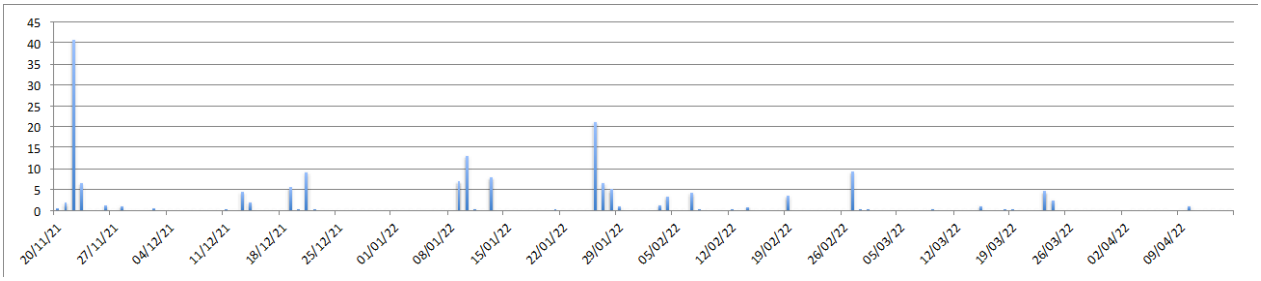


Figura 2. Registro promedio de precipitación pluvial del 20 de noviembre del 2021 a la segunda quincena de abril del 2022 de las casetas de CONAGUA, del Garro, Isla, Veracruz, Presa Miguel de la Madrid en San Luxas Ojitlán, y Tuxtepec, Oaxaca, que corresponde al periodo de siembra de maíz ciclo otoño-invierno 2021/22 en la Cuenca baja del Papaloapan.

Cuadro 2. Rendimiento de genotipos de maíz del INIFAP en la Cuenca baja del Papaloapan en el ciclo O-I de humedad residual 2021/22.

Estado	Municipio	Localidad	Fecha de Siembra	Genotipo	Rendimiento (t ha^{-1})
Oaxaca	Tuxtepec	Santa Teresa	09-nov-21	H-520	5.5
Veracruz	Juan Rodríguez Clara	El Blanco	22-oct-21	H-520	4.5
Veracruz	Juan Rodríguez Clara	El Blanco	22-oct-21	H-567	6.3
Veracruz	Juan Rodríguez Clara	El Blanco	22-oct-21	V-537C	4.7
Veracruz	Juan Rodríguez Clara	Nopalapam	9-enero-2022	H-567	2.5
	Juan Rodríguez Clara	Nopalapam	9-enero-2022	H-567	2.5
	Juan Rodríguez Clara	El Blanco	9-enero-2022	H-567	2.5
Veracruz	San Andrés Tuxtla	Ahuacapan	30-nov-2021	H-567	4.5
	San Andrés Tuxtla	Ahuacapan	30-nov-2021	H-567	4.5
	San Andrés Tuxtla	Ahuacapan	30-nov-2021	H-567	4.5
Rendimiento promedio					4.2

Al combinar el rendimiento de los genotipos, el promedio de los dos ciclos contrastantes de

humedad residual, se observa un comportamiento productivo aceptable y rentable, comparado con el promedio regional de la Cuenca baja del Papaloapan (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento promedio de genotipos de maíz del INIFAP en la Cuenca baja del Papaloapan en los ciclos O-I de humedad residual 2020/21 y 2021/22.

Genotipo	Rendimiento ciclo 2020/21	Rendimiento ciclo 2021/22	Total t ha^{-1}	Promedio t ha^{-1}
H-567[a]	5.2	3.9	9.1	4.55
H-520[b]	5	5	10	5
V-537C[c]	5.75	4.7	10.45	5.225

[a]21 registros productivos. [b]21 registros productivos. [c]5 registros productivos.

En términos de rentabilidad por hectárea, la productividad obtenida del promedio de los módulos por ambos ciclos fue de 1:1.6, en base al precio rural de 7 mil pesos la tonelada en campo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de rentabilidad del maíz en base al promedio de rendimiento de los genotipos evaluados en los ciclos O-I 2020/21 y 2021/22 de humedad residual en la Cuenca baja del Papaloapan.

Parámetro	Unidad
Rendimiento t ha^{-1}	4.75
Costo de producción \$ / ha^{-1}	21020
Precio por tonelada \$	7000
Ingreso bruto \$ / ha^{-1}	33250
Utilidad \$ / ha^{-1}	12,230
Relación beneficio / costo / ha^{-1}	1.6

Conclusiones

Los genotipos de maíz del INIFAP presentaron de mediana a alta respuesta productiva con respecto al promedio regional de la Cuenca baja del Papaloapan en el ciclo de humedad residual; por lo que, se consideran una alternativa a pesar de las condiciones de sequía terminal.

Agradecimientos

A la empresa GRUMA por el financiamiento del proyecto para los estados de Veracruz y Oaxaca dentro del convenio Desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología para el incremento de la producción y asegurar el abasto de maíz con calidad y sanidad basándose en los criterios de sustentabilidad en regiones estratégicas de CONALSA a nivel nacional.

Literatura Citada

Sierra, M. M., A. Palafox C., R. Cano O., F. A. Rodríguez M., C. Espinosa, A. F. Turrent *et al*. 2001. Descripción varietal de H-519C, H-553C y V-537C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. INIFAP CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm.30. Veracruz, Ver., México. 21 p

Sierra, M. M., A. Palafox C., F. A. Rodríguez M., C. Espinoza, N. A. Gómez M., F. Caballero H. *et al*. 2008. H-520 Híbrido trinineal de maíz para el trópico húmedo de México. Agric. Téc. Méx. Vol. 34(1):119-122.

Sierra, M. M., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C. y N. Gómez, M. 2017. H-567, híbrido de maíz para el trópico húmedo de México. Revista de Operaciones Tecnológicas. 1(3):6-14.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. SAGARPA. México, D. F. http://www.siap.sagarpa.gob.mx [consultado el 21 de julio de 2022].

Ugalde, A. F. J., C. A. Hernández E., M. Sierra M., F. Rodríguez M., J. Cañas M., A. Guirit G. *et al*. 2021. Diagnóstico técnico-productivo del maíz de *tonamil* en la Cuenca del Papaloapan y Sur de Veracruz. p. 53-55. *In:* XVI Simposio Internacional XI Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Veracruz, Ver., México.

MORFOMETRÍA DE LA SEMILLA DE CALABAZA CHIHUA (*Cucurbita argyrosperma* Huber) COLECTADA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO

José Ángel García Sandoval[1*], Antonio Villalobos González[2] y Isaac Meneses Márquez[3]

Resumen

El monocultivo de la calabaza chihua (*Cucurbita argynosperma* Huber) llegó para quedarse en Quintana Roo, la estadística de superficie y producción a partir de 2012 así lo demuestra. Se buscó cuantificar las diferencias morfométricas de los caracteres del principal insumo de la calabaza chihua, la semilla, colectada en la península de Yucatán. Las poblaciones evaluadas fueron cuatro de Quintana Roo, cuatro de Campeche y dos de Yucatán. Cada parcela se integró de cuatro surcos de 10.5 m de largo y 3 m entre ellos. En cada tratamiento se seleccionaron al azar tres frutos. De la semilla obtenida se eligieron al azar 10 por fruto, a las cuales se les midieron siete variables cuantitativas. Todos los resultados fueron analizados en el programa estadístico SAS y se obtuvo el ANOVA y la comparación de medias de Tukey al 95% de probabilidad. Hubo diferencias estadísticas (Pr≤0.01) entre los tratamientos en todas las variables medidas y un CV aceptable en todos los casos. Mediante la prueba de Tukey se clasificó al tratamiento 6 con la mayor longitud de semilla (26.79 mm) y una diferencia del 19% con el tratamiento 7 ubicado en último lugar. En el ancho de la semilla se perfilaron a los tratamientos 8, 4 y 9 con el mayor diámetro entre 12.21 a 11.61 mm y al tratamiento 5 con la semilla más delgada. El peso de la semilla ubicó al 60% de los tratamientos (6, 4, 1, 9, 8 y 2) como mejores con cantidades de 0.331 a 0.337 g. Las poblaciones de calabaza chihua que se siembran en los tres estados de la península de Yucatán expresaron amplia diversidad genética en las características morfométricas de la semilla.

[1] Campo Experimental Chetumal-INIFAP. garcia.angel@inifap.gob.mx
[2] Campo Experimental Edzná-INIFAP.
[3] Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP.

Palabras claves: semilla, colectas, calabaza chihua

Introducción

La calabaza, junto con el maíz, el frijol y el chile, es de los cultivos emblemáticos de la milpa en México. No obstante, el monocultivo de la calabaza denominada localmente chihua (*Cucurbita argynosperma* Huber) introducido por los productores para diversificar o hacer más eficiente su aprovechamiento en Quintana Roo, llegó para quedarse, pues la estadística de superficie y producción a partir de 2012 así lo demuestra. En el ciclo agrícola P-V 2019 rebasó las 2,560 ha, con un rendimiento medio de 630 kg de semilla seca por hectárea y una derrama económica superior a los 28.5 millones (SIAP, 2020).

Con estudios sobre el comportamiento productivo de las poblaciones criollas de calabaza chihua que siembran los productores de esta región agroecológica, García *et al.,* (2018) corroboraron, una vez más, la amplia diversidad genética en tamaño, forma y color del fruto, así como el potencial productivo que posee en Quintana Roo; sin embargo, como la importancia económica de este tipo de calabaza es únicamente la semilla, ya que la pulpa del fruto, hasta hoy en día, no es utilizada para consumo humano ni animal; por lo tanto, conocer las diferencias morfométricas de sus principales componentes también es de interés, sobre todo cuando se realiza algún tipo de selección dentro del mejoramiento genético de esta especie.

Materiales y Métodos

Este trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental Chetumal, ubicado en el Km 25 carretera Chetumal-Bacalar, Xul-Ha, OPB, Quintana Roo. El tipo de suelo se relaciona con los Luvisoles crómicos y son conocidos localmente como Ya'ax-hom. Las poblaciones evaluadas fueron cuatro de Quintana Roo (Xul-Ha (1), Cacao (3), Caobas (10) y Chetumal (4)), cuatro de Campeche (Becal (2), Carrillo Puerto (5), Edzná (7) y Pixoyal (8)) y dos de Yucatán (Yucatán norte (6) y local Yucatán (9)). La siembra se realizó el día 13 de junio de 2018, colocando dos

a tres semillas por punto de siembra, separados a 1.5 m y 3.0 m entre surcos. El manejo nutricional y fitosanitario fue de acuerdo al paquete tecnológico que recomienda el INIFAP en la entidad. El diseño fue bloques al azar con tres repeticiones, donde cada parcela se integró de cuatro surcos de 10.5 m de largo y 3 m entre ellos. En cada tratamiento se seleccionaron al azar tres frutos y de la semilla obtenida en cada uno de ellos se eligieron al azar 10 semillas por fruto, a las que se les midió de manera individual las siguientes variables cuantitativas: Largo de semilla, ancho de semilla, grosor de semilla, margen de semilla, cáscara de semilla, pepita de semilla y peso total de la semilla. Todos los resultados fueron analizados en el programa estadístico SAS y se obtuvo el análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de Tukey al 95% de probabilidad.

Resultados y Discusión

El ANOVA mostró diferencias estadísticas (Pr≤0.01) entre los tratamientos en todas las variables medidas y un coeficiente de variación (CV) aceptable en todos los casos (Cuadro 1). Estos resultados evidencian la diversidad genética en este tipo de calabaza en los tres estados de la península de Yucatán; asimismo, confirman la variabilidad de esta especie documentada por Valdés *et al*., (2014) y Ruelas *et al*., (2015).

Cuadro 1. Resultados del ANOVA a las variables morfométricas de la semilla de calabaza chihua por tratamiento en los tres estados de la Península de Yucatán, México. INIFAP-CIRSE-C. E. Chetumal. P-V 2018.

Variable	Significancia	CV (%)	Media	CM	Error
Largo de semilla (mm)	**	5.75	23.43	6.779	1.819
Ancho de semilla (mm)	**	6.48	10.48	5.869	0.462
Grosor de semilla (mm)	**	7.51	1.92	0.209	0.021
Margen de semilla (mm)	**	7.89	2.32	0.599	0.033
Peso de cáscara de semilla (g)	**	6.43	0.091	0.00016	0.000034
Peso de pepita de semilla (g)	**	7.01	0.22	0.0009	0.0002
Peso total de semilla (g)	**	5.82	0.31	0.0015	0.00032

**= Significativo al 1%; CV= Coeficiente de variación; CM= Cuadrado medio.

Al correr la prueba de medias de Tukey al 95% de probabilidad para cada variable se obtuvieron los siguientes resultados:

Longitud de semilla. Los tratamientos expresaron una media general de 23.43 mm, se conformaron tres grupos de respuesta y clasificó al tratamiento 6 con la mayor longitud de semilla (26.79 mm). Le siguió el grupo integrado por el 40% de los tratamientos (4, 8, 1 y 2) con valores entre 25.26 a 21.85 mm. El último agrupó al 50% restante de los tratamientos (10, 3, 9, 7 y 7), en los cuales la longitud de la semilla fluctuó de 22.79 a 21.85 mm. Se aprecia una diferencia cercana a 5 mm, lo que representa alrededor del 19% en la longitud de la semilla entre los tratamientos clasificados en primero y último lugar (Figura 1). Con respecto a esta variable Ruelas *et al*., (2015) reportó datos casi 4 mm abajo de la media, incluso inferior a la población que desarrolló la semilla de menor tamaño.

Ancho de semilla. En esta variable la prueba de Tukey perfiló a los tratamientos 8, 4 y 9, estadísticamente iguales, con el mayor diámetro de la semilla (12.21 a 11.61 mm) y, en el lado opuesto, al tratamiento 5 con el ancho menor de semilla (7.94 mm). En este caso la diferencia entre los mejores y el peor tratamiento fluctuó entre 3.67 a 4.27 mm, lo que significó alrededor del 33% menos (Figura 2).

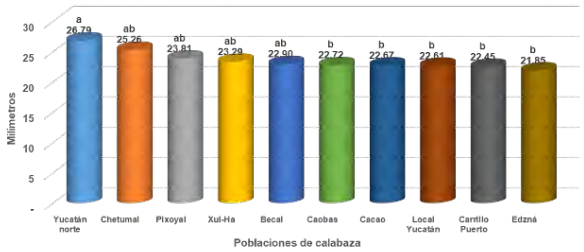


Figura 1. Longitud de semilla que alcanzaron las poblaciones de calabaza chihua colectadas en la Península de Yucatán. P-V 2018. INIFAP-C.E. Chetumal.

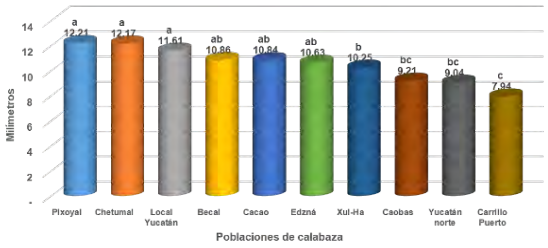


Figura 2. Ancho de semilla que alcanzaron las poblaciones de calabaza chihua colectadas en la Península de Yucatán. P-V 2018. INIFAP-C.E. Chetumal.

Grosor de semilla. Aquí la Prueba de Tukey ubicó, estadísticamente iguales, a los tratamientos 6, 9, 4 y 2 como los mejores, con valores entre 2.26 a 2.07 mm. Hubo una diferencia cercana a un milímetro con respecto al de mayor grosor, a la población que produjo las semillas más delgadas de todas, el tratamiento 5 (1.34 mm) (Figura 3). La media de 1.96 mm obtenida en este estudio resultó 0.84 mm inferior a lo reportado por Ruelas *et al*., (2015).

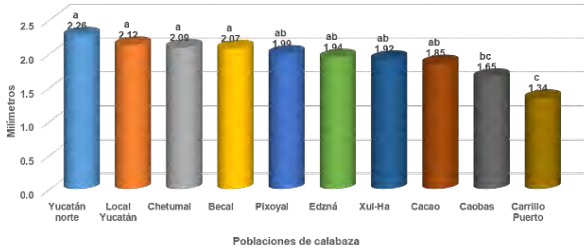


Figura 3. Grosor de semilla que alcanzaron las poblaciones de calabaza chihua colectadas en la Península de Yucatán. P-V 2018. INIFAP-C.E. Chetumal.

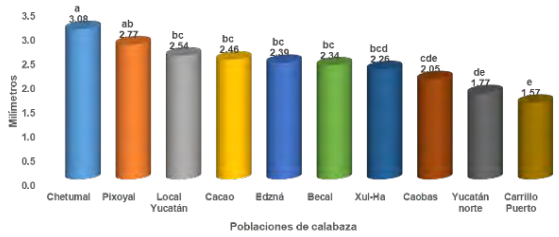


Figura 4. Margen de semilla que alcanzaron las poblaciones de calabaza chihua colectadas en la Península de Yucatán. P-V 2018. INIFAP-C.E. Chetumal.

Margen de semilla. Una característica distintiva de la especie *C. argynosperma* es el desarrollo de un margen pronunciado de la semilla que si es < 2 mm se considera delgado y > 2 mm grueso según (ECPGR, 2008). Tomando en cuenta esta clasificación el tratamiento 4 desarrolló un margen 50% superior a lo reportado como grueso y se ubicó como el mejor de todos los tratamientos. Cabe destacar que sólo los tratamientos 6 y 5 desarrollaron el margen por debajo de los 2 mm; por lo tanto, son los únicos clasificados con margen delgado; los demás quedan en el grupo de semillas con margen grueso, pues superan los 2 mm (Figura 4).

Cáscara de semilla. De acuerdo a la Figura 5, Tukey conformó tres grupos de respuesta, donde el mejor posicionado fue el tratamiento 6 con un peso promedio de 0.107 gr, seguido por el 9, 4, 2, 1 y 8 con cantidades que variaron de 0.090 a 0.097 g y, finalmente, el grupo integrado por el 3, 7, 10 y 5 cuyo valor fluctuó entre 0.080 a 0.087 g promedio de cáscara por

semilla. Los tratamientos ubicados en los extremos (6 y 5) expresaron, entre ellos, una brecha del 25% en el peso de la cáscara de la semilla. Adicionalmente, con los resultados obtenidos en este ensayo, se puede precisar que esta variable representó alrededor del 30% del peso total de una semilla de la calabaza tipo chihua que siembran en los tres estados de la Península de Yucatán. Estos resultados son un poco distintos a lo reportado en calabaza criolla de castilla donde la cáscara de la semilla representó alrededor del 22% en valores obtenidos en ancho y largo de semilla en los tratamientos con y sin cáscara (Rössel *et al*., 2018).

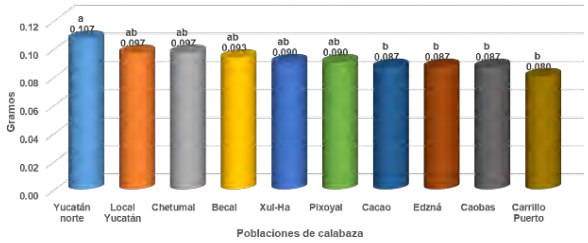


Figura 5. Peso de cáscara de semilla que alcanzaron las poblaciones de calabaza chihua colectadas en la Península de Yucatán. P-V 2018. INIFAP-C.E. Chetumal.

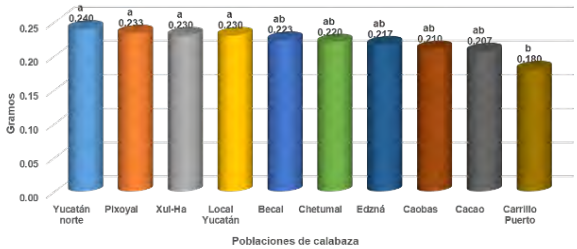


Figura 6. Peso de pepita de semilla que alcanzaron las poblaciones de calabaza chihua colectadas en la Península de Yucatán. P-V 2018. INIFAP-C.E. Chetumal.

Pepita de semilla. Variable que junto a la cáscara de semilla conforman el peso total de la semilla, por lo tanto, son variables estrechamente relacionadas. Tomando en cuenta la prueba de Tukey (Figura 6) y al igual que la cáscara de la semilla se integraron tres grupos; el primero con el 40% de los tratamientos (6, 8, 1 y 9) cuyos valores estuvieron entre 0.230 a 0.240 g por semilla; luego el grupo dos con pesos entre 0.207 a 0.223 g que albergó al 50% de los tratamientos (2, 4, 7, 10 y 3), finalmente el grupo tres con el tratamiento restante (5), el cual generó el valor más bajo de todos (0.180 g). La diferencia entre el mejor y peor tratamiento posicionado, según Tukey, fue alrededor del 25% del peso promedio de la pepita que posee la

semilla de calabaza tipo chihua. Tal y como se esperaba, el peso promedio de esta variable representó el 70% del peso total que tiene una semilla de este tipo de calabaza.

Peso de semilla. Variable de mayor interés para los productores que se dedican al cultivo comercial de la calabaza tipo chihua, ya que la semilla o pepita como también suele conocerse, es su producto principal en el mercado local, regional y nacional, pues su pulpa, hasta ahora en México, no tiene valor alguno y generalmente es desaprovechado. La Figura 7 señala con toda claridad las diferencias estadísticas entre las poblaciones de calabaza o tratamientos, conformando, al igual que en otras variables expuestas con anterioridad, varios grupos de respuesta. En este caso el grupo de mayor interés recae en el primero y agrupa al 60% de los tratamientos (6, 4, 1, 9, 8 y 2) con pesos de semilla entre 0.331 a 0.337 g. En contraste, y en la parte más baja, quedó el tratamiento 5 (0.257 g) con una diferencia aproximada del 24% con relación al más alto (0.337 g).

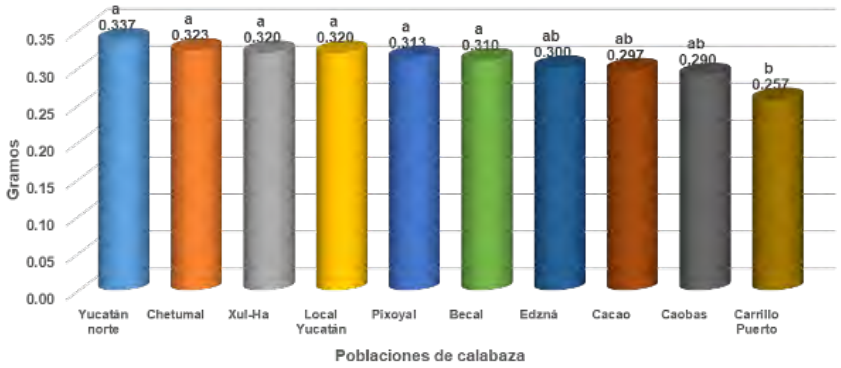


Figura 7. Peso de semilla que alcanzaron las poblaciones de calabaza chihua colectadas en la Península de Yucatán. P-V 2018. INIFAP-C.E. Chetumal.

En forma resumida la accesión sobresaliente en longitud de semilla y cantidad de cáscara fue la procedente de Yucatán denominada Yucatán norte con 26.79 mm y 0.107 g, en forma respectiva. En cuanto al ancho de semilla, con valores entre 12.21 a 11.61 mm, se ubicaron las poblaciones Pixoyal de Campeche, Chetumal de Q. Roo y local Yucatán de Yucatán. Con respecto al grosor de semilla (2.07 a 2.26 mm) las poblaciones Yucatán norte, local Yucatán, Chetumal y Becal superaron al resto de las colectas. El margen de la semilla más pronunciado correspondió a la accesión Chetumal de Quintana Roo que rebasó los 3 mm; es decir, 50% arriba de margen catalogado como grueso. Cabe destacar que sólo las colectas Yucatán norte y Carrillo Puerto desarrollaron el margen por debajo de los 2 mm; por lo tanto, fueron las únicas

clasificadas con margen delgado. Por otra parte, se observó que el 40% de las poblaciones desarrollaron la pepita más pesada y cuyo valor fluctuó desde 0.230 hasta 0.240 g; además, tuvieron un sobrepeso del 25% con relación a la colectada en Carrillo Puerto que presentó el menor peso. Finalmente, el peso total más elevado de la semilla se dio en el 60% de los tratamientos con rango entre 0.331 a 0.337 g; lo que equivale a 24% arriba de la población de Carrillo Puerto que nuevamente repitió entre las colectas que tienen la semilla menos pesada.

Conclusiones

Las poblaciones de calabaza chihua que se siembran en los tres estados de la península de Yucatán expresaron amplia diversidad genética en las características morfométricas de la semilla, corroborando el potencial genético para desarrollar genotipos mejorados con los atributos que demanda cada sector que tiene a la semilla o pepita como materia prima de su producto comercial a nivel local, regional y nacional.

Literatura Citada

ECPGR, European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources (2008) Minimum Descriptors for *Cucurbita* spp., Cucumber, Melon and Watermelon. ECPGR Secretariat. 13 p.

Garcia S. J. A. y Villalobos G. A. 2018. Evaluación productiva de la diversidad genética de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *argyrosperma*) en la península de Yucatán. Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. p 52-57.

Ruelas H. P. G., Aguilar C. J. A., García P. J. D., Valdivia B. R., y López G. G. G. 2015. Diversidad morfológica de especies cultivadas de calabaza (*Cucurbita* spp.) en el estado de Nayarit. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6 (8), 2015, p. 1845-1856.

SIAP, 2020. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ (consultado el 02 de junio de 2020).

Valdés R.M.P., Ortiz G.S., Vallejo C.F.A., y Baena G.D. 2014. Variabilidad en frutos y semillas de *Cucurbita moschata* Duch. y *Cucurbita argyrosperma* subsp. *sororia* L. H. Bailey Merrick & D.M. Bates. Acta Agronómica. 63 (2) 2014, p 282-293. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.

D. Rössel Kipping, H. Ortiz Laurel, A. Amante Orozco, H. M. Durán García y L. A. López Martínez. 2019. Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. Nova scientia, vol. 10, núm. 21. Universidad de La Salle Bajío A. C. 2019.

PRODUCCIÓN DE RÁBANO Y LECHUGA CON ABONOS ORGÁNICOS EN CONDICIONES DE CIELO ABIERTO

Yaqueline Antonia Gheno Heredia[1], Gloria Esperanza De Dios León[1*], Sarahí Rosas Román[1] y Evelyn Irais Bautista Amezcua[1]

Introducción

En la actualidad, la agricultura tiene como desafío la necesidad de disminuir los impactos ambientales negativos, debido a que existe una creciente sensibilidad social y una mayor conciencia colectiva respecto a la contaminación y el impacto que tiene ésta sobre la calidad de vida y la salud de las personas (Carrera, 2015). Está comprobado que la fertilización mineral es parte importante en el manejo agronómico de los cultivos, ya que satisface los requerimientos de nutrientes en las situaciones en las cuales el suelo no puede proveerlos en su totalidad; la parte negativa del uso de estos productos es, por una parte, el uso inadecuado, excesivo y por largos periodos de tiempo provoca que el suelo se agote y se produzca un desbalance nutrimental, aunado a la contaminación del aire y agua que por efecto de la lluvia pueden llegar a ríos, arroyos, océanos y suministros de agua potable resumiéndose estos efectos en el deterioro de otros recursos naturales y problemas en el medio ecológico (García-Hernández *et al*., 2010; Garzón *et al*., 2013). Este problema se puede disminuir haciendo uso de abonos orgánicos con la ventaja que son fácil de elaborar y se aprovechan los residuos de cosechas, alimentos, entre otros. El objetivo del experimento fue conocer el efecto de dos abonos orgánicos en rábano (*Raphanus sativus* L.) y Lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el huerto universitario de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana.

Palabras claves: *Raphanus sativus* L., *Lactuca sativa* L., fertilziación orgánica

[1]Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Peñuela *Autor de correspondencia: gdedios@uv.mx

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el huerto universitario de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Peñuela, sitio con coordenadas geográficas 18°51´39.42" de Latitud Norte y 96°54´10.52" de Longitud Oeste a una altitud de 746 m. El experimento inició el 15 de octubre del 2021 con la preparación de las camas (a doble excavación) y finalizó el 03 de marzo del 2022 con la cosecha de la lechuga; se aplicó cal agrícola al suelo antes de la siembra. Se evaluaron variables agronómicas y porcentaje de materia seca de dos hortalizas: Rábano variedad Champions y Lechuga variedad orejona (Figuras 1 y 2). Se usó un diseño completamente al azar, evaluando tres tratamientos: 1=Testigo, 2= Abono sólido (a base de estiércol bovino) y 3= Abono líquido (biol), con tres repeticiones cada uno. El rábano se cosechó a los 31 días después de la siembra y la lechuga a los 42 días después del trasplante. El análisis de varianza se realizó con el Software R Commander versión R x64 4.0.5.

Resultados y Discusión

De acuerdo al análisis de varianza, no se observaron diferencias significativas (p= ≥0.05) en ninguna de las variables evaluadas en el rábano (Cuadro 1); sin embargo, en la altura, numéricamente con el abono líquido se obtuvo mayor altura, rendimiento fresco y en base seca del fruto; el tratamiento testigo resultó ser superior en el porcentaje de materia seca (5.5%) y diámetro ecuatorial (3.21 cm). Se considera que no se observó el efecto significativo entre los tratamientos debido a que los abonos necesitaban de más tiempo para que los nutrientes se mineralizaran y se encontraran disponibles para la planta y el rábano al ser una hortaliza de ciclo corto, no fue posible observar dicho efecto. Palma (2015) no encontró diferencia significativa en altura y rendimiento en fresco al evaluar abonos orgánicos entre tratamientos incluyendo a un testigo, mostrando un promedio de 4,150 kg/ha, dato que es similar al observado en el tratamiento testigo en el presente experimento (4,141 kg/ha). Prasad *et al*. (2004) evaluando diferentes abonos orgánicos y un testigo/control, no encontraron diferencias significativas en el porcentaje de materia seca en bulbo de rábano; muestran promedio con abonos orgánicos de 6.5% y 6.6% con el control, promedios similares a los observados en el

presente experimento. Alemán-Pérez *et al*. (2018) muestran promedio del diámetro ecuatorial de 2.33 cm con compost, promedio que oscila alrededor del observado en este estudio. En evaluación con fertilización a base de humus, Ferreira da Silva *et al*. (2016) obtuvieron diámetro ecuatorial a los 35 días después del trasplante de 3.0 cm y 2.3 cm en el tratamiento control los cuales son promedios similares a los observados en este estudio.

Cuadro 1. Variables agronómicas y porcentaje de materia seca en Rábano variedad Champions.

Tratamiento	Altura (cm)	Rendimiento bulbo fresco (kg/ha)	Materia seca bulbo (%)	Rendimiento base seca de bulbo (kg/ha)	Diámetro ecuatorial (cm)
Testigo	16.42[a]	4141[a]	5.50[a]	226.70[a]	3.21[a]
Abono sólido	15.21[a]	2924[a]	5.05[a]	147.61[a]	2.68[a]
Abono líquido	17.01[a]	4869[a]	5.30[a]	257. 09[a]	3.16[a]
EE±	**3.75**	**1189.9**	**0.18**	**59.59**	**0.53**

[a]Medias con literales iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente entre sí (Tukey≤0.05).
EE±= Error estándar.

En las variables agronómicas evaluadas en lechuga no se observaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2) entre los tratamientos por lo que se considera el mismo comportamiento que con el rábano respecto a que es una hortaliza de ciclo corto y se requiere más tiempo para conocer el efecto de los abonos orgánicos sobre el rendimiento, principalmente. Numéricamente el abono líquido mostró mayores promedios en: Rendimiento fresco (28,098.29 kg/ha) y seco de hoja (1,544.73 kg/ha); el abono sólido fue superior ligeramente en el número de hojas (27.03) y porcentaje de materia seca (5.67%) y los tratamientos testigo y abono líquido prácticamente obtuvieron el mismo promedio numéricamente en la longitud de hoja.

Cuadro 2. Variables agronómicas y porcentaje de materia seca en Lechuga variedad Orejona.

Tratamiento	Rendimiento fresco hoja (kg/ha)	Rendimiento seco hoja (%)	Numero de hojas	Materia seca (%)	Longitud de hoja (cm)
Testigo	27,670.94[a]	1,422.68[a]	25.10[a]	5.36[a]	18.20[a]
Abono sólido	23,333.33[a]	1,301.65[a]	27.03[a]	5.67[a]	17.77[a]
Abono líquido	28,098.29[a]	1,544.73[a]	25.47[a]	5.46[a]	18.19[a]
EE±	**5548**	**220.6**	**1.76**	**0.59**	**2.34**

[a]Medias con literales iguales dentro de la misma columna no difieren estadísticamente entre sí (Tukey≤0.05).
EE±= Error estándar.

Engindeniz y Tuzel (2006) evaluaron abonos a base de estiércoles de aves y de corral, los resultados muestran que no encontraron diferencias significativas en el rendimiento de lechuga comparados con un tratamiento testigo. Bahadur *et al*. (2019) obtuvieron un rendimiento total fresco y de biomasa seca de 26.91 y 12.48 t/ha, respectivamente con un tratamiento control, resultados similares a los encontrados en este experimento. Respecto al número de hojas, Drăghici *et al*. (2016) evaluando tres abonos orgánicos en lechuga cultivar Markiers encontraron promedios en número de hojas de 21.61, 23.33 y 24.11, respectivamente para cada uno de los abonos orgánicos; resultados son congruentes a los observados en el presente experimento. Sánchez *et al*. (2012) muestran porcentajes de materia seca en lechuga de 8.01 y 8.71% en dos dosis de enmiendas, respectivamente y Sirajul *et al*. (2012) reportan porcentajes de materia seca de 11.62, 7.5 y 4.55% en tratamiento testigo, abono a base de estiércol de ave y fertilizante mineral, respectivamente a los 30 días después de la siembra; los resultados obtenidos en el presente experimento (Cuadro 2), son similares a los reportados con el fertilizante mineral. Fernández y Murillo (2006) compararon fertilización orgánica y mineral, reportan promedios de longitud de hoja 14.54 y 18.17 cm, respectivamente sin especificar edad de cosecha.



Figura 1. Rábano variedad Champion con abonos orgánicos en condiciones de cielo abierto.



Figura 2. Lechuga variedad Orejona con abonos orgánicos en condiciones de cielo abierto.

Conclusiones

1. Se pudo conocer el efecto de los abonos orgánicos sólido y líquido en el rendimiento y otras variables agronómicas de dos hortalizas: Rábano y lechuga en condiciones de cielo abierto. 2. De acuerdo al análisis estadístico, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos evaluados en las dos hortalizas: rábano y lechuga orejona en ninguna de las variables. 3. Los resultados obtenidos en todas las variables evaluadas en las dos hortalizas, son similares a los reportados por otros autores, independientemente de que hayan observado diferencias estadísticas significativas o no.

Literatura Citada

Alemán-Pérez, R., C. Bravo-Medina y M. Fargas-Clua. 2018. Fertilización orgánica en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.) en la Amazonía ecuatoriana. Edición: Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres. Puyo, Ecuador. 96 p.

Bahadur, K. K., O. R. Babu, P. K. Raj and K. B. Ram. 2019. Effects of Different Sources of Organic Manures in Growth and Yield of radish (*Raphanus sativus* L.). International Journal of Applied Sciences and Biotechnology 7(1):39-42.

Carrera, B. J. V. 2015. Respuesta agronómica del cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) a la aplicación de abonos orgánicos. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi. La Maná-Cotopaxi, Ecuador. 63 p.

Drăghici, E. M., E. Dobrin, J. I. OVidiu, I. M. Bărbulescu, S. Jurcoane and V. Lagunovschi-Luchian. 2016. Organic fertilizer effect on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in nutrient film technology. Romanian Biotechnological Letters 21(5):11905-11913.

Engindeniz, S. and Y. Tuzel. 2006. Economic analysis of organic greenhouse lettuce production in Turkey. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.) 63(3):285-290.

Fernández, K. y E. Murillo. 2006. Evaluación de la calidad nutricional y desarrollo vegetativo de zanahoria (*Daucus carota* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con técnicas de agricultura limpia en la Región de Chapeton-Municipio de Ibagué. Sophia 2:135-144.

Ferreira Da Silva, P., R. Moreira de Matos, B. V. Ediclecia, A. E. Vilar de Alencar & Dantas N. J. 2016. Growth and plant mass of radish fertirrigated with different doses nitrogen. Revista Cerse Viçosa 63(2):122-128.

García-Hernández, J. L., B. Murillo-Amador, A. Nieto-Garibay, M. Fortis-Hernández, C. Márquez- Hernández y E. Castellanos-Pérez *et al*. 2010. Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura. Terra Latinoamericana 28(4):391-399.

Garzón, M., L. Leidy, S. Perdomo y M. Fabián. 2013. Evaluación de la influencia de biofertilizantes orgánicos en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de cultivos hortofrutícolas en el ámbito de la seguridad alimentaria. Tesis de Maestría. Universidad Surcolombiana. Neiva-Huila. 96 p.

Palma M. K. V. 2015. Comportamiento agronómico de cinco hortalizas de raíz con tres tipos de abonos orgánicos en la Hacienda Tecnilandia-Quevedo. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador. 118 p.

Prasad, P. K., S. Sukprakarn, K. Sidathani and Y. Osotsapar. 2004. Effects of Organic Manures on Production of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Reference to Chemical Fertilizer. Kasetsart Journal - Natural Science 38:31-37.

Sánchez, T. M., O. A. Siliquini., A. A. Gili, E. M. Baudino and G. C. Morazzo. 2012. Contenido de nitratos y proteína en Lechuga Crespa y Amaranto hortícola producidos con enmienda y urea. Revista Chapingo Serie Horticultura 18(2):217-226.

EVALUACIÓN DE INSUMOS AGROECOLÓGICOS PARA MANEJO DE AMARILLAMIENTO DE HOJAS DE NARANJA TARDÍA (*Citrus sinensis* L., Osbeck) EN SAN PABLO, PAPANTLA VERACRUZ

Manuel Ángel Gómez Cruz[1]*, Laura Gómez Tovar[2], María de los Ángeles Hernández Andrade[3] y Asunción Gálvez Mendoza[1]

Resumen

El objetivo del trabajo fue analizar cualitativamente la efectividad de cinco insumos agroecológicos: mezcla sulfocálcica, microorganismos de montaña al suelo, biol magro simple con un intervalo de aplicación de cada 15 días y una dosis del 5%, agro-homeopatía para el amarillamiento y agua de vidrio (1.25%) con intervalos de aplicación de cada ocho y 15 días, agrohomeopatia nosode para todas las enfermedades de los cítricos cada ocho días, y el testigo para el manejo del amarillamiento en cítricos, en particular en naranja Valencia (*Citrus sinensis* L., Osbeck). El experimento se realizó durante un periodo de cinco meses (28 de diciembre de 2021 al 31 de mayo de 2022) en el Ejido San Pablo, Papantla, Veracruz, localizado a 20º27´ LN y 97º11´ LO, a una altitud 220 m. Los datos se sometieron a un análisis de estadística no paramétrica, mediante la prueba del signo, a través de la cual se determinó si hubo diferencia entre el testigo, los tratamientos y los indicadores.

Al ser el amarillamiento una enfermedad reciente en los cítricos y conocer los daños que ha provocado en la región norte de Veracruz, a partir de síntomas como: brotes amarillos que avanzan hasta cubrir toda la planta, hojas pequeñas, puntiagudas y con coloración amarillenta, ramas secas, frutos pequeños, con cascara dura y maduración temprana, resulta necesario buscar estrategias, que a través de diversos estudios, permitan contrarrestar los síntomas de la enfermedad, y así mismo, reducir su incidencia. Los insumos agroecológicos que presentaron mayor eficiencia y que coadyuvaron a contrarrestar los síntomas de los árboles

[1] CIIDRI-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, 56230, Estado de México. *magomezcruz@live.com
[2]CIIDRI-Departamento de Agroecología-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, 56230, Estado de México.
[3]CIIDRI-Departamento de economía-UACh.

enfermos por amarillamiento de los cítricos, fueron: agro-homeopatía para el amarillamiento y agua de vidrio (1.25%), cada ocho días. El agua de vidrio resultó ser más efectiva en tres indicadores (la agro-homeopatía en dos) y es sencilla, rápida y económica en su proceso de elaboración, puesto que se elabora a base de insumos locales, ceniza, cal y agua, a diferencia de la agro-homeopatía que requiere ser elaborada por un especialista.

Palabras clave: nueva enfermedad, cítricos, bio-insumos

Introducción

El género *Citrus* es uno de los más importantes a nivel mundial; se distribuyen en las regiones tropicales y subtropicales de más de 140 países. Su cultivo tiene una producción mundial superior a los 140 millones de toneladas; los principales países productores son: China, Brasil, India, Estados Unidos de América, México y España (FAO, 2020). En México, actualmente la superficie cultivada de cítricos es de 594,369 ha, con un volumen de producción de 8´293,601 t (SIAP, 2020). La incidencia de plagas y enfermedades son la principal limitante para el incremento y calidad de la producción de cítricos en el país, aunado a la confusión y desconocimiento de los asesores técnicos y productores sobre su sintomatología y control (De los Santos, 2013). Algunas plagas y enfermedades tales como: pulgón (*Toxoptera* spp.), minador (*Phyllocnistis citrella*), ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus* Banks), *Mycosphaerella citri*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Candidatus* Liberibacter spp., virus de la tristeza de los cítricos (VTC), prorosis, leprosis, Huanglongbing (HLB), hongos, *Colletorichum gloesporoides* (antracnosis), Lasiodiploidia (muerte descendente), Oomicetos (*Phytophthora*), han ocasionado daños considerables en las huertas, disminución de la producción y pérdidas millonarias en el sector citrícola. Recientemente una enfermedad en los cítricos ha alarmado a los productores de la zona norte de Veracruz, ya que hasta ahora solo se conocen los síntomas: brotes amarillos que avanzan hasta cubrir toda la planta, hojas pequeñas y puntiagudas y con coloración amarillenta, ramas secas, frutos pequeños con cascara dura y maduración temprana (Antunes, 2013), pero no se sabe a ciencia cierta, cuál sea su causa. Se especula que pudiera ser clorosis variegada de los cítricos (CVC), provocada por la bacteria

Xylella fastidiosa subsp. *Pauca (*bacteria Gram negativa que afecta principalmente a naranja dulce (*Citrus sinensis* L. Osbeck), la cual afecta a ramas, hojas y frutos, mermando el vigor y el crecimiento de los árboles, así como la producción, además de que se dispersa principalmente por insectos vectores (Cicadélidos), y por material vegetal propagativo). *S*in embargo, aún no existen estudios que lo comprueben.

Con base en lo anterior, se condujo un experimento con ocho tratamientos y un testigo, a partir de la aplicación de cinco insumos agroecológicos con diferentes intervalos de aplicación, con el objetivo de analizar cualitativamente su efectividad, para el manejo del amarillamiento en cítricos, en particular en naranja Valencia (*Citrus sinensis* L., Osbeck).

Materiales y Métodos

El experimento se realizó durante un periodo de cinco meses (28 de diciembre de 2021 al 31 de mayo de 2022) en el Ejido San Pablo, Papantla, Veracruz, localizado a 20º27´ LN y 97º11´ LO, a una altitud de 220 m. El sitio experimental en donde se aplicaron los tratamientos lleva un manejo agroecológico desde hace cinco años, tiene una superficie de 1 ha, el suelo es de aluvión, con pH de 6.5 y se obtiene un rendimiento promedio de 20 t. Se establecieron ocho tratamientos, a partir de cinco insumos agroecológicos: mezcla sulfocálcica, microorganismos de montaña al suelo y biol magro simple, con un intervalo de aplicación de cada 15 días y una dosis del 5%, agro-homeopatía para el amarillamiento y agua de vidrio (1.25%), con intervalos de aplicación de cada ocho y 15 días, agro-homeopatía nosode para todas las enfermedades de los cítricos cada ocho días, y testigo. Para cada tratamiento se destinó una hilera con 23 árboles; se seleccionaron los cuatro árboles más enfermos de cada hilera. Para los tratamientos de cada 15 días se realizaron 12 aplicaciones en total; para los tratamientos de cada ocho días se hicieron 23 aplicaciones, lo que significa que en total se realizaron 240 registros para los tratamientos a 15 días, 276 registros para los tratamientos a ocho días y 92 registros para el caso del testigo, del cual se consideraron intervalos de tiempo para su registro de ocho días. Se evaluaron con indicadores cualitativos (“muy mal”, “mal”, “regular”, “bien” y “muy bien”, nueve características de los árboles: brotación (B), floración (F), aspecto general

del árbol (AGA), apariencia del fruto (APF), amarillamiento en ramas (AR), caída de hojas (CH), ramas secas (RS), contagio a árboles vecinos (CAV) y caída del fruto (CF).

Los datos se sometieron a un análisis de estadística no paramétrica con la paquetería de Excel y a una prueba del signo, a través de la cual, se determinó si hubo o no diferencia entre el testigo, los tratamientos y los indicadores.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico no paramétrico, en el Cuadro 1 se concentran los indicadores que mostraron diferencias positivas en cada tratamiento con relación al testigo. El aspecto general de los árboles testigo empeoró a lo largo de los cinco meses, ya que hubo un aumento del 83% en ramas secas y amarillas. Por su parte, los mejores tratamientos fueron: agro-homeopatía para el amarillamiento y agua de vidrio (1.25%) cada ocho días, debido a que disminuyeron la cantidad de amarillamiento de ramas (AR) en un 92 y 90%, respectivamente.

Cuadro 1. Diferencia en tratamientos e indicadores vs testigo en el uso de insumos agroecológicos para el amarillamiento de los cítricos. San Pablo, Papantla, Veracruz 2021-2022.

Tratamiento	Indicadores con diferencia respecto al testigo	Disminución (%) /Indicador con diferencia
Agro-homeopatía para amarillamiento (cada 15 d)	AR y RS	71 y 90
Agro-homeopatía para amarillamiento (cada 8 d)	AR y RS	92 y 97
Agro-homeopatía nosode para todas las enfermedades (cada 8 d)	RS	87
Biol magro simple (cada 15 d)	AR	40
Agua de vidrio (cada 15 d)	AR, RS y CF	67, 71 y 58
Agua de vidrio (cada 8 d)	AR, RS y CF	90, 98 y 78
Mezcla sulfocálcica (cada 15 d)	ISD	0
Microorganismos de montaña al suelo (cada 15 d)	ISD	0

AR = Amarillamiento en ramas. RS = Ramas secas. CF = Caída de frutos. ISD = Indicadores sin diferencia.

De acuerdo con lo anterior, los cuatro árboles enfermos que se monitorearon para los tratamientos: agro-homeopatía para el amarillamiento y agua de vidrio cada ocho días, presentaron cambios positivos a lo largo del experimento, ya que mejoró sustancialmente el aspecto general del árbol, el amarillamiento en ramas ya no avanzó a partir de la novena aplicación para el caso de la agro-homeopatía, y para el caso del agua de vidrio fue a partir de la onceava aplicación.

En general, para los ocho tratamientos y el testigo no hubo diferencias en la caída de hojas, brotación y floración de los árboles analizados, ya que se apreció un buen aspecto desde el color hasta la forma de los pétalos y estambres de la flor.

Referente a la caída del fruto, se observó una reducción con la aplicación de agua de vidrio a partir de la sexta aplicación, teniendo hasta la aplicación 23 (última aplicación) una reducción total aproximada de la caída del fruto del 78%. En los demás tratamientos y el testigo no hubo ningún efecto sobre la caída del fruto.

Conclusiones

1. Agro-homeopatía para el amarillamiento y agua de vidrio (1.25%), cada ocho días, fueron los insumos agroecológicos que presentaron mayor eficiencia, los cuales coadyuvaron a contrarrestar los síntomas de los árboles enfermos por amarillamiento de los cítricos. 2. El agua de vidrio fue más efectiva en tres indicadores: ramas amarillas, ramas secas y caída del fruto, mientras que la agro-homeopatía sólo en dos: ramas amarillas y ramas secas. 3. El agua de vidrio fue más sencilla, rápida y económica en su proceso de elaboración, ya que se elabora a base de insumos locales (ceniza, cal y agua), a diferencia de la agro-homeopatía que requiere ser elaborada por un especialista.

Literatura Citada

Antunes, T. L. 2013. Situación actual, manejo e impacto económico de la clorosis variegada de los cítricos (CVC) en Brasil. 3er Taller Internacional sobre Plagas Cuarentenarias de los Cítricos. Manzanillo, Colima, México.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2020. Datos sobre alimentación y agricultura. FAO, Roma. http://www.fao.org/faostat/es/

De los Santos, M. I. 2013. Monografía del Huanglongbing (*Candidatus liberibacter* spp.) de los cítricos. Trabajo de experiencia recepcional. https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/22_DeSantos_13.pdf

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Cierre de la producción agrícola 2020. http://www.siap.gob.mx/

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL FRUTO DE *Acanthocereus tetragonus* DE LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Jeremías Nataren Velázquez[1]*, Rosa Isela Rosalino Antonio[2], Ana Lid Del Angel Pérez[1],
Juan Valente Megchún García[2], Irma Rosa Vásquez Robles[2],
Ana Gabriela Gallegos Gaspar[2] y Tanith E. Villagómez Del Angel[3]

Resumen

La cruceta es una especie forestal no maderable, donde sus tallos y frutos son recolectados en zonas agroforestales, los tallos de la cruceta se consumen en el medio rural y se comercializa en verano en tianguis y mercados locales urbanos mediante vendedores rurales que provienen de recolección. El objetivo principal de esta investigación fue caracterizar morfológicamente los frutos de cruceta (*Acanthocereus tetragonus*), colectados a diferentes gradientes altitudinales en la zona centro del estado de Veracruz. El trabajo se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, se cosecharon frutos de cruceta en el banco de germoplasma, posteriormente se caracterizó morfológicamente los frutos de cruceta y se tomaron las variables: diámetro y longitud del fruto, peso total del fruto, peso de la pulpa, peso de la cascara, grosor de la cascara, número de semillas, peso de la pulpa sin semillas, peso de la semilla, °Brix, numero de espinas y finalmente color de cascara y pulpa. Los resultados obtenidos muestran que no hay diferencias significativas (P≥0.05%) en el diámetro de los frutos de *Acanthocereus tetragonus,* sin embargo hay frutos de accesiones que muestran diámetros de 51.3 mm y 64,6 mm superando a los frutos de otras localidades, Los frutos de Estanzuela y Santa Cecilia Ver, mostraron diferencias (P≥0.05%) a los colectados en Paso de ovejas y Puente Tolome, Ver, en cuanto al peso promedio total no hay diferencia significativa entre las localidades de colecta, de acuerdo al análisis realizado no existe diferencias significativas en cuanto a los ºBrix, sin embargo, las comunidades de Estanzuela y Santa Cecilia son las que presentan el menor °Brix con 13 ambas.

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. nataren.jeremias@inifap.gob.mx
[2] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza. rrosalinoantonio@gmail.com
[3] Universidad Veracruzana/Campus Mocambo.

Palabras clave: cruceta, *A. tetragonus*, °Brix, caracterización

Introducción

La inseguridad alimentaria es un riesgo latente que afecta con mayor profundidad a grandes sectores de la población, pues existe 65% de población urbana y rural, donde las familias día a día carecen del acceso a los alimentos y dentro de estos al consumo de alimentos nutritivos y frescos, padeciendo hambre o malnutrición (Pérez & Medina, 2016). México es un país mega diverso, con entre 10 y 12% de las especies del planeta. En la actualidad, el 61% de la energía que alimenta a la humanidad proviene de solamente tres cultivos: maíz, arroz y trigo. Así mismo, el 80% de los nutrimentos que requiere la población mundial, son aportados por solo ocho especies de las 142 especies mesoamericanas que según la CONABIO han experimentado en México algún grado de domesticación, más del 30% se siembra en superficies menores a 100 Has (Gálvez *et al*., 2019).

Los recursos naturales han sido infravalorados debido a que en la mayoría de los casos han sido evaluados por cifras económicas, dejando a un lado los beneficios reales que obtienen la sociedad de estos recursos (Padulosi y Hoeschle 2004). Las cactáceas son una familia constituida por alrededor de 1600 especies, se pueden clasificar en tres tipos: las tunas, las pitayas (trepadoras) y las pereskias (columnares) (Esquivel, 2004), forman parte de los elementos mas representativos de la flora mexicana (Gomez, 2006). Las cactáceas también han jugado un papel ecológico importante en frenar la degradación de suelos deforestados (Sáenz, 2006). El nombre del genero *Acanthocereus* proviene del griego *akantha* = espionoso (Scheinvar, 2004).

El jacube o cruceta (*Acanthocereus tetragonus*) es una cactácea terrestre que se distribuye en zonas secas, rocosas, acantilados y en ecosistemas costeros-tropicales de México, (Gabriel, 2010). Son cultivadas principalmente en huertos de traspatio como barreras vivas, sin embargo, estos recursos fitogenéticos están siendo desplazados por barreras de materiales inertes, además el conocimiento relacionado al uso potencial, área de distribución y fenología de la especie es escaso o nulo. La distribución geográfica de la especie es diferenciada, ya que *A. tetragonus* se concentra en la parte del Golfo de México y la Península de Yucatán, a

altitudes de 1 a 525 m (Juárez *et al*., 2016). Además, son plantas adaptadas a bajos regímenes de humedad, por lo que requieren menos riegos y toleran a altas temperaturas (Nobel, 2011). El *A. tetragonus* es la especie más utilizada en la alimentación humana aparte del nopal, la menos estudiada en el país por lo que es necesario realizar un análisis que permita identificar sus propiedades alimenticias, medicinales, y usos potenciales que demuestren su importancia regional y nacional (Gabriel, 2010).

Es una de las especies poseedora de cualidades nutrimentales que resultan benéficas para el ser humano, por lo tanto, juega un papel importante en la alimentación humana y animal tanto de sus frutos, como de sus cladodios (Juárez *et al*., 2012), para la alimentacion ovina y bovina se ofrece principalmente tallos maduros a los cuales le retiran las areolas y posteriormente se pican para despues depositarlos en los comederos del ganado (Garza *et al*., 2004). Es una especie tradicional subvalorada y subutilizada (Peña *et al*., 2021), ya que no ha sido explotado industrialmente solo es consumido por la gente de la región huasteca Veracruzana. (Juarez, 2016) menciona que el *A. tetragunus* es parte de los recursos fitogenéticos de México que pueden ser valioso en nuestro país y el mundo para enfrentar la demanda de alimentos ricos en fibra dietética, particularmente donde el cambio climático será un problema. Además de formar parte de la gastronomía mexicana, son tan versátiles en su preparación como los nopalitos (Juárez *et al*., 2016), a diferencia del nopal, *A tetragonus* y *A. subinermis* tiene menos mucilago, mismo que es aún menor en los tallos más jóvenes; ventaja que se le adjudican (Córdoba *et al*., 2000) a *A, tetragonus*.

Dentro de las características botánicas *Acanthhocereus tetragonus* puede llegar a medir hasta 7 m de largo, y el promedio en altura es de 2 a 3 m, formando matorrales con múltiples tallos con tres a cinco costillas longitudinales (Bacab, 2019).

La floración se intensifica de mayo a julio, pero puede iniciar en abril y terminar hasta agosto, pero existe una segunda corta temporada entre octubre y diciembre, la época de fructificación inicia a finales de junio y finaliza a mediados de septiembre (Juárez, 2016), un factor importante y determinante para el desarrollo de flores y frutos de las cactáceas es la fertilidad de los suelos, zonas donde la materia orgánica y el bajo contenido de nitrógeno en la rizósfera de las cactáceas (Luna *et al*., 2012). Morales (2010) menciona que las flores de jacube se abren en la noche y son polinizadas por los murciélagos e insectos.

El fruto de *A. tetragonus* se conoce como tuna, tunilla o pitaya (Arias *et al* .,2012), resisten

hasta siete días a temperatura ambiente y a temperaturas de 10-12°C (Cabrera, 2013), las aréolas son grupos de meristemos que dan origen a flores y nuevos brotes (Anderson, 2001), Juarez (2016) describe al fruto como globoso, mide de 4 a 6 cm y presenta areolas, sus semillas son negras, abundantes, pequeñas, miden cerca de 2 mm; con testa delgada, mientras que Cazabonne, (2011) menciona que los frutos son oblongos, hasta de 13 cm de largo por unos 7 cm de ancho, rojos al madurar, espinosos, de pulpa roja formada por filamentos granulosos, comestible, de sabor dulce. Sus semillas son negras y lustrosas. Los frutos a medida que van madurando van perdiendo las espinas, por lo que son muy apetecidos por la fauna silvestre, particularmente las aves. Por lo que el objetivo principal de esta investigación fue caracterizar morfológicamente frutos de cruceta (*Acanthocereus tetragonus*), colectados a diferentes gradientes altitudinales en la zona centro del estado de Veracruz.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla (CECOT), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el cual se encuentra localizado en el km 34.5 de la carretera Veracruz-Córdoba, en el municipio de Medellín de Bravo, Ver. Ubicado a 18°16° LN y 96°16 LW del Meridiano de Greenwich a una altitud de 40 m (Figura 1). El clima de la localidad es AW_o, con temperatura promedio anual de 24°C, precipitación anual de 1200 mm y suelos tipo vertisol pélico (Nataren *et al*., 2009). En el CECOT se cuenta con un banco de germoplasma de materiales de *Yucca elephantipes* y *Acantocereus tetragonus* colectados a diferentes gradientes altitudinales en el estado de Veracruz.

Caracterizar el fruto midiendo peso total del fruto, diámetro y longitud del fruto, grosor de cascara, numero de semillas y espinas, peso de semillas y ºBrix de cada uno de los frutos (Figura 2). Esta actividad se realizó en el laboratorio del Campo Experimental Cotaxtla; se cosecharon frutos de *Acantocereus tetragonus* de diferentes accesiones ya establecidas en el banco de germoplasma, posteriormente se realizó la caracterización, se tomó medida del grosor de la cascara con la ayuda de un Bernier, el mismo instrumento de medida se utilizó para conocer la altura de las espinas, longitud del fruto y diámetro.



Figura 1. Localización del Campo Experimental Cotaxtla (Google).

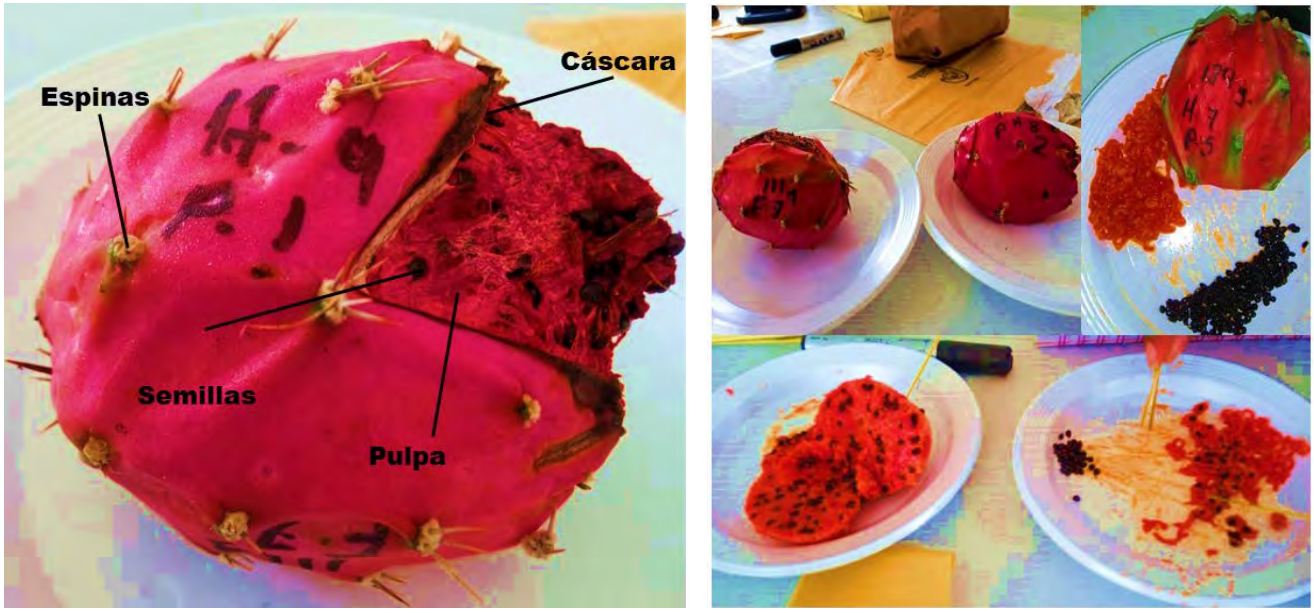


Figura 2. Partes morfológicas del fruto de cruceta (*A. tetragonus*).

Se contaron cada uno de los grupos de espina que presentaba el fruto, se tomó el peso total del fruto, posteriormente se partió se dio lugar a la separación de las semillas y la pulpa para realizar el conteo de las mismas y así poder tomar el peso total de la pulpa sin semilla y conocer el peso de las semillas con la ayuda de una báscula granataria, se utilizó un refractómetro para

medir los ºBrix del fruto, este instrumento es muy fácil de utilizar y sirve para la determinación de los sólidos solubles totales. Se generó una base de datos en el programa Microsoft *Excel* un software de hojas de cálculo, para su análisis.

Resultados y Discusión

En la Figura 3 se muestra que no hay diferencias significativas (P≥ 0.05%) en el diámetro de los frutos de *Acanthocereus tetragonus* proveniente de diferentes regiones. Sin embargo, los frutos colectados en Santa Cecilia, Veracruz son los más pequeños (51.3 mm), mientras que, los de Estanzuela, Veracruz alcanzan un diámetro de 64.6 mm. Sin embargo, los diámetros de estos frutos son superiores a los mencionados por Gómez (2006), los cuales reportan un diámetro de fruto de 40 mm en frutos de *Tetragonus* de la región sur de San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca.

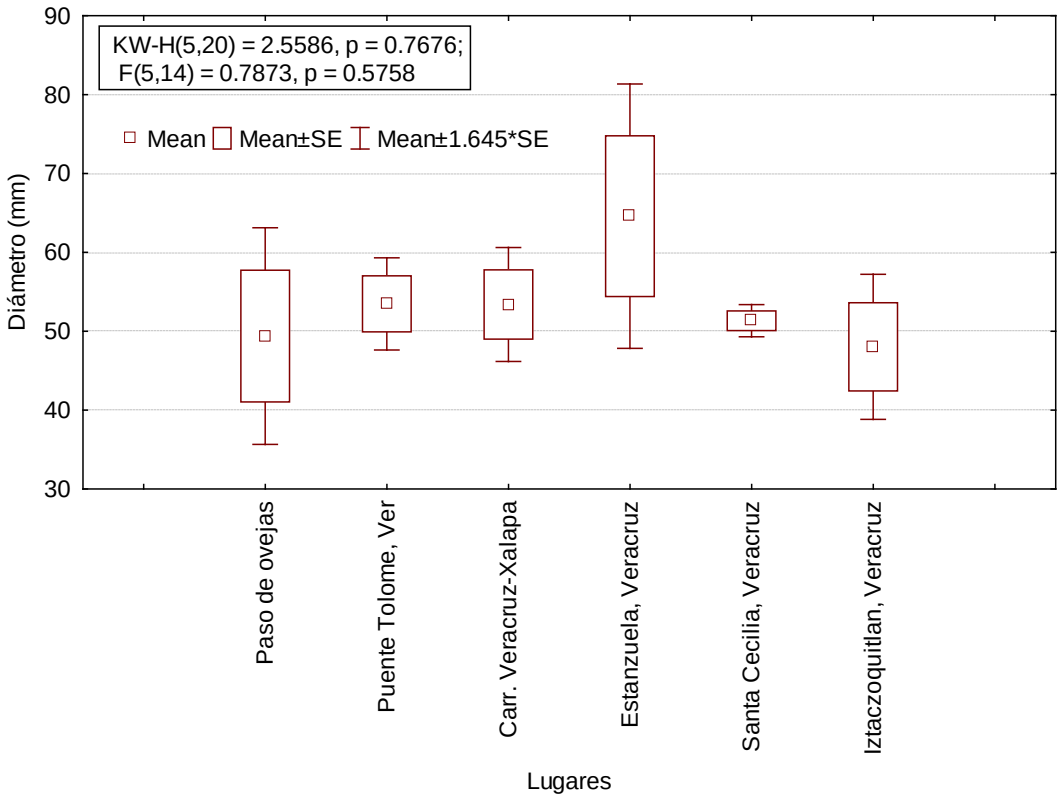


Figura 3. Medición del diámetro de los frutos de *Acanthocereus tetragonus* proveniente de diferentes localidades.

Los frutos de *Acanthocereus tetragonus* provenientes de diferentes localidades muestran una longitud de un rango de 36.48 a 123.78 mm. Los frutos de Estanzuela y Santa Cecilia, Veracruz son diferentes (P≥0.05%) a los colectados en Paso de ovejas y Puente Tolome, Veracruz (Figura 4). Los frutos de la colecta de Santa Cecilia son superiores a los reportados por Barthlott (1991), que reporto una longitud de fruto de 48 mm en frutos colectados en la región sur de Oaxaca, y Gómez (2006) menciona que los frutos ya maduros miden de 5.5 a 8.5, a veces hasta 11.5 cm de longitud.

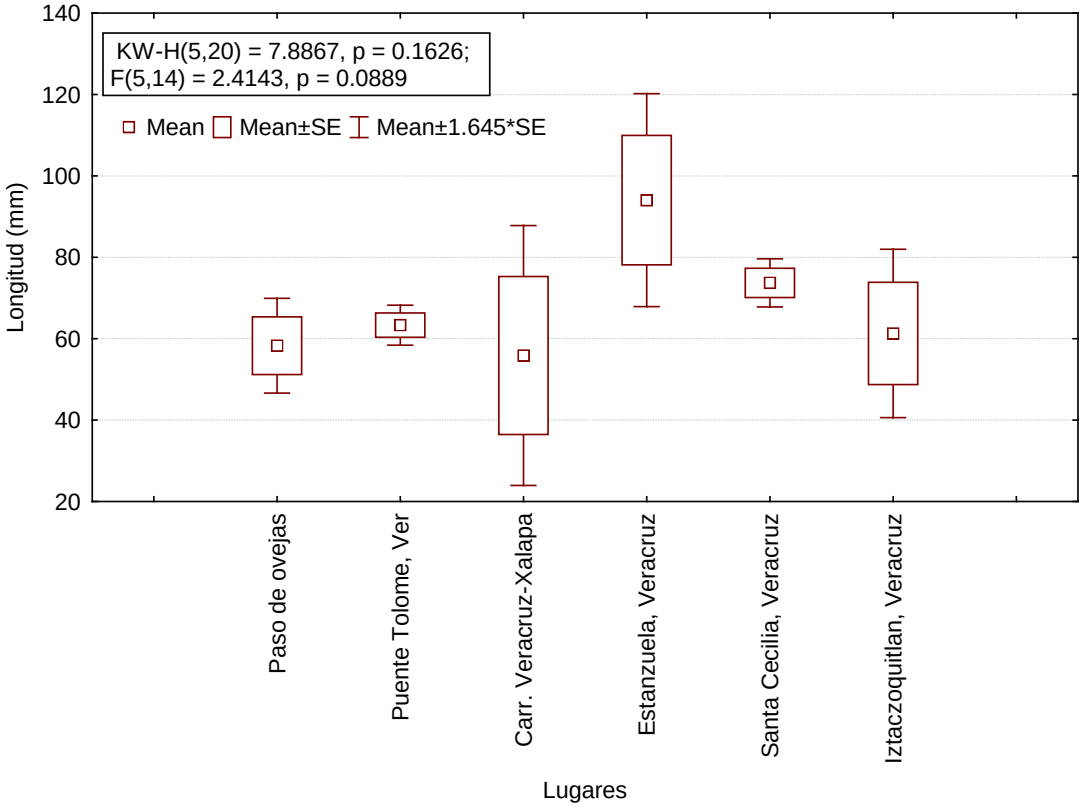


Figura 4. Medición de la longitud de los frutos de *Acanthocereus tetragonus* proveniente de diferentes localidades.

En el Cuadro 1 se muestra que en el peso promedio total no hay diferencia significativa entre las localidades de colecta. Los datos indican que los frutos colectados en la carretera Veracruz-Xalapa presentan el peso más bajo (69.00 g), mientras que los obtenidos en Puente Tolome, Veracruz alcanzan un peso de 101.20 g.

El peso de la pulpa es mayor en la localidad Santa Cecilia Veracruz mientras que la localidad carretera Veracruz presenta el peso de la pulpa más bajo, el cual está relacionado con el peso total del fruto (Cuadro 1). El peso de la pulpa sin semilla no muestra diferencia significativa en los puntos de colecta., sin embargo, estos valores coinciden con la dinámica del peso de la pulpa encontrándose el mayor peso en Santa Cecilia, y el menor en la carretera Veracruz-Xalapa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Peso total del fruto, peso de la pulpa sin semilla, peso de la cascara y grosor de la cascara de *Acanthocereus tetragonus*.

Tratamientos	Peso total (g)	Peso pulpa (g)	P. pulpa s/n semilla (g)	Peso cáscara (g)	Grosor cáscara (mm)
Paso de ovejas	73.50	46.50	35.00	25.50	3.65
Puente Tolome, Ver	101.20	56.60	46.40	30.80	3.82
Carr. Veracruz-Xalapa	69.00	35.50	12.00	30.00	5.00
Estanzuela, Ver, México	94.00	52.00	40.00	44.00	4.67
Santa Cecilia, Ver, México	89.00	80.00	61.00	34.75	3.75
Iztaczoquitlan, Ver, México	74.00	45.00	35.50	22.50	3.81

En el mismo cuadro se muestra que el peso de la cáscara es semejante en carretera Veracruz-Xalapa, Puente Tolome, Veracruz y Santa Cecilia, Veracruz, México, en comparación con el resto de las localidades. El grosor de la cáscara fue similar en las localidades Paso de ovejas, Santa Cecilia, Veracruz, México, Puente Tolome, Veracruz e Ixtaczoquitlán, Veracruz, México, siendo el de mayor grosor de cascara el de la carretera Veracruz- Xalapa, lo cual puede indicar que el grosor de la cascara se deba a la baja biomasa que presenta el fruto.

En el Cuadro 2 se muestra que las localidades de Tolome y Santa Cecilia son diferentes en el número de semillas con respecto a las localidades Carretera Veracruz-Xalapa y Estanzuela, los frutos de estas comunidades presentan un numero de semillas menores a los mencionados por Gómez (2006), quien reporta que los frutos maduros y bien desarrollados pueden llegar a presentar de 400 a 500 semillas. El peso de la semilla indica que solo Estanzuela y Santa Cecilia son diferentes significativamente. Se puede observar que la cantidad de semillas está relacionada directamente con el peso de las semillas en las localidades de carretera Veracruz-Xalapa y Santa Cecilia.

Cuadro 2. Número y peso de semillas de *Acanthocereus tetragonus.*

Tratamientos	Número de semilla	peso semilla(g)
Paso de ovejas	575.00	8.00
Puente Tolome, Ver	1,014.40	12.80
Carr. Veracruz-Xalapa	362.00	6.00
Estanzuela, Ver, México	343.33	9.33
Santa Cecilia, Ver, México	1,130.00	17.00
Iztaczoquitlan, Ver, México	525.00	19.50

En el Cuadro 3, se presentan los resultados del número y longitud de espina de cinco frutos de *Acanthocereus tetragonus* colectados en diferentes gradientes altitudinales en los cuales se puede observar que no se presentaron diferencias significativas en los diferentes puntos colectados, pero como se observa en el cuadro la localidad de Estanzuela es la que presenta el mayor número de espinas, pero con menor longitud. Esto concuerda con Bárcenas (2006), quien menciona que las especies de *Tetragonus* tienen entre 15 y 25 espinas con una longitud de 1 a 2 cm.

Cuadro 3. Número de espinas presentes en *Acanthocereus tetragonus.*

Tratamientos	Número de espinas	Longitud de espina 1 (mm)	Longitud de espina 2 (mm)	Longitud de espina 3 (mm)	Longitud de espina 4 (mm)	Longitud de espina 5 (mm)
Paso de ovejas, Ver.	24.25	13.87	8.94	9.11	8.82	9.21
Puente Tolome, Ver.	22.80	8.10	7.44	7.91	8.27	6.79
Carret. Veracruz-Xalapa	19.00	4.65	3.56	4.75	-	-
Estanzuela, Ver.	25.00	2.15	1.27	1.65	1.48	1.42
Santa Cecilia, Ver.	17.50	5.63	4.91	3.90	4.13	6.13
Iztaczoquitlan, Ver.	15.50	3.27	4.02	2.20	2.23	3.63

En la Figura 5 se muestra que existe diferencias estadísticas significativas en cuanto a los ºBrix, sin embargo, las comunidades de Estanzuela y Santa Cecilia son las que presentan el menor °Brix con 13 ambas, mientras que las colectas de puente Tolome es la que presenta el mayor °Brix con 17, estos resultados concuerdan con lo descrito por Bárcenas (2006), en el tque se menciona que las colectas de A. *tetragonus* realizadas en Oaxaca presentan 16 °Brix.

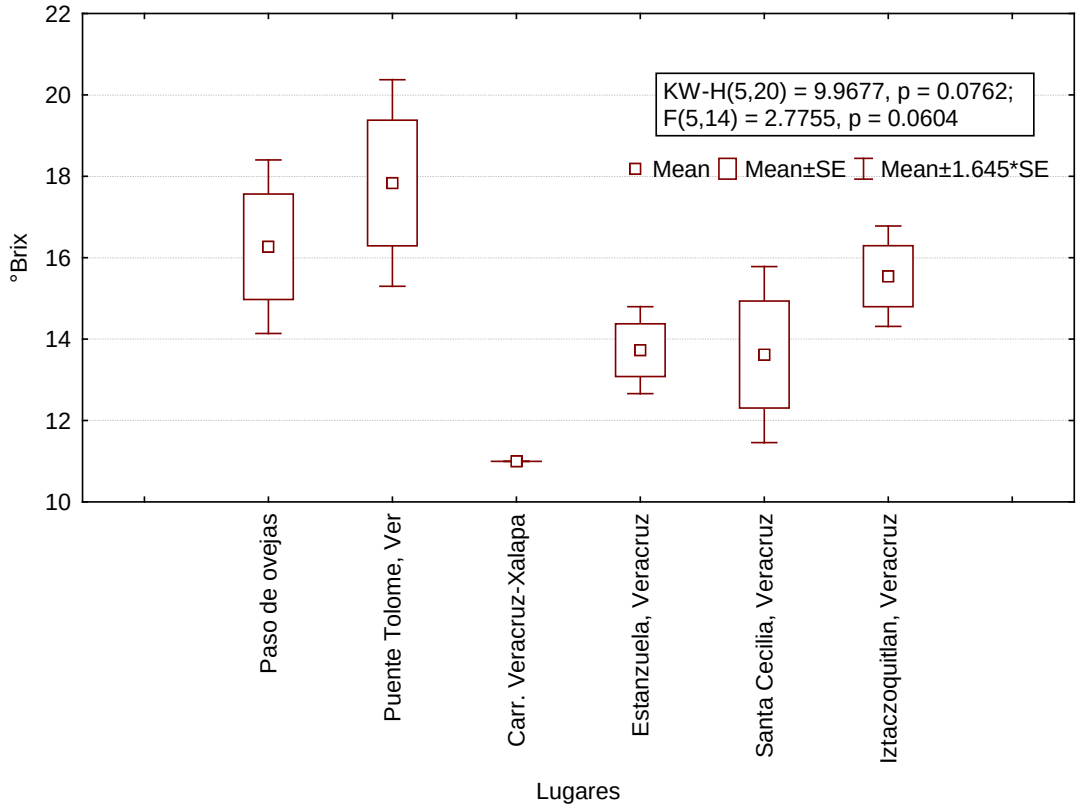


Figura 5. ºBrix de los frutos de *Acanthocereus tetragonus.*

Conclusiones

1. Es importante realizar la caracterización morfológica de los frutos de *A. tetragonus*, de esta manera es posible conocer las características físicas del fruto y hacer comparaciones entre ellas, con el fin de determinar y elegir las mejores selecciones que produzcan frutos de buena calidad, apariencia y grados de dulzura y así cumplir con las expectativas de los consumidores. 2. Los frutos de *Acanthocereus tetragonus* proveniente de la localidad de Santa Cecilia, Veracruz ubicada a un gradiente altitudinal diferente, son los más pequeños, pero los frutos de las plantas colectadas en la comunidad de Estanzuela, Veracruz alcanzaron un diámetro mayor superando así a frutos de otras localidades. 3. Se confirmó que la longitud de los frutos de *Acanthocereus tetragonus* proveniente de diferentes localidades, muestran una longitud que abarcan un rango de 36.48 a 123.78 mm. Los frutos de Estanzuela y Santa Cecilia,

Veracruz presentan una diferencia con los frutos colectados en Paso de ovejas y Puente Tolome, Veracruz. 4. Los frutos colectados en la carretera Veracruz-Xalapa presentan el peso más bajo, caso contrario a los frutos de las plantas colectadas en Puente Tolome, Ver., ya que obtuvieron un peso mayor. El peso de la pulpa es mayor en la localidad Santa Cecilia Veracruz, mientras que, la localidad carretera Veracruz presenta el peso de la pulpa más bajo. EL peso de la cáscara fue semejante en carretera Veracruz-Xalapa, Puente Tolome, Ver y Santa Cecilia, en comparación con el resto de las localidades. El grosor de la cáscara fue similar en las localidades Paso de ovejas, Santa Cecilia, Puente Tolome, e Ixtaczoquitlán, siendo el de mayor grosor de cascara de la carretera Veracruz- Xalapa. 5. En cuanto al número de semillas se concluye que los frutos de *A tetragonus* colectados en las localidades de Tolome y Santa Cecilia presentaron diferentes números de semillas con respecto a las localidades carretera Veracruz-Xalapa y Estanzuela. El peso de la semilla indica que solo Estanzuela y Santa Cecilia son diferentes a las otras comunidades. 6. Las colectas realizadas en puente Tolome presentaron el mayor ºBrix de todo el banco de germoplasma esto indica que los frutos obtenidos de las plantas colectada en puente Tolome son ideales para ser consumidas por las personas que tienen un paladar tolerante a un alto nivel de dulzura.

Literatura Citada

Anderson, E. F. 2001. The cactus family. Timber Press. Portland, Oregon. 776 p.

Arias, M. S., S. Gama L., L.U Guzmán C. y V. Vázquez B. 2012. *Cactaceae Juss*. p. 1-235. *In*. Medina, L. R. (ed.). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. México.

Bacab, F. I. A. 2019. Las cactáceas de la Península de Yucatán: descripcón y usos. Tesis de Licenciatura. Universidad de Quintana Roo. División de Ciencias e Ingenieria. Chetumal, Quintana Roo. México. 56 p.

Bárcenas, A. M. L. 2006. Filogenia del género *Cephalocereus* Pfeiff. (Cactaceae) *sensu* Anderson con base en caracteres estructurales. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 93 p.

Barthlott, W. 1991. Disocactus. *In*: Hunt, D.R. and N. P. Taylor (eds.). Notes on miscellaneous genera of Cactaceae 9:86-88.

Cabrera, R. P. C. 2013. Evaluación del cactus *(Acanthocereus* spp*., Cactácea) c*on tres abonos orgánicos en Huehuetenango*.* Tesis de Licenciatura. Universidad Rafael Landívar, Campus de Quetzaltenango. Quetzaltenango. 64 p.

Cazabonne, C. 2011. La pitahaya (*Acanthocereus tetragonus o Acanthocereus pentagonus*). https://www.lajornadanet.com/diario/archivo/2011/mayo/23/10.php#:~:text=Sus%20frutos%20son%20oblongos%2C%20hasta,madurando%20van%20perdiendo%20las%20espinas [consultado el 17 de junio de 2022].

Córdoba, L. M., M. M. Hernández M. and E. Sánchez M. 2000. Contribution to the present knowledge of *Acanthocereus tetragonus* (Linnaeus) Hummelink from the Sierra Gorda of Querétaro. Cact. Suc. Mex. 45(2):34-39.

Esquivel, P. 2004. Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. Agron. Mesoam. 15(2):215-219.

Gabriel, G. A. 2010. Extracción de Pectina del Jacube (*A. tetragonus* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 42 p.

Gálvez, M. M., A. Bartra V., M. E. García V., G. V. Bermúdez G., H. Bourges, R. y L. A. Vargas G. *et al.* 2019. Alimentación, recursos tradicionales y ciencia: el prisma de los quelites. 96 p.

Garza, P. R., M. E. Morales R., A. Oranday y F. Treviño J. 2004. Preliminares fitoquímicos del “Banjico” o "Nopal Estrtella *Acanthocereus occidentalis*. *In:* Congreso Nacional de Alimentos. Edición Especial No. 1. Monterrey, N. L., México.

Gómez, H. C. G. 2006. Sistemática del género *Acanthocereus (Cactaceae).* Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. México, D. F. 175 p.

Juárez, C. A. 2016. *Acanthocereus tetragonus y A. subinermius*: características etnobotánicas, agronómicas, fisiológicas y de aprovechamiento de tallos. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx. México. 71 p.

Juárez, C. A., M. A Goyita J. y G. Garcia. 2016. *Acanthocereus tetragonus* y *A. subinermis*: parte de la diversidad fitogenética y gastronómica de México. 1er Foro Estudiantil Indígena México – Estados Unidos. 3 p.

Juárez, C. A., M. Livera M., E. Sosa M., M. A. Goytia J., V. A González H. y R. Bárcena G. 2012. Composición química de tallos inmaduros de *Acanthocereus* spp. *e Hylocereus undatus* (Haw.). Rev. Fitotec. Mex. 35(2):171-175.

Luna, O. A., M. Espino A., L. Luna M. y J. R. Pacheco A. 2012. Caracterización de suelos en una localidad tipo que alberga cactáceas priotarias para su conservación. Rev. Mex. Cienc. Agríc. Publicacion Especial. No. 4:672-678.

Morales, J. F. 2010. Orquídeas, cactus y bromelías del bosque seco de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. 182 p.

Nataren, V. J., A. L. Del Angel P., A. Rebolledo M., J. V. Megchún G., Á. Capetillo B., B. Carolin L. y L. Rebolledo M. 2009. Contenido relativo de agua y temperatura de hoja y caracterización en selecciones de pitahaya (*Hylocereus undatus*) de México. p. 373-385. *In*: III Foro Internacional Biológico Agropecuario. 2009.

Nobel, P. S. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactos: CO_2, agua y cambio climático. 2a ed. Bba-Mundi prensa. Biblioteca Básica de Agricultura. Texcoco, Edo. Mex.172 p.

Padulosi, S. and I. Hoeschle Z. 2004. Underutilized plants species: what are they?. Leisa Magazine: 5-6.

Peña, M. C., K. G. Lagunes V., K. L. Morales C., A. Ramírez H. y R. M. Oliart R. 2021. *Acanthocereus tetragonus* una especie tradicional subvalorada y subutilizada (ETSS) como alimento funcional. p. 7-19. *In*: González, M. T. M y V. Ávila A. (eds.). Biodiversidad y Soberanías Alimentarias en América Latina. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México.

Pérez, H. G. E. y E. J. Medina R. 2016. Opciones alimenticias para mitigar problemas de inseguridad alimentaria y nutricional en familias pobres de comunidades rurales del municipio de Tisma, Masaya Nicaragua en el año 2014.Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria (UNA). Facultad de Desarrollo Rural. Managua, Nicaragua. 139 p.

Sáenz, C. 2006. Los nopales como recurso natural. p. 7-22. *In*: Utilización. Boletín de Servicios Agrícolas No. 162. FAO. Roma. 182 p.

Scheinvar, L. 2004. Flora catalógica del estado de Querétaro: diversidad y riqueza. Ciencias, tecnologia y medicina. Fondo de Cultura Económica (Colección Sección de Obras de Ciencia y Tecnología). México 392 p.

CARACTERIZACIÓN FLORAL DE DOS VARIEDADES DE PITAHAYA *(Hylocereus undatus)*

Ana Lid del Ángel Pérez[1], Ana Gabriela Gallegos Gaspar[2]*, Jeremías Nataren Velazquez[1], Juan Valente Megchún García[2], Irma Rosa Vásquez Robles[2], Rosa Isela Rosalino Antonio[2] y Tanith E. Villagómez del Angel[3]

Resumen

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una epífita perenne de la familia Cactaceae, a la que pertenecen un número variable de géneros, alrededor de 2,000 especies. Diversos autores mencionan distintos lugares de origen entre Centroamérica y Sudamérica, destacando México y Colombia, debido a que han encontrado los géneros más primitivos, nativos de las regiones tropicales y subtropicales, las pitahayas ahora se distribuyen por todo el mundo. Es altamente resistente a largos periodos de sequía, tolera altos valores de salinidad, se puede desarrollar en diferentes ámbitos. Las flores blancas y tubulares con longitud entre 20 y 40 cm abren una sola noche. La planta tiene hábitos trepadores por lo que requiere de un tutor, posee tallos triangulares y alargados que trepan árboles y rocas, y se adhieren a ellos mediante raíces adventicias. Las causas del reducido número de frutos producidos respecto al total de flores desarrolladas es la autoincompatibilidad sexual. El objetivo de este trabajo fue la caracterización de flores de pitahaya, trabajo realizado en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP). Las variables componentes del diseño experimental fue completamente al azar a través de las flores a caracterización de la pitahaya *(Hylocereus undatus).* El análisis de las variables físicas, consideró la duración de la antesis, se registraron variables de la biología floral de cada genotipo, analizando la apertura floral. Los resultados de las variables medibles de la flor de la pitahaya de pulpa roja, mostraron una relación positiva entre LB, NTE y ABC; también se

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Cotaxtla.
[2] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza. *Correspondencia: anaga.gallegosga@gmail.com
[3] Universidad Veracruzana Campus Mocambo.

obtuvo una relación negativa entre LDT, LIO y NE. En la pitahaya de pulta blanca se tiene una relación positiva con las variables NES y LTR y una relación negativa entre LL y TM.

Palabras claves: caracterización, *Hylocereus undatus*, pitahaya, variables

Introducción

Hylocereus undatus corresponde a plantas del orden Caryophyllales, familia Cactaceae, perennes, terrestres, epífitas colgantes de las ramas de otras plantas, existen alrededor de 2,000, a menudo cultivadas como planta ornamental, con floración nocturna, como cultivo frutal (Kumar, 2018). Los nombres de muchos géneros de la familia de los cactus terminan con el sufijo *cereus* que es uno de los primeros géneros de cactus descritos. Se deriva del griego *keros* o latín *cereus*, que significa “cono de cera”, en referencia al hábito columnar de las especies del género. Posteriormente, se le dio el nombre Hylo*cereus* al género de cactáceas similares que crecen en los bosques, el prefijo se deriva de la palabra griega *hyle*, que significa selva o selva; es un término genérico que incluye a varias cactáceas columnares y trepadoras; el nombre común de *Hylocereus undatus* se basa en la producción de su país, son Belle de nuit (Francia), flor de cáliz (Venezuela, Puerto Rico), Dragon fruit, Belle of the night (Paises anglohablantes), Distelbrin (Alemania), Pitahaya (Ecuador, Colombia, México, Perú (Esquivel, 2012; Figueroa, 2017). La distribución nativa exacta de *Hylocereus undatus* es incierta, muchos autores refieren diferentes lugares de origen entre Centroamérica y Sudamérica, especialmente México y Colombia, donde se encuentra el género más primitivo. Se ha reportado que la pitahaya es una especie de cultivo dispersa en regiones tropicales y subtropicales, mostrando un alto grado de polimorfismo, y en las poblaciones naturalizadas se distribuyen en bosques tropicales caducifolio, bosques tropicales semicaducifolios, vegetación de ribera, bosques costeros, matorrales espinosos y bosques espinosos (Manzanero, 2014). Entre ellos, la pitahaya ahora se distribuye en todo el mundo, sobre todo porque estas plantas pueden crecer en suelos deficientes en materia orgánica y nutrientes (Cálix De Dios *et al*., 2014). *Hylocereus undatus* es una litófita o hemiepífita tolerante a la sombra y, debido al metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) modo de fotosíntesis, la absorción de CO_2 ocurre

durante la noche cuando las estomas están abiertas, lo que restringe la pérdida de agua a través de la transpiración durante el calor del día (Andrade *et al*., 2006; Andrade, 2007). Al igual que otras cactáceas, la fruta del dragón tiene una gran capacidad para adaptarse a diversas condiciones de estres abiótico que incluyen agua hídrica, sequía y altas temperaturas, ya que su cierre estomático diurno evita la pérdida de agua, aunque es sensible al exceso de radiación (Ramos, 2018). La temperatura óptima de crecimiento es de 18-25°C, las plantas de pitahaya sufrirán daños a temperaturas inferiores a 0°C y superiores a 40-45°C (Rojas y Praciak, 2020), con buenos niveles de humedad relativa, la pitahaya es resistente al viento y suelos moderadamente salinos. Las precipitaciones pueden favorecer la presencia de enfermedades que provocan la pudrición de las flores (Osuna *et al*., 2016). La pitahaya tiene producción estacional, que generalmente depende de la floración de la planta, la principal temporada de producción de pitahaya es en junio-septiembre. La planta florece solo a finales de la primavera hasta los primeros días de la temporada de verano. En una misma planta, se pueden observar brotes, flores, frutos jóvenes y frutos maduros simultáneamente, ya que hay de 3 a 4 semanas entre floraciones (Le Bellec *et al*., 2006). La flor de la pitahaya es una sola flor al final del segmento distal, tubular blanca, de 20-40 cm de largo, abierta por la noche y cerrada por la mañana (Osuna *et al.*, 2016). Los pétalos se caen al fructificar, el fruto es ovalado, de 10-12 cm de diámetro, 10-15 cm de largo, la cáscara tiene pétalos unidos similares, de color rosa oscuro cuando está maduro, y el interior es suave, jugoso, blanco o rojo, dulce o textura agria, y una pequeña semilla negra (Home y Garden, 2022). El tallo mide unos 5 metros de largo, está enraizado en el suelo y en el aire, le gusta el suelo fértil, el buen drenaje, le gusta la luz del sol y las características del sistema de raíces. El tronco de la pitahaya se asemeja a un cactus, un triángulo, bordes regordetes y ondulados, tallos articulados con espinas de superficie del tallo es verde. Las flores son polinizadas solo por murciélagos o polillas, la polinización manual también se utiliza con variedades autoincompatibles para garantizar un buen cuajado y tamaño de la fruta. Las pitahayas rojas son reportadas con mayor autoincompatibilidad que se debe a hercogamia (separación espacial entre estigmas y estambres) y ginoheterostilia (mayor longitud del estilo que de los estambres), ambos fenómenos evitan la autopolinización. La pitahaya pulpa blanca es alogama, menos dulce que la variedad amarilla. Su cultivo es menos exigente, la planta es más resistente pero el fruto es más delicado al transporte que otras variedades, la pitahaya

de pulpa roja presenta tallos gruesos, además de ser una excelente productora de flores, lo que la hace una gran polinizadora para otras variedades de pitahaya roja. El género Hylocereus tiene un potencial alto como ornamental y cultivo frutícola, puede ser una fuente de compuestos para uso industrial y su cultivo podría crear puestos de trabajo e ingresos al país (Ortiz, 2012). Desde finales del siglo XX, se ha plantado ampliamente a escala comercial como cultivo de frutas en muchas regiones tropicales, particularmente en Vietnam y otros países del sureste asiático, y ha escapado ampliamente del cultivo, se ha naturalizado y, en muchos casos, se ha convertido en una especie invasora, maleza, a veces amenazando plantas y hábitats nativos. Actualmente está catalogado como invasor en China, Australia, Sudáfrica, Cuba y en muchas islas del Océano Pacífico (Government, 2016; Oviedo 2012).

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias, ubicado a los 18º 16º LN y 96º 16º LW del Meridiano de Greenwich, a 40 msnm sobre el nivel del mar, clima AW0, con una temperatura media anual de 24 ºC, precipitación anual de 1200 mm, y suelos de tipo vertisol pélico (Nataren *et al.,* 2009). Se estudiaron dos cultivares: caracterización de flores de pitahaya roja y blanca.

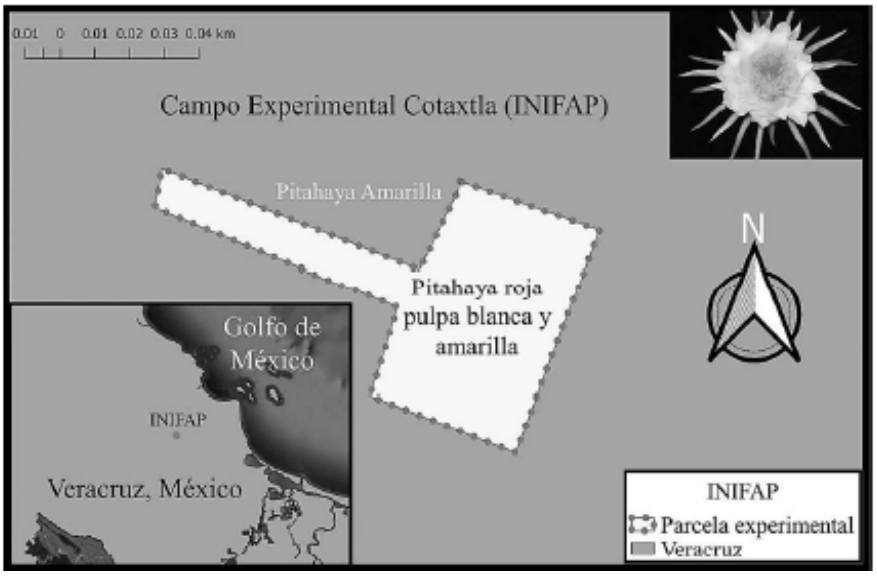


Figura 1. Microlocalización del experimento pitahaya en el Campo Experimental Cotaxlta-INIFAP.

Para las variables componentes de rendimiento, el diseño experimental fue completamente al azar caracterizando las dos variedades de flores de pitahaya y análisis de variables físicas, considerando el período de floración, registrando las variables biológicas florales de cada genotipo, y analizando la apertura floral, las variables de análisis son: el número de elementos foliares, el largo de los elementos multifoliares, la forma y color de los elementos foliosos; número de estambres; número y longitud de lóbulos del estigma; longitud de hercogamia y dicogamia de acuerdo (Zepeda, 2015), diámetro del ovario, longitud y el grosor del estilo, el número de lóbulos del estigma, longitud de los estambres, el diámetro y longitud del lóculo del ovario, hercogamia, dicogamia, color del estigma, coloración y longitud de las flores.

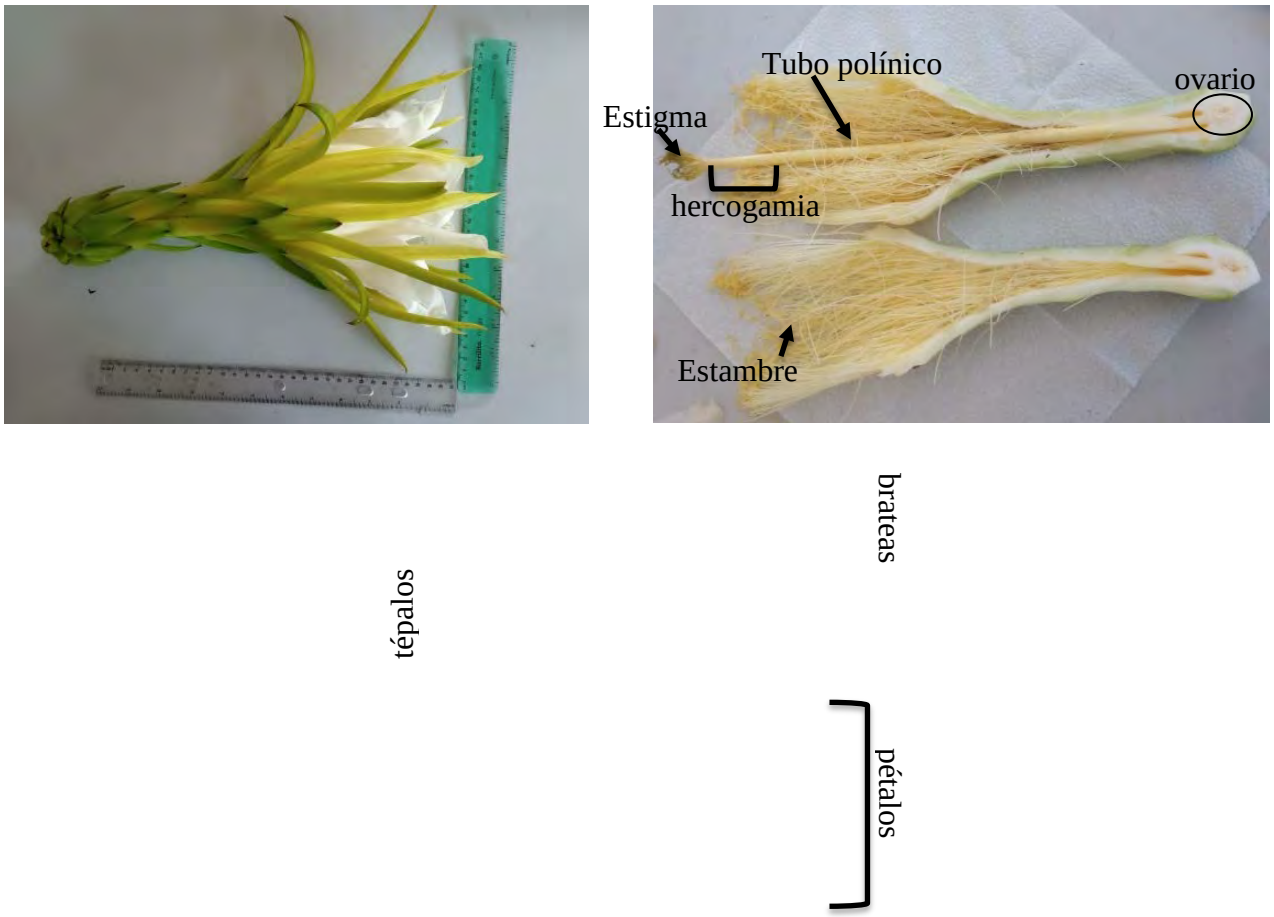


Figura 2. Morfología de la flor de pitahaya roja *Hylocereus* spp.

Resultados y Discusión

En la Figura 3 se muestran las relaciones entra las variables medibles de la flor de pitahaya pulpa roja, hay una relación positiva entre LB, NTE y ABC, también se tiene una relación entre LDT, LIO y NE de la variación morfológica evaluada (Cuadro 1).

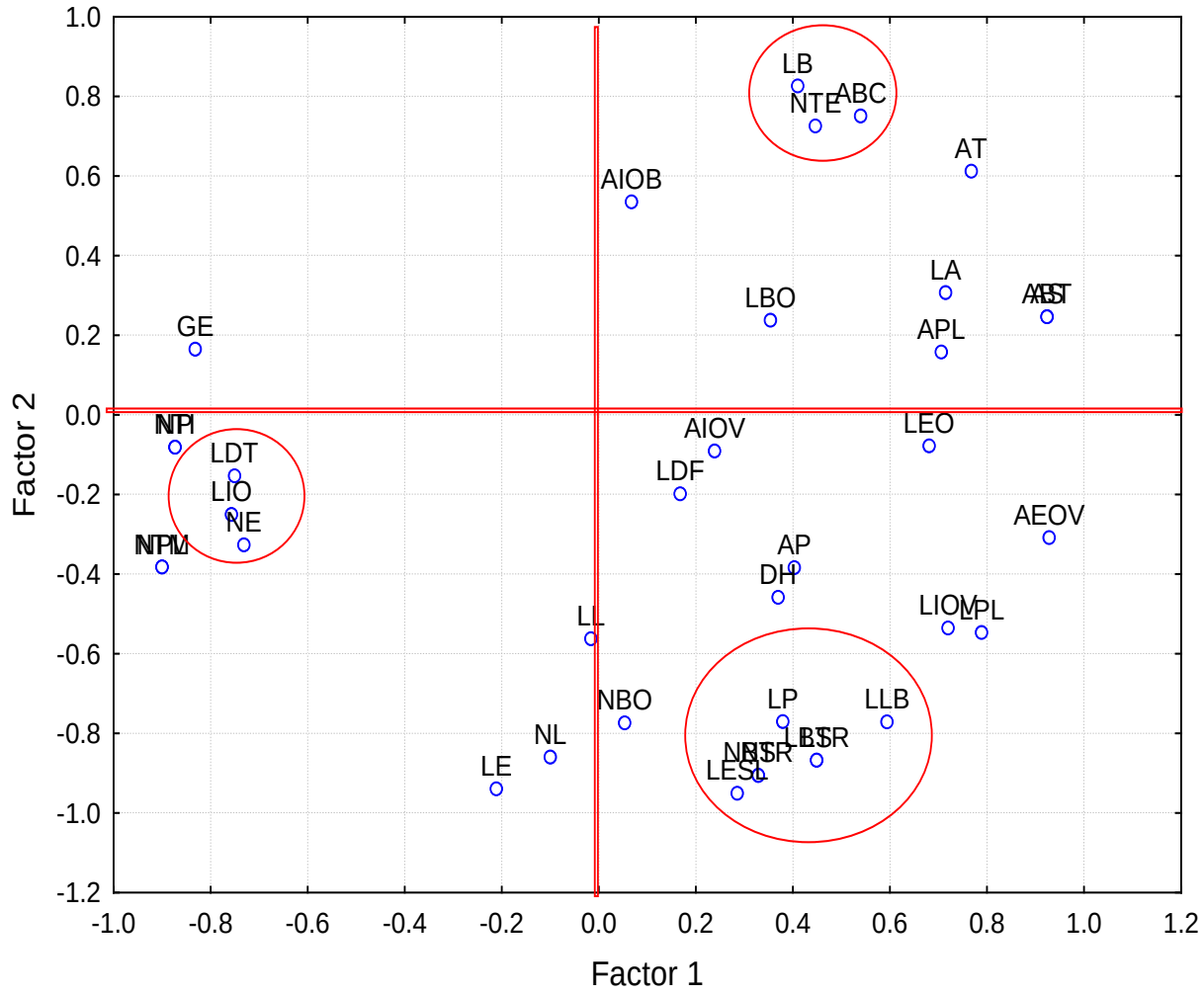


Figura 3. Relaciones entra las variables medibles de la flor de la pitahaya pulpa roja a partir de su caracterización.

En el Cuadro 1 se muestra las variables medibles, y los resultados promediados de los caracteres de la flor de la pitahaya pulpa roja, según (Cruz, 2015), las flores son grandes las cuales llegan a medir 20 a 40 cm de longitud y hasta 25 cm en su diámetro mayor, el carácter medido en la flor muestra fue de 31.22 de longitud, resultando atractivas para los polinizadores.

Se ha reportado que el estilo es de aproximadamente 20 cm de largo y 0.5 cm de diámetro (Wendy, 2015). En los resultados tenemos que la longitud del estilo fue de 24.06 y el diámetro del mismo fue de 0,6, en este carácter se puede ver que es más grande que la señalada antes. Existen numerosos estambres sobre un tallo de anteras esbeltas. Posee gran cantidad de estambres (más de 300) y un estigma con múltiples divisiones según (Sánchez, 2018), la flor caracterizada cuenta con 773.6 estambres.

Cuadro 1. Características morfológicas de la flor de pitahaya roja.

No.	Carácter	Clave	Descriptor
1	Longitud de flor (cm)	LDF	31.22
2	Longitud externa del ovario (cm)	LEO	5.36
3	Longitud interna del ovario blanco (cm)	LIO	3.18
4	Longitud interna del ovario-verde (cm)	LIOV	3.2
5	Ancho externo del ovario (cm)	AEOV	3.3
6	Ancho interno del ovario-blanco (cm)	AEOB	2.48
7	Ancho interno del ovario-verde (cm)	AIOB	3.48
8	Longitud del tubo (cm)	LDT	9.68
9	Ancho del tubo (cm)	AT	0.82
10	Número de brácteas del ovario	NBO	15.8
11	Longitud de brácteas del ovario (cm)	LBO	3.54
12	Ancho de las brácteas chicas (cm)	ABC	1.7
13	Número de brácteas del tubo receptacular (cm)	NBTR	11.8
14	Longitud de brácteas del tubo receptacular (cm)	LBTR	9.88
15	Ancho de brácteas del tubo (cm)	ATB	1.58
16	Número de tépalos externos	NTE	12.2
17	Número de tépalos medios	NTM	11.2
18	Número de tépalos internos	NTI	20
19	Número de sépalos	NS	11.8
20	Longitud de sépalo (cm)	LS	9.88
21	Ancho de sépalo (cm)	AS	1.58
22	Color de sépalos	CS	verde
23	Numero de petaloides	NPL	12.2
24	Longitud de petaloides (cm)	LPL	15.42
25	Ancho de petaloides (cm)	APL	1.3
26	Color de petaloides	CPL	Verde Amarillento

Continúa Cuadro 1…

No.	Carácter	Clave	Descriptor
27	Número de pétalos	NP	20
28	Longitud de pétalos (cm)	LP	12.98
29	Ancho de pétalos (cm)	AP	2.76
30	Color de pétalos	CP	blanco
31	Longitud del estilo (cm) sin lóbulos (cm)	LESL	24.06
32	Grosor de estilo (cm)	GE	0.6
33	Color de estigma	CE	40% verde 40% verde amarillo 20% amarillo
34	Número de lóbulo	NL	25.4
35	Lóbulos enteros	LE	24.4
36	Longitud de lóbulos (cm)	LLB	2.23
37	Lóbulos bífidos	LB	1
38	Distancia de hercogamia (cm)	DH	1.08
39	Número de estambre	NE	773.6
40	Lóbulo largo	LL	1.64
41	Lóbulo ancho	LA	0.96
42	Néctar	N	40% sin néctar 60% con néctar
43	Curvatura	CV	40% con curvatura 60% sin curvatura

En la Figura 4 se presenta la relación que existe entre las variables medidas a la flor de pitahaya pulpa blanca, se observa que existe una relación positiva con las variables NES y LTR, y una relación negativa entre LL y TM.

En el Cuadro 2, se presentan los valores promedios de cada una de las variables medidas en la flor de pitahaya pulpa blanca, como se puede observar también las claves para su identificación. Ramos (2018) observó una distancia marcada que derivó en un promedio de 8.48 mm entre anteras y estigma. La medida del estilo son de 5-24.5 cm de largo, de 6-8 mm de grosor (Handwiki, 2021), en la flor de pitahaya de pulpa blanca se muestra que el estilo tiene una medida promediada de 23.4 cm de longitud y 0.52 cm de diámetro.

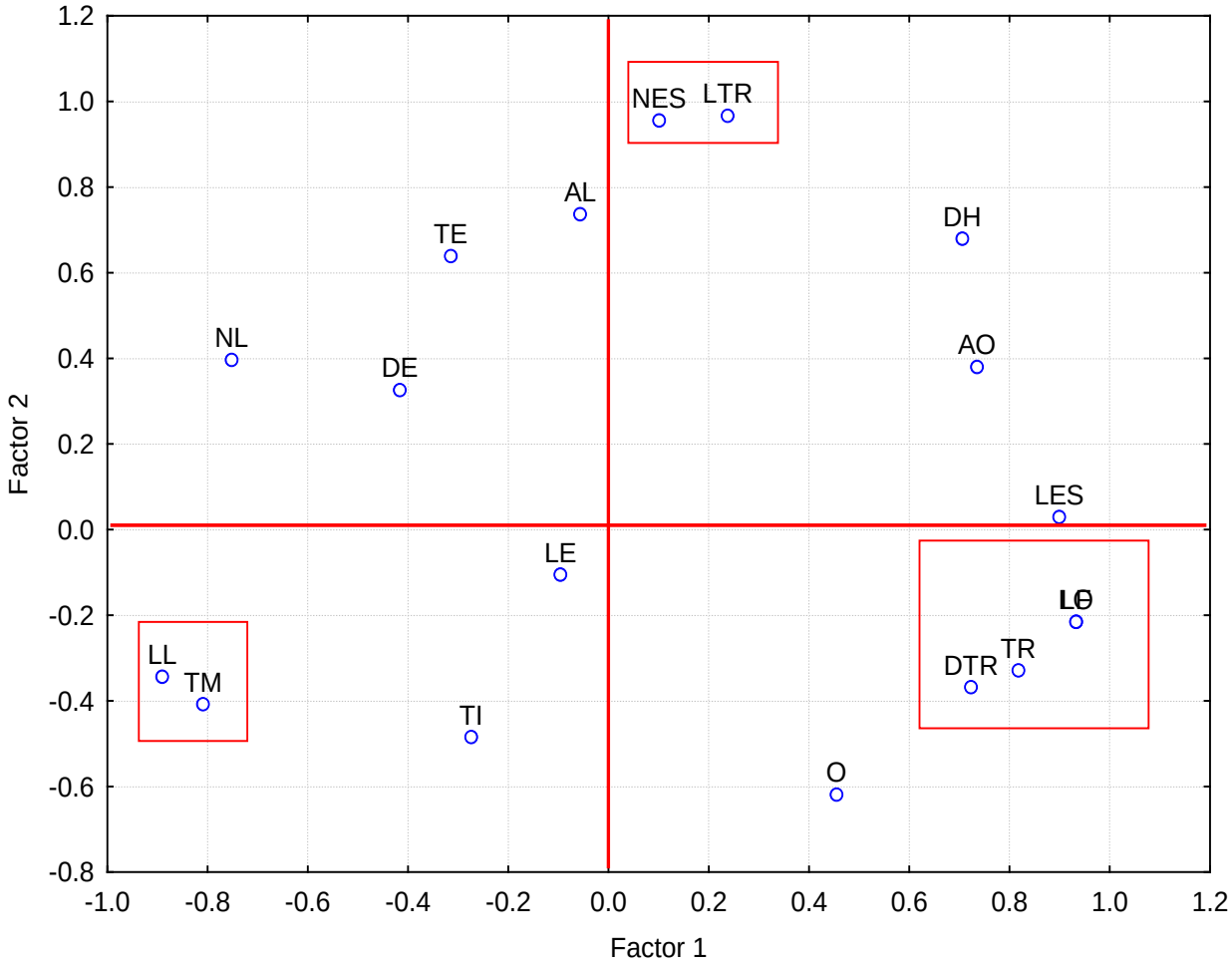


Figura 4. Análisis multivariado por factores las características morfológicas de la flor de la pitahaya pulpa blanca.

Cuadro 2. Características morfológicas de la flor de la pitahaya pulpa blanca.

No.	*Carácter*	*Clave*	*Descriptor*
1	Longitud de la flor (cm)	LF	34.44
2	Largo del ovario (cm)	LO	4.4
3	Ancho del ovario (cm)	AO	3.5
4	Ovario	O	31.4
5	Tubo receptacular	TR	14.18
6	Longitud del tubo receptacular (cm)	LTR	13.52
7	Diámetro del tubo receptacular (cm)	DTR	1.64
8	Tépalos externos	TE	9.8
9	Tépalos medios	TM	30.2
10	Tépalos internos	TI	21

Continúa Cuadro 2…

No.	*Carácter*	*Clave*	*Descriptor*
11	Longitud del estilo (cm)	LE	23.4
12	Diámetro del estilo (cm)	DE	0.52
13	Número de lóbulos	NL	19.6
14	Lóbulos del estigma (cm)	LES	1.815
15	Distancia de hercogamia (cm)	DH	2.06
16	Número de estambres	NES	839.6
17	Largo de lóculo (cm)	LL	2.03
18	Ancho de lóculo (cm)	AL	1.2

Conclusiones

Al caracterizar morfológicamente la flor de pitahaya podemos observar las relaciones entra las variables medibles como longitud, diámetro del ovario, longitud y el grosor del estilo, el número de lóbulos del estigma, longitud de los estambres, el diámetro y longitud del lóculo del ovario, el color medidas de pétalos. En la flor de pitahaya pulpa roja, hay una relación positiva entre LB, NTE y ABC; también se tiene una relación entre LDT, LIO y NE. En las variables medidas a la flor de pitahaya pulpa blanca, se observó una relación positiva con las variables NES y LTR, y una relación negativa entre LL y TM, lo que indica una compatibilidad en sus variables.

Literatura Citada

Andrade R. A, M. A. 2007. Influence of the material source and the cicatrize time in vegetative propagation of red dragon fruit (*Hylocereus undatus*). Revista Brasileira de Fruticultura 29 (1): 183-186.

Andrade, J. l., E. Rengifo, M. Ricalde, J. Simá, J. Cervera y S. G. Vargas. 2006. Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán. Agrociencia 40 (6): 688.

Cálix De Dios, H., R. Castillo Martínez y H.J. Caamal Canché. 2014. Caracterización de la producción de Pitahaya (*Hylocereus* spp.) en la Zona Maya de Quintana Roo, México. Agroecología (9): 123-132.

Cruz, J. M. 2015. *(Hylocereus* spp*.)* un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. SCIELO.

Esquivel, P. Y. 2012. Caracterización del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos 3 (1):14.

Figueroa, S. Mollinedo O. 2017. Actividad antioxidante del extracto etanólico del mesocarpio del fruto de *Hylocereus undatus* "pitahaya" e identificación de los fitoconstituyentes. Tesis para optar el título profesional de Químico Farmacéutico. Universidad Norbert Wiener.

Government. Q. 2016. Weeds of Australia, Biosecurity Queensland Edition. http://keyserver.lucidcentral.org/weeds/data/media/Html/search.html

Handwiki. 2021. Biology: Hylocereus undatus. https://handwiki.org/wiki/Biology:Hylocereus_undatus

Home y Garden. 2022. Fruta del dragón/Floración nocturna Cereus. Obtenido de Amarin Printing y Publishing Public Company Limited. https://www.baanlaesuan.com/plants/annual/135673.html

Kumar, S. I. 2018. Functional and health-promoting bioactivities of dragon fruit. Drug invention today (10): 3307-3310.

Le Bellec, F., F. Vaillant y E. Imbert. 2006. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. Fruits (61): 237-250.

Manzanero, L. M. 2014. Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el estado de Campeche. México. Foresta Veracruzana 16 (1): 9-16.

Nataren V, J., A. L. Ángel P., A. Rebolledo M., J. V. Megchún, B. A. Capetillo, L. B. Carolina y M. L. Rebolledo. 2009. Contenido relativo de agua y temperatura de hoja y caracterización en selecciones de pitahaya (*hylocerus undatus*) de México. Universidad Veracruza. III Foro Internacional Biológico Agropecuario 373-385.

Ortiz H.Y.D. 2012. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. Comunicata Scientiae 3 (4):220-237.

Osuna E. T., J. B. Valdez T., J. A. Sañudo B., M.D. Muy R., S. Hernández V., M. Villarreal R. y J. M. Osuna R. 2016. Fenología reproductiva, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) en el valle de Culiacán, Sinaloa, México. Agrociencia 50 (1): 61-78.

Oviedo P. R, H. O. 2012. National list of invasive and potentially invasive plants in the Republic of Cuba 2011. (Lista nacional de especies de plantas invasoras y potencialmente invasoras en la República de Cuba 2011). Bissea: Boletín sobre Conservación de Plantas del Jardín. En B. B. Cuba. Cuba: 6 (Special Issue No. 1).

Ramos, J. E. 2018. Polonizacion natural y artificial en el cultivo de pitahaya. Universidad de Almería España. Máster horticultura mediterránea bajo invernadero. España.

Rojas, S. J. y A. Praciak. 2020. *Hylocereus undatus* (dragon fruit). Invasive Species Compendium (27317).

Sánchez, H. J. 2018. Efecto de la fertilización y aplicación de fitohormonas de inducción floral en el rendimiento del cultivo de pitahaya *(Selenicereus megalanthus), en el distrito Churuja, Amazonas-2017.* Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma, Chachapoyas-Perú.

Wendy, V. S. 2015. Análisis de la producción y productividad del cultivo de pitahaya en los Cantones Quevedo, Mocache y Ventanas. Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera de Economía. Quevedo, Ecuador.

Zepeda, B. S. 2015. Evaluación de compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la finca El Socorro ubicada en el en el Km 27 carretera el Crucero-Nicaragua en el periodo de mayo-junio del 2014. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y MOLECULAR DE MICOBIOTA ASOCIADA A LA MUERTE DESCENDENTE EN *Citrus aurantifolia* EN EL ESTADO DE COLIMA

Karina de la Paz García Mariscal[1], Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán[1*], Julio César Herrera Ortiz[2], Francisco Javier Delgado Virgen[2], Mario Orozco Santos[1] y José Joaquín Velázquez Monreal[1]

Resumen

Los hongos del género *Lasiodiplodia* son fitopatógenos de importancia económica que se distribuyen en las zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo. Estos hongos causan afectaciones en muchos cultivos frutícolas como el cacao, aguacate, papaya, mango, limón, entre otros. En árboles de cítricos *Lasiodiplodia theobromae* causa síntomas de momificación y pudrición de frutos, gomosis, pudrición y muerte descendente en ramas. En este trabajo se caracterizó morfológica y molecularmente la micobiota asociada a la muerte descendente en árboles de cítricos del estado de Colima durante 2018-2019. El material vegetativo enfermo fue procesado en el laboratorio para realizar los aislamientos secuenciales utilizando los medios de cultivo agar Dicloran Rosa de Bengala Cloranfenicol (DBRC) y Agar Papa Dextrosa (PDA) seguido de incubaciones a 28°C por 2-7 días. La caracterización morfológica se realizó mediante observación de estructuras al microscopio óptico y posterior comparación con claves reportadas en la literatura. Para la detección molecular se llevó a cabo la extracción de ácidos nucleicos a partir de micelio y el DNA fue tomado como molde para las PCR con oligonucleótidos ITS1/ITS4. Los productos de PCR fueron secuenciados (ambas cadenas) y se realizó un análisis BLAST a través del software CLC Main Workbench. La morfología macroscópica de las cepas de *Lasiodiplodia* spp. se caracterizó por micelio aéreo gris con coloración blanca (picnidios irregulares aterciopelados) cubriendo la totalidad de las cajas Petri, en algunos casos presentó cuerpos fructíferos en la superficie mientras que microscópicamente se identificaron conidios hialinos (inmaduros) y pigmentados (maduros) de

[1] INIFAP, Campo Experimental TecománCorrespondencia: bermudez.manuel@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de México, Campus Colima.

forma ovoide. Para la identificación molecular las secuencias de DNA de cada muestra fueron sometidas a análisis BLAST en la base de datos de NCBI y se detectaron secuencias homólogas, las cuales se utilizaron para determinar la identidad de cada cepa. Se obtuvieron un total de 28 aislamientos de hongos de los cuales se identificaron por morfología y/o secuenciación 15/28 de *Lasiodiplodia theobromae*, 6/28 de *Aspergillus aculeatus*, 3/28 de *Fusarium* spp., 1/28 de *F. equiseti*, 1/28 de *L. iranensis*, 1/28 de *Aschersonia* sp. y 1/28 de *Trichoderma* sp. Los hongos *A. aculeatus* y *F. equiseti* son los primeros reportes afectando a cítricos en México.

Palabras clave: hongos, cítricos, *Lasiodiplodia*, ITS, secuenciación

Introducción

Las enfermedades ocasionadas por hongos patogénicos producen afectaciones en árboles de cítricos y pueden ocasionar la muerte de estos; las pérdidas económicas en la producción de fruta son la consecuencia inmediata. Los hongos de *Lasiodiplodia theobromae* son parásitos facultativos que completan su ciclo de vida en las ramas muertas de árboles en crecimiento y esporulan en la madera muerta de los árboles de cítricos (Zhang y Swingle, 2005).

La aparición y distribución de la pudrición ocasionada por *Lasiodiplodia* spp. está relacionada con ambientes caracterizados por climas cálidos y húmedos, condiciones similares a las regiones tropicales y subtropicales, donde ocurre la citricultura a nivel mundial (Saunt, 1990). La enfermedad de muerte descendente ocasionada por *Lasiodiplodia* spp. no es nueva, sin embargo, se ha ignorado por considerarse menos peligrosa que el HLB. En Indonesia se han reportado afectaciones del 85% en una huerta de 500 ha de *Citrus máxima* (Faber *et al*., 2016) y en 2011 se reportaron afectaciones a 63,431 ha del área total de huertos de cítricos en ese país (Dwiastuti y Aji, 2021).

La enfermedad de muerte descendente es ocasionada principalmente por *L. theobromae*, sin embargo, se ha asociado a la enfermedad con una diversidad de hongos tales como *Botryosphaeria* spp., *Fusarium* spp., *Fomitiporia maxonii*, *Fomitopsis meliae*, *Eutypella citricola*, entre otros (Flores-Hernández *et al*., 2021; Polanco-Florián *et al*., 2019). Con base en

lo anterior, el objetivo del trabajo consistió en aislar y purificar hongos de lesiones características de muerte descendente en árboles cítricos del estado de Colima para, posteriormente, mediante morfología de las cepas y secuenciación de regiones espaciadoras intergénicas del rDNA (ITS) identificar que especies de hongos están relacionadas con las lesiones observadas en campo.

Materiales y Métodos

Colecta de material vegetativo enfermo. Se colectó material vegetativo con síntomas de muerte descendente de árboles de cítricos (*Citrus aurantifolia*) durante 2018-2019, procedentes del Campo Experimental Tecomán del INIFAP y fueron transportadas en hielera al laboratorio de Biotecnología de Plantas del Campo Experimental Tecomán y al Laboratorio de microbiología del Tecnológico de Colima para su procesamiento.

Aislamiento, purificación y caracterización morfológica de hongos. El aislamiento de los hongos se realizó según lo descrito por Vázquez *et al*. (2009). Los cultivos axénicos fueron obtenidos mediante aislamientos secuenciales utilizando los medios de cultivo agar Dicloran Rosa de Bengala Cloramfenicol (DBRC) y Agar Papa Dextrosa (PDA) seguido de incubaciones a 28°C por 2-7 días. A partir de los cultivos axénicos se caracterizó su morfología macro y microscópica utilizando un microscopio óptico (Carl Zeiss) con el campo de 40X. Las muestras fueron teñidas con verde malaquita y las estructuras identificadas fueron comparadas con las reportadas en las claves de Picos-Muñoz *et al*. (2015), para la asignación del género correspondiente.

Identificación molecular de aislamientos de hongos. Se realizó la extracción de DNA a partir de 1 g de micelio utilizando el kit DNeasy®Plant Mini (QIAGEN) de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La pureza y cuantificación de los ácidos nucleicos se realizó con un espectrofotómetro NanoDrop 2000 (Thermo Scientific). La integridad del DNA genómico extraído de las cepas de hongos fue determinada mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% con buffer TBE 1X y posterior tinción con bromuro de etidio. La visualización del DNA se realizó mediante la exposición de las muestras a una fuente de luz UV. Para el PCR se utilizó el kit Taq PCR Master mix (QIAGEN), siguiendo las indicaciones del fabricante para un

volumen de 25 µL. Se utilizaron los oligonucleótidos ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) e ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) descritos previamente por White, 1990 y la PCR se llevó a cabo con las condiciones descritas por Manter y Vivanco, 2007. Los productos de PCR fueron sometidos a electroforesis en gel de agarosa al 1.5%, se visualizaron de manera similar como se describió anteriormente y se secuenciaron las dos hebras (forward y reverse) por el método de Sanger a través del servicio de Macrogen. La calidad, edición, ensamblado de las secuencias ("forward" y "reverse"), PCR *in silico*, así como el análisis BLAST en la base de datos de NCBI se realizaron con el software CLC Main Workbench versión 8.1 (QIAGEN CLC Main Workbench 8.1).

Resultados y Discusión

Se purificaron 28 cepas de hongos procedentes de árboles enfermos de cítricos con signos típicos de la enfermedad de muerte descendente. La morfología macroscópica de las cepas de *Lasiodiplodia* spp. después de siete días de incubación presentaron micelio aéreo gris con coloración blanca (picnidios irregulares aterciopelados) que cubrió la totalidad de las cajas Petri y en algunos casos presentó cuerpos fructíferos en la superficie (Figura 1A), mientras que en el reverso de la placa se observó pigmentación de color negro. La morfología microscópica evidenció conidios hialinos y pigmentados de forma ovoide, los cuales se tornan de color verde-azul en su estado inmaduro y posteriormente de color café oscuro a negro en su estado maduro, el cual presenta un septo que lo atraviesa en su parte central (Figura 1B). Estos conidios fueron descritos recientemente por Flores-Hernández *et al*. (2021) en árboles de cítricos de Tamaulipas. Otra estructura identificada fue la paráfisis hialina con ramificaciones (Figura 1C). Las estructuras observadas al microscopio corresponden a las descritas por Picos-Muños *et al*. (2015), quienes argumentan que la principal característica del género *Lasiodiplodia* es la presencia de picnidios, paráfisis y estriaciones longitudinales en conidios maduros. En México, hay muchas especies de *Lasiodiplodia* que se han aislado de varios cultivos frutícolas (cacao, aguacate, papaya, mango, limón, entre otros) y que se han caracterizado morfológicamente a partir de conidios y paráfisis (Picos-Muños *et al*., 2015). De manera similar, las características microscópicas observadas en *Lasiodiplodia* en este trabajo

coinciden con las descritas detalladamente por otros autores (Pitt y Hocking, 2009; Phillips *et al*., 2013). Otros hongos que fueron identificados morfológicamente a nivel de género corresponden a *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Trichoderma* sp. y *Aschersonia* sp.

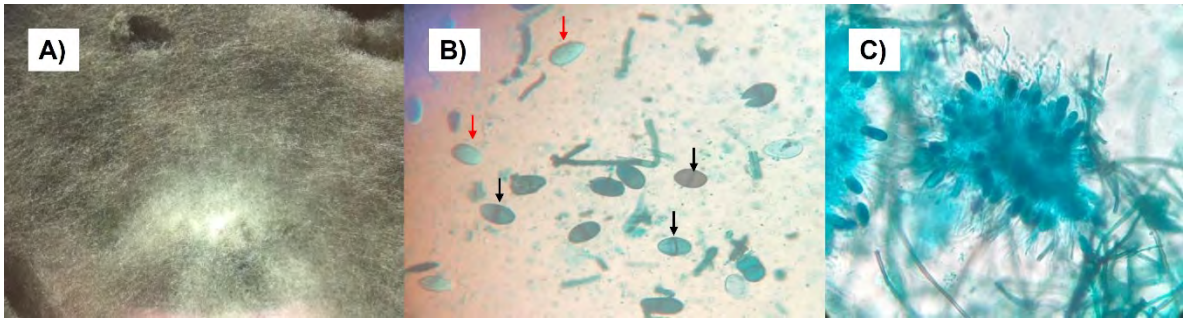


Figura 1. Estructuras de *Lasiodiplodia theobromae* aisladas de cítricos de Colima. A) Micelio aéreo gris. B) Conidios inmaduros (flechas rojas) y maduros (flechas negras). C) Paráfisis hialina con ramificaciones.

La pureza del DNA extraído de micelio de hongos tuvo valores promedio de Abs 260/280: 1.94 y 260/230: 2.1 lo cual indica que los ácidos nucleicos son de calidad para el PCR y su integridad fue corroborado mediante electroforesis en gel de agarosa obteniéndose en todos los casos bandas nítidas DNA. La identificación molecular de los hongos se basó en la secuenciación de regiones espaciadoras intergénicas del rDNA (ITS) que abarca la región ITS1, 5.8 S e ITS2, las cuales fueron amplificadas por PCR con los oligonucleótidos ITS1/ITS4. De manera clásica las regiones ITS se han utilizado por varios autores para la identificación de especies de *Lasiodiplodia* (Flores-Hernández *et al*., 2021; Netto *et al*., 2014).

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las cepas de hongos aisladas, así como su caracterización morfológica y molecular. La mayor incidencia en todas las muestras fue del hongo *Lasiodiplodia theobromae* (15/28), seguido de *Aspergillus aculeatus* (6/28), *Fusarium* spp. (4/28), *Lasiodiplodia iranensis* (1/28), *Aschersonia* sp. (1/28) y *Trichoderma* sp. (1/28). Todas las secuencias de *Lasiodiplodia* spp. tuvieron una longitud de 542 pb, las de *A. aculeatus* 575 pb, *Aschersonia* sp. 558 pb y *F. equiseti* 546 pb. Lo anterior nos da una idea de las diferencias existentes en la composición de DNA de cada grupo de microorganismos.

Tabla 1. Identificación morfológica y molecular de hongos relacionados con la enfermedad de muerte descendente en árboles de cítricos de Colima.

Muestra	Agente causal (morfología)	Agente causal (secuenciación)	Fragmento (pb)	Fuente de aislamiento
C1	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C2	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C3	*Lasiodiplodia* sp.	ND	ND	Corteza
C4	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C5	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia iranensis*	542	Corteza
C6	*Aspergillus* sp.	*Aspergillus aculeatus*	575	Corteza
C8	*Aspergillus* sp.	*Aspergillus aculeatus*	575	Corteza
C9	*Fusarium* sp.	ND	ND	Corteza
C10	*Aspergillus* sp.	ND	ND	Corteza
C13	ND	*Aschersonia sp.*	558	Corteza
C14	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C17	*Fusarium* sp.	ND	ND	Corteza
C18	*Fusarium* sp.	ND	ND	Corteza
C19	*Trichoderma* sp.	ND	ND	Corteza
C20	*Aspergillus* sp.	*Aspergillus aculeatus*	ND	Corteza
C21	*Aspergillus* sp.	*Aspergillus aculeatus*	575	Corteza
C22	ND	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C27	ND	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C28	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C29	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C30	*Fusarium* sp.	*Fusarium equiseti*	546	Corteza
C32	ND	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C40	ND	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Corteza
C41	*Aspergillus* sp.	*Aspergillus aculeatus*	542	Corteza
T1	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Tallo
T2	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Tallo
T3	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Tallo
T4	*Lasiodiplodia* sp.	*Lasiodiplodia theobromae*	542	Tallo

El análisis BLAST en la base de datos de NCBI reveló que las secuencias de las regiones espaciadoras intergénicas del rDNA (ITS) tuvieron 100% de identidad (secuencias homólogas) con otras reportadas en la base de datos. Estas secuencias homólogas y de acuerdo con otros

aislamientos de *Lasiodiplodia* de diversos cultivos en México fueron tomados en cuenta para determinar el origen de cada aislamiento. En todos los casos, *Lasiodiplodia theobromae* predomina, por lo que se considera el agente causal de la enfermedad de muerte descendente en cítricos del estado de Colima.

Las especies del género *Fusarium* se encuentran por lo general en suelo y árboles de cítricos y esta reportado que están asociadas con enfermedades de importancia económica en este cultivo, ocasionando síntomas como pudrición de la raíz, marchitez y muerte descendente en los árboles (Derrick KS, Timmer, 2000). En otro estudio, Sukmawati y Miarsyah (2017), aislaron e identificaron agentes patogénicos en *C. nobilis*, basados en pruebas de patogenicidad se identificó como hongo patogénico a *Fusarium equiseti*, el cual es una fuente importante de tricotecenos, zearalenona y otras micotoxinas que pueden causar graves enfermedades en humanos y animales. Este hongo fue reportado también en Yucatán México como responsable de muerte descendente y acortamiento de entrenudos en plantaciones de *Jatropha curcas* (Herrera-Parra *et al*., 2017). Recientemente, otro estudio más reveló mediante pruebas de patogenicidad que *F. equiseti* es responsable de podredumbre basal en plantaciones de cebolla en el estado de Puebla (Romero-Arenas *et al*., 2022), pero a la fecha no se ha reportado afectando a árboles de cítricos, por lo que este se puede considerar el primer reporte y muy probablemente esté asociado a la enfermedad de muerte descendente en cítricos. Lo anterior podría sugerir a este hongo como una potencial enfermedad emergente que pudiera afectar a otros cultivos de importancia económica.

Por otra parte, *Aspergillus aculeatus* esta reportado como fitopatógeno que ocasiona la pudrición seca en tomates en poscosecha (Fajola, 1979) y está asociado a la pudrición del racimo de uvas (Leong *et al*., 2004), sin embargo, a la fecha no existen reportes sobre su afectación en árboles de cítricos. La incidencia de *A. aculeatus* en las muestras analizadas (6/28) podría indicar la asociación de este fitopatógeno con *L. theobromae* para un efecto sinérgico sobre la enfermedad de muerte descendente en los cítricos. Finalmente, con relación a los microorganismos *Aschersonia* sp. y *Trichoderma* sp. éstos no son fitopatógenos, sino que parasitan a insectos y a otros microorganismos por lo que comúnmente son aislados para enfoques de control biológico de plagas y enfermedades (Ferreira *et al*., 2020; Wang *et al*., 2013).

Conclusiones

La enfermedad de muerte descendente en cítricos del estado de Colima presentó síntomas de ramas secas en campo y es ocasionada principalmente por *Lasiodiplodia theobromae*. Otros hongos que se identificaron por morfología y/o secuenciación de regiones ITS fueron *Aspergillus aculeatus*, *Fusarium equiseti*, *Aschersonia* sp. y *Trichoderma* sp., por lo que es probable que la enfermedad sea causada por un complejo con alguno de estos hongos.

Literatura Citada

Alan, M.S., Begum, M.F., Sarkar, M.R., Islam, M.R., Alam, M.S., 2001. Effect of temperature, light and media on growth, sporulation, formation of pigments and pycnidia of Botryodiplodia theobromae. Pak. J. Biol. Sci. 4, 1224–1227.

Derrick KS, Timmer LW. 2000. Citrus Blight and other diseases of recalcitrant etiology. Annual Review of Phytopathology 38: 181–205.

Dwiastuti, M.E. y Aji, T.G. 2021. Citrus stem rot disease (*Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. and Maubl) problem and their control strategy in Indonesia.

Faber B, Bean T, Daugovish O, Soto J D and Howell A 2016 C Citrus Res. Technol. 37 94–7.

Fajola A. O. 1979. The post-harvest fruit rots of tomato (*Lycopersicum esculentum*) in Nigeria', Nahrung 23, 105–109.

Ferreira, F. V., Hermann-Andrade, A. M., Calabrese, C. D., Bello, F., Vázquez, D. y Musumeci, M. A. 2020. Effectiveness of *Trichoderma* strains isolated from the rhizosphere of citrus tree to control *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Penicillium digitatum* A21 resistant to pyrimethanil in post-harvest oranges (*Citrus sinensis* L. (Osbeck)).

Flores-Hernández, H., Flores-García, J., Varela Fuentes, S. E., Pérez-Rodríguez, A., Azuara-Domínguez, A. y Monteon-Ojeda, A. 2021. Report of *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon and Maubl. in citrus trees in Tamaulipas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 12(3): 499-511.

Herrera-Parra E, Cristóbal-Alejo J, Martínez-Bolaños M, Hernández-Arenas M, López-Guillén G. 2017. First record of *Fusarium solani* and F. equiseti in plantations of *Jatropha curcas* in Mexico. Revista Mexicana de Fitopatología 35: 150-161.

Leong S L, Hocking A. D. and Pitt J I (2004), Occurrence of fruit rot fungi (Aspergillus section Nigri) on some drying varieties of irrigated grapes, Aust J Grape Wine Res 10, 83–88.

Menge JA. 1988. Dry root rot. In: Whiteside JO, Garnsey SM, Timmer LW (eds), Compendium of Citrus diseases: 14–15. APS Press, USA.

Netto MSB, Assuncao IP, Lima GSA, Marques MW, Lima WG, Monteiro JHA, de Queiroz BV, Michereff SJ, Phillips AJL and Camara MPS. 2014. Species of *Lasiodiplodia* associated with papaya stem-end rot in Brazil. Fungal diversity 67(1): 1-15.

Phillips AJL, Alves A, Abdollahzadeh J, Slippers B, Wingfield MJ, Groenewald JZ and Crous PW. 2013. The Botryosphaeriaceae: genera and species known from culture. Studies in Mycology 76: 51-167.

Picos MPA, García ERS, León FJ, Sañudo BA, Allende MR. 2015. Lasiodiplodia theobromae en cultivos agrícolas de México: taxonomía, hospedantes, diversidad y control. Revista Mexicana de Fitopatología 33(1): 54-74. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000100054

Pitt J and Hocking A. 2009. Fungi and Food Spoilage. 3 ed. Springer. pp 125-127.

QIAGEN CLC Main Workbench 8.1. QIAGEN, Aarhus, Denmark. https://digitalinsights.qiagen.com/

Romero-Arenas, O., Martínez-Salgado, S. J., Rivera-Tapia, Huerta-Lara, M., Laug-García, B. y Villa-Ruano, N. 2022. First reporto f basal rot caused by Fusarium equiseti in onion crops from Puebla, Mexico. Tropical and Subtropical Agroecosystems 25: 1-7.

Saunt, J., 1990. Citrus varieties of the world. Sinclair International Limited, Norwich.

Sukmawati D y Miarsyah, 2017. Pathogenic activity of *Fusarium equiseti* from plantation of citrus plants (*Citrus nobilis*) in the village Tegal Wangi, Jember Umbulsari, East Java, Indonesia. Asian J Agri and Biol. 5(4): 202-213.

Supriyanto A, Dwiastuti M E, Hardiyanto and Riati R 2003. Diplodia fungal disease (Botryodiplodia theobromae Pat.) in citrus Lokakarya Penelitian Tanaman Jeruk dan Hortikultura Subtropik pp 143–7.

Vásquez-LA, Mora AJA, Cárdenas SE y Téliz OD. 2009. Etiología e histopatología de la muerte descendente de árboles de mamey (Pouteria sapota (Jacq.) H. E. Moore y Stearn) en el estado de Guerrero, México. Agrociencia 43(7): 717-728. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30215548006

White TJ, Bruns T, Lee S and Taylor J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics 315-322 p. In: MA Innis, DH Gelfand, JJ Sninsky and TJ White (ed.). PCR protocols: A guide to methods and applications. Academic Press, Inc. pp 482. https://www.researchgate.net/publication/223397588

Zhang, J., Swingle, P., 2005. Effects of curing on green mold and stem-end rot of citrus fruit and its potential application under Florida packing system. Plan Dis. 89, 834–840.

MANEJO DE RESIDUOS DE COSECHA EN CAMAS ANCHAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES

Aurelio Báez Pérez[1*], Agustín Limón Ortega[2] y Bertha Patricia Zamora Morales[3]

Resumen

Se evaluó la producción de las rotaciones de cultivo trigo-maíz y trigo-sorgo, con disposición de riego, con diversas prácticas de manejo agronómico en camas anchas (1.6 m), para mostrar el potencial de producción de estos cereales con prácticas de agricultura de conservación con todos los residuos de cosecha distribuidos en forma de mantillo en la superficie del suelo. Previo al establecimiento del ensayo, se cultivó maíz en primavera-verano de 2020 para producir los residuos de cosecha necesarios para el experimento, después de remarcar las camas de siembra, los rastrojos se acordonaron al centro de éstas, mediante el implemento conocido como rastrillo colocándolo en forma de "V", para descubrir las orillas de las camas y asegurar que la semilla quedara enterrada por la sembradora al momento de la siembra y primera fertilización. Después de la implementación de las prácticas de agricultura de conservación se inició la evaluación con trigo en otoño-invierno 2020-2021, es decir, con manejo de residuos de cosecha de maíz en la superficie del suelo. Se establecieron los siguientes tratamientos: (1) Rotación trigo-maíz en camas anchas con prácticas de labranza; (2) Rotación trigo-maíz en camas anchas con incorporación de residuos de cosecha; (3) Rotación trigo-maíz en camas anchas con prácticas de agricultura de conservación, (4) Rotación trigo-sorgo en camas anchas con prácticas de agricultura de conservación. La producción de trigo fluctuó entre 7 y 7.9 t ha^{-1}, el tratamiento con incorporación de residuos de cosecha (2) fue el que tuvo la mayor producción. La producción de maíz fluctuó entre 15 y 18.9 t ha^{-1}, el tratamiento con agricultura de conservación (3) tuvo la mayor producción. El sorgo (4)

[1]INIFAP, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato (baez.aurelio@inifap.gob.mx)
[2]INIFAP Campo Experimental del Valle de México, Texcoco, Estado de México.
[3]INIFAP, CENID-COMEF, CDMX.

alcanzó 11.1 t ha^{-1}. El tratamiento de conservación (2) sumó la mayor producción de grano, lo que demuestra las bondades de las prácticas de agricultura de conservación.

Palabras clave: agricultura de conservación, labranza mínima

Introducción

El sistema de producción agrícola con labores convencionales para la producción de cereales en las zonas con disponibilidad de riego en el Bajío, se caracteriza por ser intensivo: excesivas labores de labranza en el terreno de cultivo, alto consumo se insumos agrícolas y dos ciclos de cultivo por año (Báez-Pérez *et al*, 2012). Los costos de producción son elevados (Guzmán-Soria *et al*., 2014), la rentabilidad es limitada y el deterioro la fertilidad de suelos es muy marcada. Con base en esta problemática es necesario implementar prácticas de manejo agronómico que permitan hacer un uso más eficiente del suelo, agua de riego y los fertilizantes químicos. El sistema de siembra en camas permanentes para la producción de cereales con prácticas de agricultura de conservación, por una parte, minimiza las labores de labranza, y por otra, los residuos de cosecha distribuidos uniformemente en la superficie del suelo permiten incrementar, a mediano plazo las reservas orgánicas, además de mejorar las características físicas de la capa superficial de suelo (Govaerts *et al*., 2005). Por ello el sistema de siembra en camas permanentes con prácticas de agricultura de conservación para la producción de cereales, es una alternativa para reemplazar los sistemas de producción agrícola con manejo convencional (Saldivia-Tejeda *et al*. 2021). Esta propuesta se fundamenta en la necesidad de reducir costos de producción de los sistemas tradicionales, mejorar la fertilidad de los suelos y aumentar la producción y rentabilidad agrícola.

El sistema de siembra en camas permanente con labranza reducida se considera como una modalidad en la implementación de las prácticas de agricultura de conservación. Su aplicación contribuye con un ahorro en los costos de producción de alrededor de 30% (Limón-Ortega y Rodríguez-García, 2010), comparado con el sistema de producción convencional. La reducción drástica en las labores de labranza, sólo movimiento mínimo del suelo entre las camas para remarcarlas, permite cambiar paulatinamente la estructura de la capa superficial

del suelo, favoreciendo con ello la permeabilidad y aireación, por lo tanto, el desarrollo y productividad de los cultivos. La implementación de camas permanentes también facilita la conducción del agua de riego, el control de malezas y limita el paso excesivo del tractor en el terreno de cultivo. El propósito del presente estudio es mostrar el potencial de producción de cereales con prácticas de agricultura de conservación con todos los residuos de cosecha distribuidos en forma de mantillo en la superficie del suelo.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Villagrán, Guanajuato en el Parque Agrotecnológico Xonotli, el cual se ubica en las siguientes coordenadas geográficas: 20.552450, -101.077054. Se encuentra a una altitud de 1730 m. El clima es semicálido subhúmedo, con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 19°C y la precipitación pluvial promedio es de 519 mm. El suelo corresponde al tipo Vertisol pélico, con más de 60% de arcilla.

Se establecieron cuatro tratamientos: (1) Rotación trigo-maíz en camas anchas con prácticas de labranza; (2) Rotación trigo-maíz en camas anchas con incorporación de residuos de cosecha; (3) Rotación trigo-maíz en camas anchas con prácticas de agricultura de conservación, (4) Rotación trigo-sorgo en camas anchas con prácticas de agricultura de conservación. La descripción se presenta en el Cuadro 1. El diseño experimental empleado fue bloques al azar con cuatro repeticiones, considerando como factor de bloqueo la pendiente.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos de ensayo de manejo de residuos en camas anchas para la producción de cereales.

Tratamiento	Rotación	Manejo residuos	Tipo labranza
1	trigo-maíz	Retirados	Convencional
2	"	incorporados	"
3	"	Superficie en forma de mantillo	Conservación
4	Trigo-sorgo	“	"

Manejo agronómico

Trigo. Para la implementación de las prácticas de agricultura de conservación se reformaron las parcelas en camas anchas de 1.6 m de ancho. En los tratamientos con prácticas de agricultura de conservación, se trituraron los residuos de cosecha de maíz que se cultivó previo al establecimiento del presente ensayo en primavera-verano de 2020, y se distribuyeron los más uniformemente posible en la superficie del suelo. En los tratamientos con manejo convencional se efectuaron todas labores de labranza correspondientes (barbecho, rastra, surcado, aporque) y en el tratamiento testigo (1) se retiraron los residuos de cosecha, mientras en el tratamiento 2 se incorporaron al suelo todos los rastrojos mediante el barbecho. Se sembró trigo variedad Cortázar en otoño-invierno 2020-2021 el 15 de diciembre de 2021. En la fertilización se aplicaron a la siembra 500 kg ha^{-1} de sulfato de amonio, 100 kg ha^{-1} de DAP, 50 kg ha^{-1} de cloruro de potasio y 50 kg ha^{-1} de Urea. Lo anterior equivale una aplicación de N-P-K de 140-21-30. En la segunda fertilización se aplicaron 250 kg ha^{-1} de urea y 200 ha^{-1} de sulfato de amonio, lo cual equivale a 160 unidades de nitrógeno por hectárea. El total de aplicación de N-P-K en el cultivo de trigo fue de 300-21-30. Aunado a lo anterior se aplicaron 2 L ha^{-1} de Bayfolan forte, como fertilizante foliar y 1 kg ha^{-1} de fertilizantes foliar, disuelto en agua, denominado “foliar 20-30 -10”.



Figura 1. Acondicionamiento y emergencia de plantas de trigo sobre residuos de maíz sobre camas anchas permanentes (1.6 m). Parque Agrotecnológico Xonotli. Villagrán, Guanajuato.

Maíz y sorgo. En primavera-verano de 2021, posterior a la cosecha del trigo, se efectuaron las labores correspondientes en el acondicionamiento de residuos de cosecha en la superficie del suelo en los tratamientos con prácticas de agricultura de conservación y se remarcado de camas anchas (1.6 m). Los tratamientos con agricultura convencional se acondicionaron de la

misma manera que se hizo en el ciclo de cultivo anterior y se reformaron las camas anchas (1.6 m) se sembró el 15 de mayo de 2021 la siembra de maíz en dos hileras, variedad Antílope, de Asgrow y sorgo, también a doble hilera variedad cobalto (Figura 1) Se aplicó una dosis de fertilización para ambos cultivos fue de de 300-60-00 de N-P-K. Las fuentes de fertilización fueron urea y superfosfato de calcio triple. El nitrógeno se aplicó la mitad durante la siembra y la otra mitad 35 días después de la siembra.



Figura 2. Figura 1. Evaluación de maíz y sorgo sobre camas anchas permanentes (1.6 m). Rotación cereal-cereal. Parque Agrotecnológico Xonotli, Villagrán, Guanajuato.

Manejo de los residuos de cosecha

Para un adecuado manejo del total de los residuos de cosecha en la superficie del suelo en sistemas de producción en camas permanentes, después de la labor de desvare, es necesario reformar las camas mediante un paso con cincel o arado de vertedera entre las camas. Posteriormente el rastrojo se acordona sobre las camas permanentes con un rastrillo especializado en forma de “V”. Los residuos de cosecha quedan conglomerados en el centro de la cama, y las orillas de la cama quedan descubiertas rastrojo. De este modo, al pasar la sembradora especializada para siembra directa no tiene dificultad para enterrar adecuadamente la semilla en el suelo. El rastrojo aglutinado al centro de la cama, al pasar del tiempo se acomoda paulatinamente más o menos de manera homogénea en el terreno (Figuras 3). Los cultivos muestran un óptimo desarrollo a lo largo del ciclo de cultivo. Se ha observado, durante tres ciclos continuos de cultivo, con prácticas de agricultura de conservación, que persisten una porción de residuos de maíz de dos ciclos anteriores. El rastrojo sobre la superficie del suelo en camas permanentes induce a la conservación de la

humedad en el suelo y a mejorar las características físicas del mismo. La condición del suelo con camas permanentes, pero con prácticas de agricultura convencional contrasta con la implementación de las prácticas de agricultura de conservación, como se observa en la Figura 3. El suelo desnudo se agrieta, cuando se trata un suelo del tipo *Vertisol*, ello implica que no conserva humedad y la superficie del suelo muestra signos de compactación, lo que limita aireación y permeabilidad. A mediano plazo la constante adición de los residuos de coseche en la superficie del suelo necesariamente induce a la acumulación de reservas orgánicas, lo que posibilitaría un mejoramiento de la fertilidad del suelo y, por lo tanto, un ajuste en las dosis de fertilización química, que podría reducir aún más los costos de producción, y por lo tanto aumentar los márgenes de ganancia para el productor.



Figura 3. Condición del suelo con cultivo de maíz sobre camas permanentes sin rastrojo en la superficie del suelo y con rastrojo sobre la superficie del suelo.

Resultados y Discusión

Los componentes de rendimiento de la evaluación de trigo mostraron una población de tallos que fluctúo entre 380 y 477 m^{-2}, una altura de planta que fluctuó entre 54 y 57 cm. No hubo diferencias significativas entre tratamientos en estos parámetros (Cuadro 2). La producción de trigo mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p<0.05$). El rendimiento

más bajo fue de 7.0 t ha^{-1} en el tratamiento testigo con prácticas de agricultura de convencional (1), mientras que el más alto se obtuvo en el tratamiento convencional con incorporación de residuos de cosecha (2), con 7.9 t ha^{-1}. En los tratamientos con implementación de prácticas de agricultura de conservación (3 y 4) la producción fluctuó entre 7.2 y 7.4 t ha^{-1} (Figura 4). Hubo una mayor rentabilidad en estos últimos, porque hubo una inversión menor por concepto de labores de labranza. De manera general, el nivel de producción de trigo estuvo por encima de la producción media estatal, en condiciones de riego, que según estadísticas del SIAP (2021) es de 6.8 t ha^{-1}.

Cuadro 2. Resultados de componentes de rendimiento.

Ciclo otoño-invierno 2020-2021						Ciclo primavera-verano 2021						
T	Número tallos m^{-2}	Altura planta cm	Peso grano	Biomasa aérea	Índice cosecha	Número		Altura		Peso grano	Biomasa aérea	Índice cosecha
			t ha^{-1}			plantas m^{-2}	mazorcas m^{-2}	mazorca m	planta m	t ha^{-1}		
1	386b	55a	7.0b	12.2b	0.57a	10.4a	10.3a	1.6a	2.9a	15.0b	31.0b	0.48a
2	391b	54a	7.9a	14.3a	0.55a	10.8a	11.0a	1.5a	2.8a	17.3ab	36.1b	0.48a
3	447a	55a	7.2b	14.1a	0.51a	11.0a	11.1a	1.5a	2.8a	18.9a	39.3a	0.48a
4	380b	57a	7.4b	13.9a	0.53a	-	-	-	1.6b	11.1c	23.4c	0.48a

En el ensayo de maíz la población de plantas fluctuó entre 10.4 y 11 plantas m^{-2}, es decir, entre 104, 000 y 110, 000 plantas ha^{-1}. En el cultivo de sorgo se estimó una población de tallos de alrededor de 120, 000 por hectárea. La población de maíz fue elevada, considerando que el propósito del cultivo es para producción de grano. La altura de planta en maíz fluctuó entre 2.8 y 2.9 m, mientras que en sorgo fue de 1.6 m. La producción más alta alcanzó 18.9 t ha^{-1} en el tratamiento 3, que correspondió a la rotación trigo-maíz con todos los residuos de cosecha en la superficie del suelo, mientras que la producción más baja se obtuvo en el tratamiento testigo (1) con rotación trigo-maíz y manejo convencional, donde se alcanzaron 15 t ha^{-1}. Estos rendimientos en realidad son altos, comparado con la producción media estatal con disponibilidad de riego, que es de 9 t ha^{-1} (SIAP, 2021); sin embargo, en el tratamiento con prácticas de agricultura de conservación se observó un mayor potencial de producción y mayor rentabilidad, por el ahorro en el costo de labores de labranza. Por otra parte, la producción de sorgo alcanzó 11 t ha^{-1} que, si bien es inferior al maíz, el costo de producción también es menor.

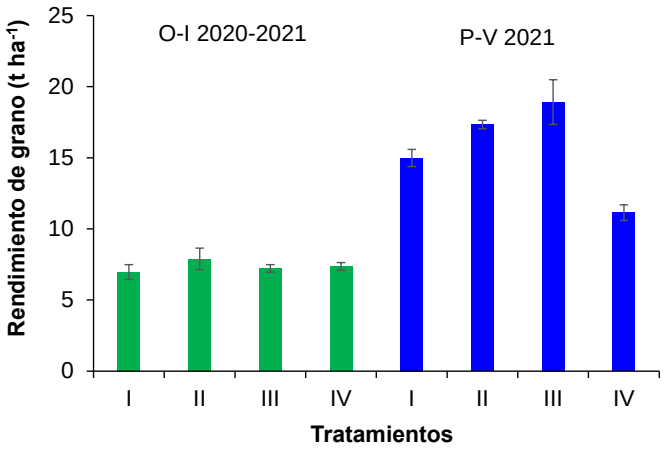


Figura 4. Producción de cereales en camas anchas con prácticas de agricultura de conservación en Parque Agrotecnológico Xonotli.

Conclusiones

La rotación trigo-maíz tuvo el mayor potencial de producción en camas anchas con implementación de prácticas de agricultura de conservación, con una producción mediana de trigo de 7.2 t ha^{-1} cerca de 19 t ha^{-1} de maíz, lo que constituyó también una mayor rentabilidad, por el ahorro en el costo de labores de labranza. El manejo de los residuos de cosecha en camas anchas con el acordonamiento de los residuos de cosecha en el centro de las camas facilita significativamente la labor y éxito de la siembra en este sistema de cultivo.

Agradecimientos

Al programa MASAGRO y al INIFAP, por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo. Al parque Agrotecnológico Xonotli, por las facilidades otorgadas para realización de las evaluaciones.

Literatura Citada

Báez-Pérez, A., J. M. Arreola-Tostado, B. Triomphe, A. Bautista-Cruz y P. J. Licea-Morales. 2012. Implementación de la siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8: 1509-1519.

Govaerts, B., Sayre, K.D., Deckers, J. 2005. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting?. Field Crops Res. 94, 33–42.

Guzmán-Soria, E., M.T. de la Garza-Carranza, J. P. González-Farías, y J. Hernández. Martínez. 2014. Análisis de los costos de producción de maíz en la Región Bajío de Guanajuato. Análisis Económico 70:145:156.

Limón-Orterga, A. y M.F. Rodríguez-García. 2010. Ocho años de siembra en camas permanentes; dinámica de rendimiento y enfermedades en trigo. Folleto Técnico No. 40. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental del Valle de México. pp 6.

Saldivia-Tejeda, A., S. Fonteyne, T. Guan, and N. Verhulst. 2021. Permanent Bed Width Has Little Effect on Crop Yield under Rainfed and Irrigated Conditions across Central Mexico. Agriculture 11:1-12. https://doi.org/10.3390/agriculture11100930.

SIAP. 2021. Estadísticas del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/siap. Fecha de consulta: 20/07/2022.

ESTABLECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN PLANTACIONES DE LIMÓN PERSA

Javier Francisco Enríquez Quiroz[1*], Cristian Matilde Hernández[2] y Valentín Alberto Esqueda Esquivel[3]

Resumen

Las plantaciones de cítricos tienen un esquema de manejo que utiliza extensivamente productos químicos, principalmente fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas, los cuales, si no se aplican adecuada y racionalmente, pueden afectar la salud de las personas que los aplican y ocasionar contaminación al medio ambiente. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el establecimiento de leguminosas de cobertura para determinar su capacidad en la supresión de malezas en una huerta de limón persa. El estudio se realizó de septiembre a diciembre de 2021, en una huerta de limón persa, en el municipio de Martínez de la Torre, Ver. Se evaluaron siete especies de leguminosas y tres combinaciones de éstas y como testigos: tratamiento con el herbicida glifosato, rastreo del terreno y testigo enhierbado. Se utilizó un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados de cobertura aérea indican que hubo diferencias ($p<0.05$) entre tratamientos, en donde las especies de leguminosas de ciclo anual más sobresalientes fueron: mucuna (*Mucuna pruriens*) *dolichos (Lablab purpureus*), solas y en asociación (dolichos + mucuna) tuvieron 100% de cobertura a los 78 días después de siembra (DDS), mientras que centro (*Centrosema molle*) y clitoria (*Clitoria ternatea*) tuvieron 96 y 94% de cobertura, respectivamente. La producción de biomasa de las leguminosas fue diferente entre tratamientos ($P<0.05$), siendo dolichos superior y diferente al resto de los tratamientos, siguiéndole muy de cerca los tratamientos: dolichos + mucuna, clitoria y mucuna, con valores superiores a los 1,850 kg/ha de materia seca (MS), a los 78 DDS. La producción de biomasa de maleza fue diferente ($P<0.05$) entre tratamientos; el testigo enhierbado tuvo una producción de 5,426 kg/ha de MS, y muy de cerca el tratamiento con glifosato y el rastreo;

[1] Campo Experimental La Posta. CIRGOC. INIFAP. *enriquez.javier@inifap.gob.mx
[2] Campo Experimental Ixtacuaco. CIRGOC. INIFAP.
[3] Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP.

a su vez, las leguminosas no permitieron la acumulación excesiva de MS de maleza, en su mayoría con cantidades menores a los 500 kg/ha, con excepción arachis (*Arachis pintoi*) + clitoria y el coctel de leguminosas. Se concluye que *Mucuna pruriens y Lablab purpureus*, solas y en asociación, fueron las mejores especies por su velocidad de crecimiento, capacidad de cobertura del suelo y producción de biomasa, que no permitieron la aparición de maleza.

Palabras clave: cítricos, malezas, *Mucuna pruriens*, *Lablab purpureus*

Introducción

México es el segundo productor de limón en el mundo; en el país, este cultivo cuenta con una superficie de más de 205 mil hectáreas establecidas en 28 estados, entre los cuales, el estado de Veracruz destaca por ser uno de los principales productores (SIAP, 2020).

En las regiones productoras de cítricos, más del 95% de los productores utilizan el herbicida no selectivo glifosato para el control de malezas, ya que es un producto con actividad eficiente contra malezas anuales y perennes, en comparación con los herbicidas paraquat y glufosinato, que solamente tienen efecto en malezas anuales. El paraquat generalmente es más barato o tiene igual precio que el glifosato, mientras que glufosinato cuesta aproximadamente el doble. El glifosato se utiliza de tres a cuatro veces por año (Pérez-López *et al.,* 2014) en dosis de 3 a 6 litros de producto comercial por hectárea, lo cual, además de producir contaminación ambiental, ha originado la aparición de biotipos de maleza con resistencia (Heap, 2022).

Debido a lo anterior, es necesario diseñar prácticas que optimicen el uso y conservación del suelo y el medio ambiente en plantaciones jóvenes y adultas, por lo que los cultivos de cobertura de leguminosas son una alternativa viable, ya que evitan el agotamiento de la fertilidad y reducen la incidencia de malezas. Un cultivo de cobertura es definido como “una cobertura vegetal viva que cubre el suelo de forma temporal o permanente, el cual está cultivado en asociación con otras plantas intercalado en relevo o en rotación”. Los cultivos de cobertura se caracterizan por sus funciones más amplias y multipropósitos, las cuales incluyen la supresión de malezas, conservación de suelo y agua, control de plagas y enfermedades y alimentación humana y animal (Pound, 1999).

Las plantas de cobertera pueden pertenecer a cualquier familia de plantas, aunque generalmente se prefieren las leguminosas, debido a los beneficios que aportan en algunos cultivos arbóreos como los cítricos, en los cuales se tiene un estrato herbáceo entre los árboles, que es necesario controlar mediante prácticas agrícolas con chapeos manuales o mecánicos, o bien con la aplicación de productos químicos. Entre sus beneficios se señalan: aportación de materia orgánica, fijación de nitrógeno al suelo, protección de la erosión, y eventualmente alimentación animal, producción de semilla, disminución del daño por ácaros en los frutos de naranja, además de disminuir el impacto negativo sobre el ambiente por el uso de herbicidas (Pound, 1999; Sandoval y Cortés, 2004). La cobertura del suelo por las leguminosas es una variable importante en el desarrollo de esta investigación, ya que se requiere que la especie o variedad de leguminosa, cubra el suelo lo más rápido posible e impedir la proliferación de maleza, que implique la necesidad de utilizar herbicidas para su control.

En huertas de cítricos del norte de Veracruz, se ha incrementado el uso de leguminosas de cobertura, con la finalidad de reducir los costos del cultivo por control de maleza y fertilización (Sandoval y Cortés, 2004), Por lo anterior. el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del establecimiento de leguminosas de cobertura como una alternativa para evitar la utilización de herbicidas en plantaciones de cítricos.

Materiales y Métodos

En septiembre de 2021 se estableció un experimento en un lote de limón persa de la finca Lomas de Arena, situada en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, México, a los 20°10’01” de latitud Norte, y 97°06’20” de longitud Oeste y altitud de 103 m. Las condiciones climáticas de la región son: clima cálido-húmedo con 24°C de temperatura media y 1,980 mm de lluvia anual, sin estación seca definida.

El suelo donde se desarrolla este cultivo se clasifica como franco, con pH de 6.40 (moderadamente ácido); con contenidos bajos de salinidad y de carbonatos totales. Su contenido de materia orgánica es moderadamente bajo con 2.82%; su contenido de fósforo de 20.1 ppm se considera mediano, y el de potasio es de 358 ppm, como moderadamente alto. El experimento se estableció en un lote heterogéneo, es decir, con árboles de 1 a 15 años,

que se substituyen conforme presentan síntomas de enfermedades o muerte, lo cual es representativo de la zona; los árboles se podan frecuentemente y las alturas que alcanzan en promedio son de 1.7 a 2.20 m; la distancia entre árboles es de 3 a 4 m y entre callejones de 6 a 7 m.

Los tratamientos en evaluación se presentan en el Cuadro 1; éstos incluyen siete especies de leguminosas y cuatro tratamientos corresponden a la siembra de diferentes combinaciones de leguminosas, además del rastreo, el herbicida glifosato y el testigo enhierbado.

Preparación del terreno. La preparación del terreno se realizó mediante varios pasos de rastra de la franja central, con la finalidad de eliminar la cobertura vegetal que tenía la plantación, para tener una cama de siembra adecuada para la siembra de la semilla.

Siembra. El 30 de septiembre se realizó la siembra de las leguminosas, para lo cual se utilizó la parte central del callejón, con una superficie de 4 x 32 m de fondo del bloque; la siembra se hizo a una distancia entre surcos de 50 cm y de 30 a 70 cm entre puntos de siembra entre plantas, dependiendo de la cantidad de semilla a distribuir; es decir, la semilla grande de mucuna o dolichos se sembró más espaciada por el tamaño y número de semillas a distribuir. Los tratamientos en combinación se sembraron de igual forma, con excepción del coctel, que incluyó todas las leguminosas, las cuales se sembraron al voleo.

Registro de datos experimentales. Durante el establecimiento, que comprende una etapa de 78 días, se registraron las siguientes variables: porcentaje de cobertura aérea del suelo por metro cuadrado, lo cual se realizó al azar en 1 m^2, con cuatro repeticiones en cada bloque o tratamiento; se realizaron cuatro muestreos cada 14 días y el ultimo a los 78 días después de la siembra (DDS). Una vez que las plantas cumplieron un periodo de establecimiento de 78 días, se determinaron la producción de biomasa y la tasa de crecimiento; dichas mediciones se realizaron en un marco de 1 m^2. La biomasa se pesó y se separó en los componentes: leguminosa y malezas; también se tomó una submuestra de 300 g, la cual se secó a 55°C en una estufa de aire forzado hasta peso constante, para determinar el porcentaje de materia seca, siguiendo la metodología indicada por Toledo y Schulze-Kraft (1982). Los resultados se analizaron en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey.

Resultados y Discusión

Cobertura del suelo por leguminosas en plantaciones de Limón persa. La cobertura del suelo por parte de las leguminosas se incrementó a través del tiempo de desarrollo, hasta alcanzar un 100% de cobertura con algunas especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cobertura aérea de especies leguminosas (%) a diferentes edades de crecimiento, en plantaciones de limón persa, en Martínez de la Torre, Veracruz.

Tratamiento	Días después de siembra				
Cultivar / Mezcla	14	28	42	56	78
Kudzú + centro + soya perenne	2 c	10 cd	21 cdef	24 cde	78 ab
Neonotonia wightii (soya perenne)	1 c	6 d	9 ef	24 cde	63 bc
Dolichos + mucuna	19 a	37 ab	53 ab	98 a	100 a
Pueraria phaseoloides (kudzú)	1 c	7 d	9 ef	26 cde	49 c
Coctel (todas las leguminosas)	9 bc	14 cd	29 cd	36 cd	80 ab
Mucuna pruriens (mucuna o picapica mansa)	16 ab	23 bc	35bc	67 b	100 a
Lablab purpureus (dolichos)	18 a	43 a	70 a	95 a	100 a
Clitoria ternatea (clitoria)	6 c	7 d	22 cdef	41 c	94 a
Arachis pintoi (cacahuatillo)	3 c	3 d	6 f	14 e	21 c
Centrosema molle (centro)	2 c	11 cd	28 cde	36 de	96 a
Cacahuatillo + clitoria	1.3 c	3 d	14 def	18 de	64 bc

Letras diferentes entre columnas indican diferencias entre tratamientos Tukey ($P<0.05$).

Dolichos, mucuna y dolichos + mucuna tuvieron 100% de cobertura a los 78 DDS, mientras que centro y clitoria tuvieron 96 y 94% de cobertura, respectivamente, todas éstas fueron estadísticamente diferentes ($P<0.05$) al resto de los tratamientos. Las demás especies y combinaciones mostraron valores de cobertura inferiores, indicando que requieren de mayor tiempo de desarrollo para alcanzar el 100% de cobertura, ya que tienen que competir con las malezas presentes en el suelo, o se debe apoyar su desarrollo con la aplicación de herbicidas selectivos o deshierbes manuales. Sandoval y Díaz (1998), indicaron que a los 180 días después de la siembra, obtuvieron coberturas del suelo de 95% con mucuna, situación similar a lo encontrado en este estudio a los 78 DDS. También, Pérez-Jiménez *et al*., 1996, señalaron registros de coberturas variables a lo largo de 12 semanas después de la siembra, con valores del 94% a las tres semanas y de 58% a las 12 semanas después de la siembra, dichas

variaciones se debieron a que estas variables se tomaron en la época de bajas temperaturas. Sin embargo, estos autores indican que *Arachis pintoi*, registró 100% de cobertura y *Neonotonia wigthii* fue la de menor cobertura con 37%, debido a su mala adaptación a suelos ácidos; estos resultados son diferentes a los encontrados en este estudio, debido posiblemente a la época de evaluación y condiciones de suelo de los sitios de estudio.

Producción de materia seca. A los 78 DDS, se realizó un muestreo para determinar la biomasa presente o aportada por los tratamientos en estudio. Los resultados se presentan en el Cuadro 2, en donde se puede observar la cantidad de biomasa, tanto de leguminosas como de malezas, así como sus respectivas tasas de crecimiento. La producción de biomasa en las leguminosas fue diferente entre tratamientos ($P<0.05$), en donde dolichos fue superior y diferente al resto de los tratamientos, siguiéndole muy de cerca los tratamientos: dolichos + mucuna, clitoria y mucuna, con valores superiores a los 1,850 kg/ha de materia seca.

Cuadro 2. Producción de materia seca y tasa de crecimiento de leguminosas y malezas en plantaciones de limón persa a los 78 días después de siembra.

Tratamiento	Materia seca (kg/ha)		Tasa de crecimiento (kg/ha/día)	
Cultivar /mezcla	Leguminosa	Maleza	Leguminosa	Maleza
Testigo enhierbado	---	5426 a	---	69 a
Glifosato	---	4704 ab	---	61 a
Rastreo	---	3876 b	---	50 a
Kudzú + centro + soya perenne	741 ef	254 c	10 de	6 cd
Neonotonia wightii (soya perenne)	892 def	401 c	12 de	5 c
Dolichos + mucuna	2450 ab	84 c	32ab	1 b
Pueraria phaseoloides (kudzú)	475 f	512 c	6 e	6 b
Coctel (todas las leguminosas)	1593 bcde	944 bc	20 cdef	12 b
Mucuna pruriens (mucuna o picapica mansa)	1853 abcd	362 c	24 acd	5 b
Lablab purpureus (dolichos)	2596 a	100 c	33 a	1 b
Clitoria ternatea (clitoria)	2025 abc	0 c	26 abc	0 b
Arachis pintoi (cacahuatillo)	313 f	221 c	4 e	3 b
Centrosema molle (centro)	1636 abcde	80 c	21 abcd	1 b
Cacahuatillo + clitoria	1152 bcdef	879 c	15 cde	11 b

Letras diferentes entre columnas indican diferencias entre tratamientos Tukey ($p<0.05$).

La biomasa de maleza fue diferente (*P*<0.05) entre tratamientos, destacando la del testigo enhierbado, con una aportación de 5,426 kg/ha de MS, siguiéndole muy de cerca el tratamiento con glifosato y el rastreo, lo cual resalta las ventajas de las leguminosas, ya que el espacio de suelo estuvo ocupado con estas especies, que no permitieron la acumulación de biomasa de maleza, pues en su mayoría solamente se produjeron cantidades menores a 500 kg/ha de MS, con excepción arachis + clitoria y el coctel de leguminosas. Cabe señalar que, por su amplia cobertura del suelo, el tratamiento con clitoria no permitió el desarrollo de la maleza. Sandoval y Cortes (2004) indican que la producción de biomasa de soya perenne, mucuna, kudzu y *A. pintoi* en una sola evaluación, produjeron 1148,1039, 784, 177, kg/ha de MS, en una plantación de naranja, resultados que muestran la variabilidad en la producción de MS de las diferentes especies de leguminosas, con valores diferentes que coinciden con los encontrados en este estudio. También Pérez-Jiménez *et al.* (1996) indicaron que las leguminosas *A. pintoi* CIAT17434, *P. phaseoloides* CIAT 9900 y *Stizolobium deeringianum* var. Jarocha se establecieron más rápidamente, contribuyeron con mayor cantidad de materia orgánica al suelo y favorecieron la mayor cosecha de frutos de naranja.

Tasa de crecimiento. Esta variable solamente es una representación de la información, que indica la velocidad de crecimiento de las especies en evaluación. Las plantas que produjeron mayor cantidad de materia seca son las que tienen mayores tasas de crecimiento. Las mayores tasas de crecimiento para las leguminosas las tuvo mucuna (*p*<0.05) con 33 kg/ha/MS/día, y fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos. A su vez, la tasa de crecimiento de maleza fue similar para los tratamientos: testigo enhierbado, glifosato y rastreo, que fueron similares entre sí, y superiores al resto de los tratamientos, con tasas de crecimiento que fluctuaron entre 50 y 69 kg/ha/MS/día.

Conclusiones

1. Las especies de leguminosas de ciclo anual más sobresalientes fueron: *M. pruriens* y *L. purpureus*, solas y en asociación, por su capacidad de cobertura del suelo y producción de biomasa. 2. Las mejores especies de ciclo perenne fueron: *C. pubescens* y *C. ternatea*, que destacaron por mayor rapidez en cobertura del suelo y producción de biomasa. 3. El

tratamiento con glifosato proporcionó buen control de maleza en los primeros 40 días después de su aplicación.

Literatura Citada

Heap, I. 2021. International Herbicide-Resistant Weed Database. http://weedscience.org/Pages/filter.aspx (consultado el 29 de julio de 2022).

Pérez-Jiménez, S. C., Castillo, E., Escalona, M. A., Valles, B. y Jarillo, J. 1996. Evaluación de *Arachis pintoi* CIAT 17434 como cultivo de cobertura en una plantación de naranja var. Valencia. p. 188-193. *In*: Argel, J. P. y Ramírez, P. A. (eds.). Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Documento de Trabajo No. 159. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

Pérez-López, M., González-Torralva, F., Cruz-Hipólito, H., Santos, F., Domínguez-Valenzuela, J. A. and De Prado, R. 2014. Characterization of glyphosate-resistant tropical sprangletop (*Leptochloa virgata*) and its alternative chemical control in Persian lime orchards in Mexico. Weed Science 62:441-450.

Pound, B. 1999. Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América Latina. p. 97-120. *In*: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de una conferencia electrónica realizada de abril a septiembre de 1988. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.

Sandoval, R. J. A. y Cortés, M. M. F. 2004. Leguminosas de cobertura asociadas a naranjo ´Valencia´ en huertas establecidas en ladera. p. 95-104. *In*: Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico No. 1. INIFAP. CP. ITA No. 18. ITMAR No.1. UACH, UV. Boca del Río, Ver., México.

Sandoval R. J.A. y Díaz Z.U.A. 1998. Manejo de naranjo valencia en terrenos con problemas de erosión y competencia con maleza. p. 167-168. *In:* Decima primera Reunión Científica Tecnológica Veracruz. Serie Memorias Científicas No. 4.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Panorama agroalimentario 2020. Datos de un campo que avanza sin dejar a nadie atrás. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 196 p.

Toledo, J. M. y Schulze-Kraft, R. 1982. Metodología para la evaluación de pastos tropicales. p. 91-110. *In*: Toledo, J. M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

IMPLEMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN DERIVADA DE DRONES EN DISEÑOS EXPERIMENTALES AGRÍCOLAS: MONITOREO DEL CULTIVO DE PIÑA

Casimiro Ordóñez Prado[1*], Rosa Laura Rebolledo García[2], Andrés Rebolledo Martínez[2], María Enriqueta López Vázquez[2], Nain Peralta Antonio[2] y Héctor Daniel Inurreta Aguirre[3]

Resumen

La información proximal derivada de imágenes aéreas tomada con drones, permite evaluar y dar seguimiento temporal y espacial a los cultivos agrícolas. La resolución espacial submétrica alcanzada por esta tecnología permite asociar la información proximal con las condiciones vegetativas de los cultivos. El objetivo fue evaluar el uso de ésta información, a través del Índice de Diferencia Verde-Rojo Normalizado (NGRDI), en un diseño experimental del cultivo de piña MD-2. Se estableció un experimento para inhibir floración, con bloques completos al azar, 23 tratamientos y cuatro repeticiones. Se realizó un vuelo programado con un dron multirrotor equipado con una cámara digital (RGB) de 20 mp, se tomaron 302 fotografías a 65 m de altura, con solape del 75% entre fotografías y líneas de vuelo. Mediante un proceso fotogramétrico del software Pix4Dmapper® se generó una orto imagen georreferenciada. Se realizó la generación y extracción de datos del NGRDI utilizando la herramienta *raster* de R®, un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias por los métodos de diferencia mínima significativa (MDMS), Tukey y Duncan. El valor promedio del NGRDI fue de 0.021 y el más alto de 0.059 obtenidos para los tratamientos de poda al 90% y malla sombra, respectivamente. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos presentando un valor de $p<0.05$, y los cuadrados medios fueron de 0.0044882 y 0.0001041 para tratamientos y residuales, respectivamente. La comparación de medias por MDMS agrupó la información del NGRDI en siete grupos, tres mediante la prueba de Tukey y ocho por

[1] Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, México. *ordonez.casimiro@inifap.gob.mx
[2] INIFAP-CE Cotaxtla, Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín, Veracruz 94283.
[3] INIFAP-CIRCentro. Carret. Celaya San Miguel Allende Km. 6.5 Celaya, Guanajuato, C.P. 38110.

Duncan. Estas comparaciones exponen las diferencias de medias, observada en el verdor, entre tratamientos de poda al 90% y el de malla sombra. Se concluye que la información proximal derivada de las imágenes de drones, presentan potencial para apoyar experimentos agrícolas, completar la información de campo, y fortalecer el análisis estadístico.

Palabras clave: drones, fotogrametría, índices de vegetación

Introducción

La información proximal derivada de sensores remotos permite evaluar, dar seguimiento temporal y espacial a los cultivos agrícolas. Estudios de percepción remota realizados de los años setenta hasta la fecha, han mostrado la capacidad del uso de imágenes satelitales para evaluar el rendimiento de cultivos agrícolas, deficiencias de nutrientes, presencia de plagas, estrés hídrico, presencia y dinámica de la cobertura vegetal entre otras variables (Flores-López y Scott, 2000; Paruelo *et al.,* 2004). El desarrollo tecnológico en sensores remotos, máquinas con mejores capacidades de procesamiento, el desarrollo de softwares y algoritmos de análisis han permitido que este tipo de estudios se realice con mayor frecuencia, obteniendo resultados más confiables. Esto permite desarrollar y planificar programas agrícolas gubernamentales a nivel macro o planificar las actividades agrícolas a nivel local.

Actualmente, los sensores remotos son pequeños, y son montados en drones, permitiendo obtener información geoespacial de alta resolución, sin problemas de nubosidad e independientes de la fecha en que los satélites toman la escena (Berrío *et al.,* 2015). La resolución espacial de centímetros por píxel alcanzada en las imágenes tomadas con drones, permite asociar la información proximal a las condiciones vegetativas de los cultivos agrícolas (Pino, 2019). Este tipo de relaciones ha generado interés, debido a tendencias del manejo de cultivares como agricultura de precisión (Ríos-Hernández, 2021).

La información que se obtiene de las imágenes, como los índices de vegetación (IV), modelo digital del terreno (MDT), modelo digital de superficie pueden ser un complemento importante para la compresión y análisis de efectos en experimentos científicos. Estudios realizados principalmente en el último quinquenio, muestran que con imágenes de drones se puede

determinar de manera precisa la presencia de malezas en cultivos, crecimiento y rendimiento del maíz, deficiencia de nutrimentos en diferentes cultivos (Botello-Aguillón *et al*., 2019; Gordillo, 2018; García-Martínez *et al.*, 2020). Esto anima a investigar la integración de esta tecnología en diseños experimentales agrícolas que aportará herramientas a los investigadores del ramo.

Por otra parte, en el mundo se cosechan alrededor de 28 millones de toneladas de piña en aproximadamente 1 millón de hectáreas (FAO, 2022). Además, del 2017 al 2022 se hicieron más de 90 mil publicaciones científicas relacionadas con este cultivo. Con estos antecedentes el objetivo fue evaluar el uso de la información proximal derivada de las fotografías con drones a través del índice de vegetación verde-rojo (GRVI por sus siglas en inglés) en un diseño experimental de Piña. El supuesto establecido fue que los tratamientos presentaran diferencias en verdor del follaje, el cual está asociado con el GRVI.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Se estableció una parcela de piña MD-2, a mediados de junio del 2021 en la localidad “Los Robles”, del municipio de Medellín, Veracruz. El predio se localiza en las coordenadas geográficas 18°55‘24.4‘’ latitud N -96°7’14.9 ‘’ longitud O.

Diseño experimental

Se instaló un experimento para inhibir la floración de la piña, con cuatro bloques completos al azar; y 23 tratamientos que se describen en el Cuadro 1.

Se diseñó una cuadrícula en Qgis® en formato shape; cada rectángulo fue provisto de información base como el bloque y el código de cada tratamiento (Figura 1). Este archivo vectorial fue utilizado para extraer los valores promedios de GRVI y de altura de la planta.

Cuadro 1. Tratamientos, fecha y número de aplicaciones, de un experimento para inhibir la floración en el cultivo de piña.

Tratamientos			Fecha y dosis de aplicación					
			05/11/22	09/11/22	12/11/22	23/11/22	30/11/22	07/12/22
1								
2				Poda del 30%				
3		AVG (mg/L)	500		500	500	500	500
4		AVG (mg/L)	700					
5		AVG (mg/L)	700		700			
6		CPA (mL/L)	32		32	32	32	
7		AVG (mg/L) /CPA (mL/L)	350/32		350/32			
8	Cubierta plástica	AVG (mg/L)	100		100	100		
9				Malla sombra				
10		AVG (mg/L)	1400					
11						128		
12		CPA (mL/L)	32	Poda del 30%				
13				Poda del 60%				
14				Poda del 90%				
15		AVG (mg/L)	100		100			
16								
17				Poda del 30%				
18		AVG (mg/L)	500		500	500	500	500
19	Suelo desnudo	AVG (mg/L)	700					
20		AVG (mg/L)	700		700			
21		CPA (mL/L)	32		32	32	32	
22		AVG (mg/L) /CPA (mL/L)	350/32		350/32			
23		AVG (mg/L)	100		100	100		

AVG: aviglicine, CPA: Fruitone CPA.

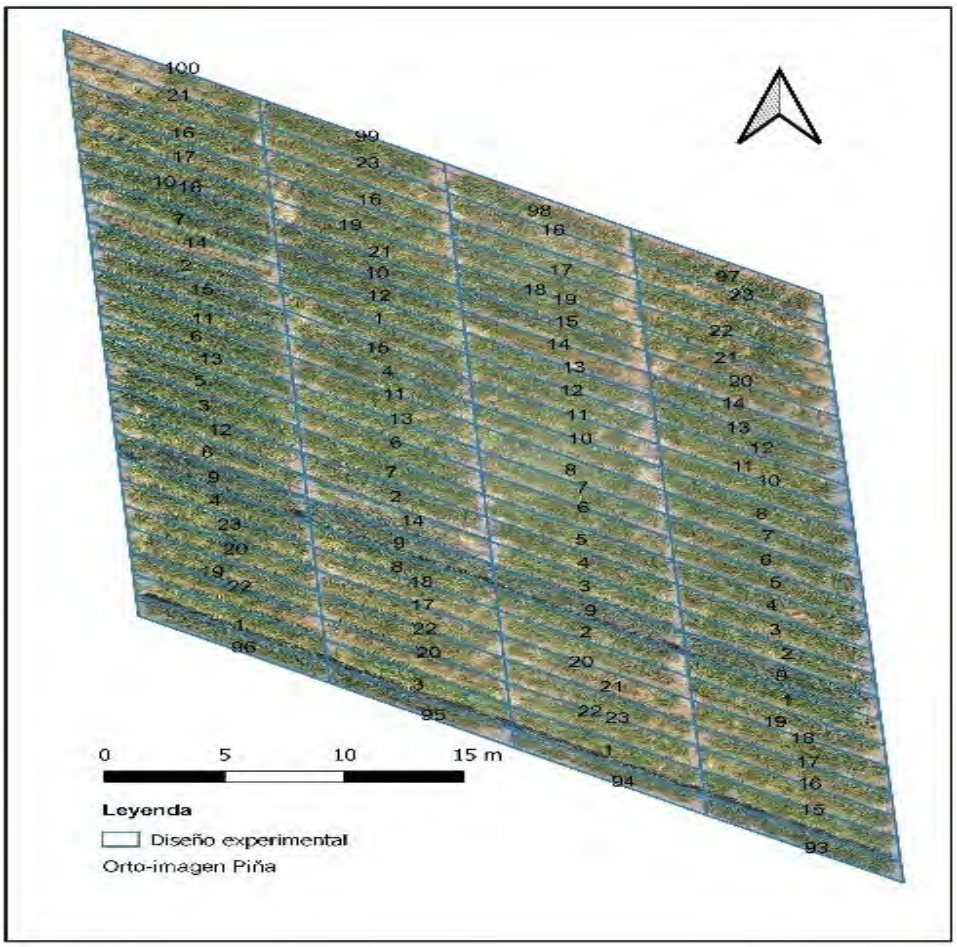


Figura 1. Experimento de inhibición floral en piña MD-2 en Los Robles, Veracruz, México, con la información base empleada para el análisis de los índices de verdor.

El modelo estadístico para este diseño experimental se muestra en la ecuación 1.

$$y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon \qquad \text{ec. 1}$$

Donde: y_{ij} es la variable aleatoria que representa la observación (i)-ésima del bloque (j) ésimo; μ es un efecto constante que mide el nivel promedio de respuesta para todas las unidades; T_i es el efecto producido por el nivel i-ésimo del factor principal o tratamiento, β_j es el efecto producido por el nivel j-ésimo del factor secundario o factor de bloque y ε es el error experimental.

Captura de fotografías aéreas y procesamiento

Mediante un vuelo programado en la aplicación *Pix4Dcapture* se tomaron fotografías aéreas del cultivo de piña. La misión de vuelo fue programada para realizar aun vuelo autónomo de doble *grid* a una altura sobre el terreno de 65 metros, con un solape entre fotografías y líneas

de vuelo de 75%. Para este propósito se utilizó un multirrotor pequeño *Dji* modelo *mavic 2 pro*, equipado con una cámara digital (RGB) de una pulgada con resolución de 20 mega pixeles (mp).

Se obtuvieron 302 fotografías aéreas con una resolución espacial de 1.5 cm por píxel, estas fueron procesadas en el software especializado de fotogrametría Pix4Dmapper® donde se generó una orto imagen georreferenciada, el modelo digital del terreno (MDT) y el modelo digital de superficie (MDS).

Generación de índices de vegetación y extracción de información

Se generó un código en el programa R y su interfaz RStudio® donde con la herramienta *raster* se ingresó la imagen digital del área de estudio en formato TIFF, esta fue descompuesta en las capas rojo, verde y azul (RGB por sus acrónimos en inglés). Una vez obtenidas capas independientes se generó el índice normalizado de diferencia verde-rojo (NGRI por sus siglas en inglés) aplicando la ecuación algebraica $\mathrm{NGRDI} = (\varphi\mathrm{GREEN} - \varphi\,\mathrm{RED}) / (\varphi\mathrm{GREEN} + \varphi\mathrm{RED})$. Posteriormente, se generó un histograma de los valores del NGRDI, logrando observar la distribución normal de la información ráster.

En el mismo código se instruyó para ingresar el vector de tratamientos, con el cual se extrajo el valor promedio del NGRDI de cada tratamiento en cada bloque y se generó una tabla con las variables bloque, tratamiento y NGRDI, esto realizó utilizando la herramienta *raster: extract*. Posteriormente se obtuvieron las estadísticas descriptivas por tratamiento.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza mediante el modelo lineal (lm) y se evaluaron los supuestos del modelo estadístico. La normalidad fue evaluada mediante la prueba de *Shapiro-Wilk* y se generó la gráfica QQ plot, la homogeneidad de varianzas e independencia de los residuos fue evaluada graficando los predichos contra residuos estandarizados y para la homogeneidad de las varianzas se aplicó la Prueba de Bartlett. Finalmente se realizó la comparación múltiple de medias de Tukey, Duncan y MDS.

Resultados y Discusión

Proceso fotogramétrico

Las fotografías aéreas capturadas por sensores RGB montados en pequeños drones mostraron alta capacidad en el mapeo del cultivo de piña. El proceso fotogramétrico mostró una densidad promedio de 4799 puntos clave por imagen, de los cuales 1419 coincidían en el solape entre imágenes y líneas de vuelo, lo que se ve reflejado en una orto imagen de alta calidad. Se obtuvo una orto imagen con una resolución espacial de 1.5 cm por píxel, con un error en la geolocalización para X=0.187±0.060, Y=0.193±0.068 y Z=0.227±0.017 m.

Índice de vegetación

El promedio del NGRDI en los tratamientos analizados se mantuvo entre 0.02 y 0.06, con máximos de 0.08 y mínimos de 0.01, los valores más altos se presentaron en tratamiento de malla sombra y los más bajos en el tratamiento de poda al 90% (Figura 3). Los resultados son consistentes con la literatura que indica que el uso de la malla sombra evita daños por radiación solar (Rebolledo *et al*., 2011) y por lo tanto un incremento en su NGRDI. Por otra parte, la práctica de poda del 90% de las hojas de piña implica una mayor exposición a la radiación solar, esto ocasiona que la planta muestre colores más alejados del verde NGRDI inferiores a los demás tratamientos en donde se usaron otros métodos para inhibir la floración. El análisis de varianza mostro diferencias significativas del NGRDI tanto para bloques como para tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza de los valores del Índice de diferencia verde-rojo normalizado (NGRDI).

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr(>F)	
Bloque	3	0.0021366	0.0021366	20.52	1.83E-05	***
Tratamiento	22	0.0044882	0.0044882	43.106	3.36E-09	***
Residuales	66	0.0092666	0.0001041			

Código de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La Figura 2 muestra la distribución espacial del NGRDI por tratamiento y en la Figura 3, el comportamiento promedio de los valores por pixeles contenidos en cada tratamiento.

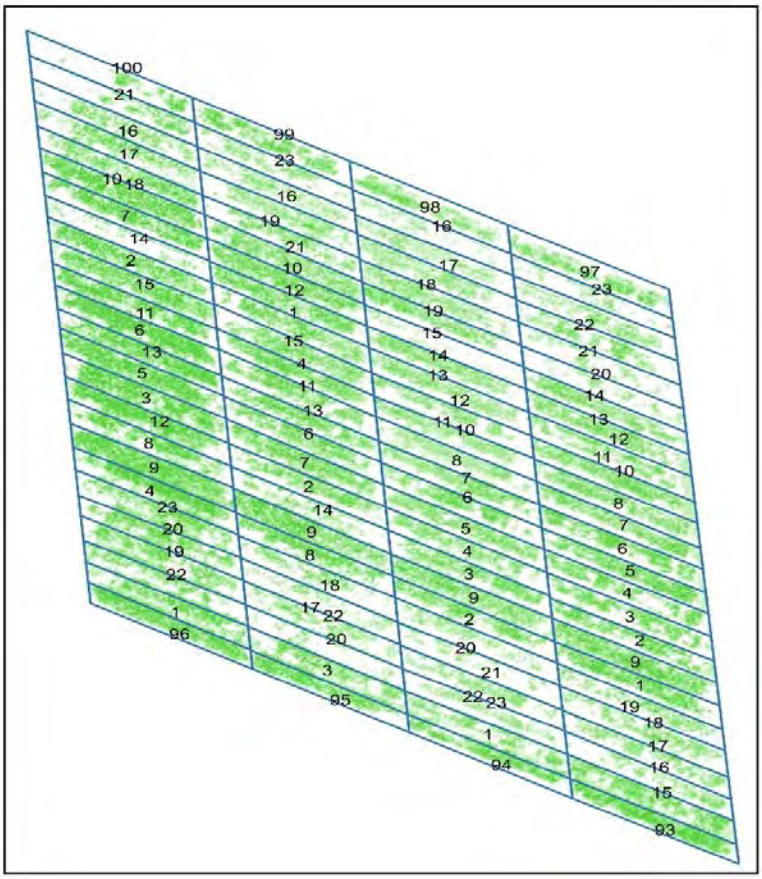


Figura 2. Índice normalizado de diferencia verde-rojo en un experimento de inhibición floral del cultivo de piña en Los Robles, Veracruz, México.

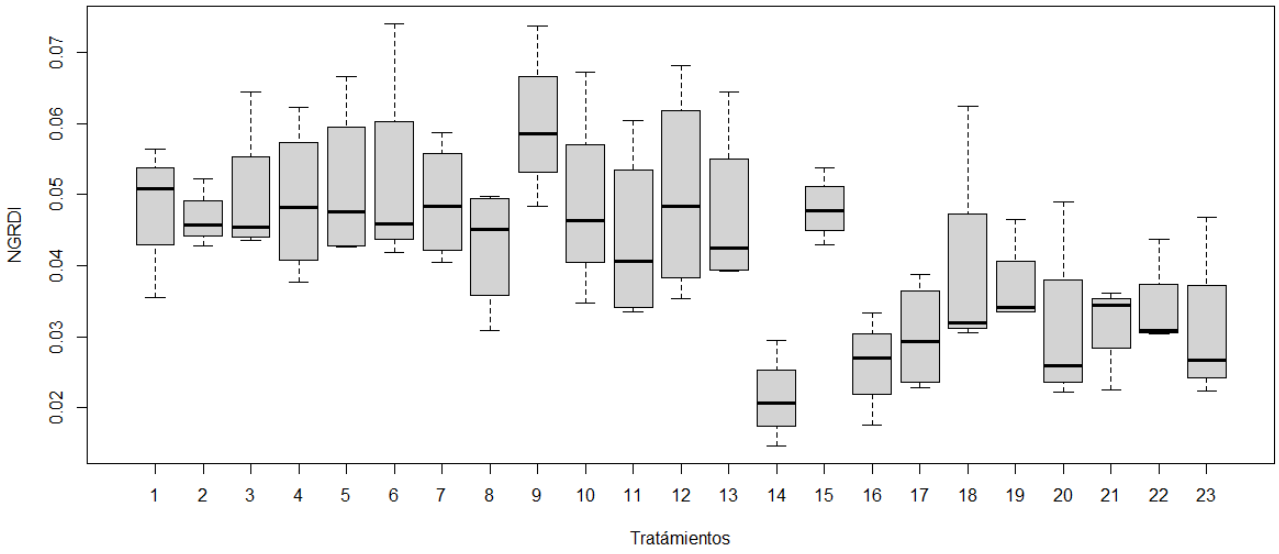


Figura 3. Valores promedios del NGRDI para 23 tratamientos de inhibición floral establecidos en el cultivo de piña.

También se observó que los valores en los tratamientos en donde se usó cubierta plástica al suelo fueron mayores en relación con los obtenidos en los tratamientos a suelo desnudo, a excepción de la poda al 90% (Cuadro 3).

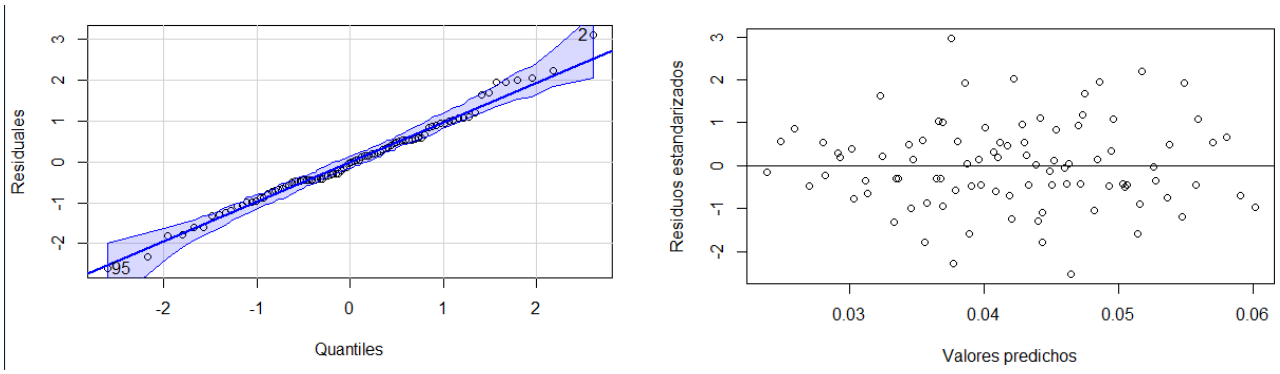
Cuadro 3. Comparación múltiple de medias mediante el método de la diferencia mínima significativa (MDMS), Tukey y Duncan.

Tratamiento		NGRDI	MDMS	Tukey	Duncan
9	Cubierta plástica con malla sombra	0.0598	a	a	a
6	Cubierta plástica. 4 dosis de 32 mL/L de CPA	0.0519	ab	ab	ab
5	Cubierta plástica. 2 dosis de 700 mg/L de AVG	0.0511	abc	ab	abc
12	Cubierta plástica.1 dosis de 32mL/L de CPA y poda al 30%	0.0500	abc	ab	abc
3	Cubierta plástica con 5 dosis de 500 mg/L de AVG	0.0497	abc	ab	abc
4	Cubierta plástica con 1 dosis de 700 mg/L de AVG	0.0490	abc	ab	abcd
7	Cubierta plástica con 2 dosis de 350 mg/L de AVG y 32 mL/L de CPA	0.0489	abc	ab	abcd
10	Cubierta plástica con 1 dosis de 1400 mg/L de AVG	0.0487	abc	ab	abcd
1	Cubierta plástica	0.0483	abc	ab	abcd
15	Cubierta plástica con 2 dosis de 100 mg/L de AVG	0.0480	abcd	abc	abcd
13	Cubierta plástica con poda al 60%	0.0471	abcd	abc	abcde
2	Cubierta plástica. Poda al 30%	0.0466	abcd	abc	abcdef
11	Cubierta plástica. 1 dosis de 128 mL/L de CPA	0.0438	bcde	abc	abcdef
8	Cubierta plástic. 3 dosis de 100 mg/L de AVG	0.0427	bcde	abc	abcdefg
18	Suelo desnudo. 5 dosis de 500 mg/L de AVG	0.0392	bcdef	abc	bcdefg
19	Suelo desnudo. 1 dosis de 700 mg/L de AVG	0.0370	cdef	abc	bcdefgh
22	Suelo desnudo. 2 dosis de 350 mg/L de AVG y 32 mL/L de CPA	0.0339	defg	abc	cdefgh
21	Suelo desnudo con 4 dosis de 32 mL/L de CPA	0.0319	efg	bc	defgh
20	Suelo desnudo con 2 dosis de 700 mg/L de AVG	0.0307	efg	bc	efgh
23	Suelo desnudo con 3 dosis de 100 mg/L de AVG	0.0306	efg	bc	efgh
17	Suelo desnudo con poda al 30%	0.0300	efg	bc	fgh
16	Suelo desnudo	0.0262	fg	bc	gh
14	Cubierta plástica con poda al 90%	0.0213	g	c	h

MDMS: Método de la diferencia mínima significativa. NGRDI: Índice de Diferencia Verde-Rojo Normalizado.

Los residuales del ANOVA generada mediante el modelo de regresión lineal presentaron normalidad de las varianzas con un valor de W=0.9881 y p-valor=0.578, lo que se ratifica mediante las gráficas de QQ-plot (Figura 4a) y de predichos vs residuales (Figura 4b); la prueba de Bartlett mostró homocedasticidad en los residuos.

La diferencia entre tratamientos, indica que el uso de inhibidores de la floración como: reguladores de crecimiento, malla sombra, acolchado plástico, niveles de poda y producción en suelo desnudo, tienen un efecto en color verdoso de las plantas de las plantas de las piñas. Estas diferencias fueron detectadas mediante el NGRDI, lo que, expone el potencial de la información geoespacial de alta resolución obtenida con drones para detectar cambios en el cultivo de piña, que quizás el ojo humano no alcanza a percibir.



a b

Figura 4. Comportamiento de los residuales de un análisis de varianza de un modelo lineal: a) Gráfica de QQ-plot; b) gráfica de residuales normalizados vs predichos.

En cuanto a la comparación de múltiple de medias, el método de diferencia mínima significativa (MDMS) clasificó la media de NGRDI en siete grupos y detecta una clara diferencia entre el tratamiento de malla sombra y el tratamiento de poda al 90%, misma que se mantiene para la comparación de medias por el método de Tukey y de Duncan. La prueba de Tukey es más conservadora y solo clasifica el NGRDI en tres grupos mientras que el método de Duncan encontró mayor diferencia entre las medias, generando ocho grupos, la información completa de las comparaciones de media se describen en el Cuadro 3.

Conclusiones

La información geoespacial presentó potencial para evaluar diferencias en el verdor del experimento de piña. Si bien la información del color verdadero no es utilizada con frecuencia para evaluar las condiciones de cultivos, el presente estudio muestra que separando las capas de información R-G-B y generando índices de vegetación como el NGRDI, fue posible encontrar diferencias en el verdor de las plantas de piña. Por lo anterior, la información del NGRDI puede ser correlacionada con otras variables, como la biomasa aérea, nutrientes en las plantas, estrés hídrico etc. Se recomienda estudiar otros índices de vegetación que permitan encontrar diferencias o correlación con la vegetación del cultivo de piña.

Literatura Citada

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2022. Cultivos y productos de ganadería. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL [consultado el 8 de julio de 2022].

Flores-López, F. J. y C. A. Scott. 2000. Superficie agrícola estimada mediante análisis de imágenes de satélite en Guanajuato, México. Serie latinoamericana No. 15. IWMI. México, D. F. 60 p.

García-Martínez, H., H. Flores-Magdaleno, A. Khalil-Gardezi, R. Ascencio-Hernández, L. Tijerina-Chávez, M. A. Vázquez-Peña, *et al*. 2020. Estimación de la fracción de cobertura de la vegetación en maíz (*Zea mays*) mediante imágenes digitales tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Rev. Fitotec. Mex. 43(4):399-399.

Gordillo S., V. M. 2018. Evaluación del estado del nitrógeno y estimación de biomasa en el cultivo de trigo, usando sensores remotos y vehículos aéreos no tripulados (UAV). Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. De Méx., México. 94 p. http://hdl.handle.net/10521/3080

Berrío M., V. A., J. Mosquera T. y D. F. Alzate V. 2015. Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria 13(1):28-40.

Paruelo, J. M., J. P. Guerschman, G. Baldi y C. M. Di Bella. 2004. La estimación de la superficie agrícola. Antecedentes y una propuesta metodológica. Interciencia 29(8):421-427.

Pino, E. 2019. Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. IDESIA 37(1):75-84.

Rebolledo, M. A., D. E. Uriza A., A. L. del Angel P., L. Rebolledo M. y R. Zetina L. 2011. La piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. Libro técnico No. 27. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Ver. 306 p.

Botello-Aguillón, C., F. Gavi-Reyes, L. Tijerina-Chávez, A. Galvis-Spíndola y R. Roblero-Hidalgo. 2019. Estimación de biomasa aérea de forrajes de invierno bajo riego a través de un dron. Agro Productividad 12(4):25-31.

Ríos-Hernández, R. 2021. Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. Revista Ingeniería Agrícola 11(4):75-84.

CRECIMIENTO DEL FRUTO DE *Coffea arabica* VAR. ORO AZTECA EN CONDICIONES DE SOMBREADO

Marco Antonio Toral Juárez[1]*, Edgar Couttolenc Brenis[1], Rosalío López Morgado[1] y Enrique Hernández Reich[1]

Resumen

La cafeticultora mundial es afectada por la enfermedad de la roya anaranjada *(Hemileia vastatrix* Berk & Br.), además, el cambio climático ha alterado los patrones de precipitación, ocasionando sequía e inundaciones. La principal solución al problema de la enfermedad de la roya consiste en el uso de variedades resistentes. La variedad Oro Azteca fue liberada por el INIFAP en 1995, y es el resultado de la cruza Caturra Rojo x Híbrido de Timor, posee genes resistentes a la enfermedad de la roya, sin embargo, nada se sabe sobre la fenología de crecimiento del fruto de esa variedad en las zonas cafetaleras de México. Este trabajo fue realizado de abril 2021 a enero 2022 en el jardín de variedades resistentes a la roya del Sitio Experimental Teocelo – INIFAP, y tuvo como objetivo evaluar el crecimiento del fruto en plantas de la variedad Oro Azteca seleccionadas al azar bajo condiciones de sombreado por árboles forestales. Posterior a la antesis, cada dos semanas se tomaron datos del fruto como masa seca y fresca, contenido de agua y tasa de crecimiento relativo, hasta alcanzar el máximo crecimiento. Durante 36 semanas se completó el ciclo de crecimiento del fruto de café, por lo que se considera como de maduración intermedia. El padrón de formación y ganancia de masa seca tuvo un comportamiento de curva sigmoidal simple, sin embargo, en masa fresca se muestra un modelo sigmoidal doble. Se concluye que estudios sobre el padrón de crecimiento de los frutos en variedades de café resistentes a la roya del cafeto son de gran importancia económica y agronómica, pues a partir de las curvas de crecimiento de frutos es posible inferir las fases de demanda de nutrientes minerales y agua del fruto y de la planta.

Palabras clave: fenología, maduración, antesis, cambio climático

[1]INIFAP, CIRGOC-CE Cotaxtla, 94270, Medellín de Bravo, México. *toral.marco@inifap.gob.mx

Introducción

La cafeticultora mundial está siendo aún afectada por la enfermedad de la roya anaranjada *(Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) y por el cambio climático que ha alterado los patrones de precipitación, ocasionando sequía e inundaciones. En México, la roya apareció por primera vez en el ejido Felipe Carrillo Puerto, estado de Chiapas en 1981; sin embargo, los grandes estragos ocasionados por la enfermedad ocurrieron en el 2012, siendo afectado y aun no recuperado el rendimiento nacional de café (López *et al*., 2013). Siendo el uso de variedades resistentes a la roya la principal solución. Por tanto, instituciones públicas nacionales y extranjeras se han enfocado en la generación materiales genéticos resistentes a la *H. vastatrix*. La variedad Oro Azteca es el resultado de la cruza Caturra Rojo x Híbrido de Timor y posee genes resistentes a la enfermedad de la roya. Dicha variedad fue evaluada por el INIFAP, posteriormente liberada en 1995 para su multiplicación y adopción por parte de parte de los productores (Zamarripa *et al*., 1995; Zamarripa *et al*., 2013); además, otras variedades resistentes de las familias de los catimores y sarchimores han sido introducidas para sustituir las variedades tradicionales susceptibles a la enfermedad e incrementar la productividad.

Además, el cambio climático conducirá a condiciones extremas en la disponibilidad de agua del suelo, sequía severa en algunas áreas y anegamiento debido a fuertes lluvias (IPCC, 2018). Los eventos climáticos adversos causan afectaciones estresantes en la fisiología del café, que principalmente son observados en la defoliación foliar, deficiente llenado de granos y frutos, poca ganancia de masa seca (crecimiento) y alteraciones en la fenología del cultivo. El conocimiento en la fenología es de gran importancia, pues permite establecer modelos de crecimiento y desarrollo del cultivo, además de ser útil en la toma de decisiones de las prácticas de fertilización, control de plagas y enfermedades, calendarización de la cosecha y previsión de épocas de sobreoferta.

Entender la fenología de la floración y crecimiento del fruto de café permite determinar el número de fases de cosecha, curvas de requerimiento nutricional, épocas de mayor demanda de recurso hídrico, vulnerabilidad por ataque de plagas y enfermedades, optimización y ahorro en la aplicación de fertilizantes inorgánicos. De acuerdo con Bragança *et al*. (2001), el tiempo necesario para el crecimiento de frutos en café, es diferente para cada variedad y son agrupadas en precoz (34 semanas), intermedia (41 semanas) y tardía (45 semanas). Otro

estudio reciente sugiere que la maduración del fruto de café puede ocurrir a los 216 días (maduración precoz), 244 días (maduración intermedia) y 300 días (maduración tardía), posteriores a la antesis (Partelli *et al.,* 2014). Sin distinción del tipo de maduración, la floración principal ocurre durante la época lluviosa, pudiéndose observar adelanto de las floraciones en las primeras lluvias, después del periodo seco. El patrón de crecimiento del fruto de café, con base en el acumulo de masa seca, sigue un modelo sigmoidal simple cuando las plantas no tienen restricciones hídricas durante el desarrollo del fruto; en caso de restricciones hídricas es común observar curvas sigmoidales dobles (Silveira, 1996).

El café es uno de los cultivos mundiales más importantes y proporciona sustento a millones de personas que viven en países en desarrollo. De entre más de 120 especies del género *Coffea*, solo dos de ellas, *C. arabica* L. y *C. canephora* Pierre ex A. Froehner, son económicamente importantes, representando casi 99% de la producción mundial (DaMatta *et al*., 2018). La cafeticultora nacional se caracteriza en su mayoría por el manejo de sistema agroforestal (cafetales bajo sombra), bajas densidades de plantación, rendimientos de cosecha inferiores a 3 t/ha^{-1} y moderado proceso de sustitución de las variedades tradicionales por variedades resistentes a la roya (López *et al*., 2013). Sin embargo, existe una diversificación del manejo agronómico exigido por las nuevas variedades de café. Esas variedades se caracterizan por ser de porte bajo, maduración precoz, y altas cargas productivas, pero demandan de mayores cantidades de nutrientes minerales. Además, nada se conoce sobre la fenología de crecimiento del fruto de café de variedades resistentes a la roya, en las distintas zonas agroecológicas cafetaleras de México. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el crecimiento del fruto de la variedad oro azteca en condiciones de sombreado por árboles forestales. Posterior a la antesis cada dos semanas se tomaron datos de masa seca y fresca del fruto, contenido de agua y tasa de crecimiento relativo del fruto, hasta alcanzar el máximo crecimiento.

Materiales y Métodos

El trabajo de campo fue realizado de abril 2021 a enero 2022 en el jardín de variedades resistentes a la roya anaranjada del cafeto *H. vastatrix* del Sitio Experimental Teocelo – INIFAP, localizado a una latitud norte de 19º 23’ 10”, longitud oeste 97°00’06” y altitud de 1,250 m. Con

una precipitación anual de 2,063 mm, temperatura media de 20°C, temperatura máxima de 25°C y mínima de 14°C. El suelo es formado de cenizas volcánicas de tipo andosol, rico es materia orgánica (López *et al*., 2021).

El lote experimental fue conformado por plantas de 5 años de edad de la variedad Oro Azteca, con un arreglo en hileras sencillas a una distancia de 2 m entre hileras y 1.5 m entre plantas, a una densidad de 3, 330 plantas/ha. Después de la cosecha del 2020 - 2021, fue monitoreado los eventos de floración para poder observar el inicio de la floración principal del ciclo 2021-2022. Una vez identificada la floración principal, se identificó el momento exacto de la máxima abertura floral (antesis), después se procedió con la selección al azar de ocho plantas de café de acuerdo a las características legítimas de la variedad, cada planta representó una repetición.

A partir de la antesis, cada dos semanas se colectaron tres frutos del tercio medio de la planta-repetición, y se obtuvieron las mediciones de masa fresca y seca del fruto, contenido de agua y tasa de crecimiento relativo con base a masa seca, hasta alcanzar máxima maduración del fruto.

Posterior a la colecta de frutos por planta-repetición, se pesaron pesados por separado para obtener la masa fresca (MF) en una báscula analítica (0.0001 g), y colocado en bolsas individuales de papel estraza con su respetiva identificación, para obtener posteriormente la masa seca (MS) a una temperatura constante de 80°C en una estufa de secado.

Se calculó el contenido de agua en el fruto (CAF) expresado en porcentaje, usando los datos de masa fresca del fruto (MF) y masa de agua en el fruto (MA) en la siguiente fórmula:

$CAF = (MA / MF) * 100.$

Mientras que la tasa de crecimiento relativo con base a masa seca (TCR_{MS}) expresa el incremento de masa seca por unidad entre la masa seca inicial (MS_1) y masa seca final (MS_2) en un determinado intervalo de tiempo (semana). Para eso, se usó la siguiente fórmula:

$TCR_{MS} = (\ln MS_2 - \ln MS_1) / (T_2 - T_1)$.

En que ln = Logaritmo neperiano

Al término de la toma de datos del fruto fresco, se consideró un fruto para la captura de una imagen fotográfica, con una cámara cámara Pentax K-3, una lentilla de cuatro aumentos y una distancia focal de 135 mm.

Resultados y Discusión

La apertura de flores, inicia la fase de fructificación, en la que ocurre el amarre, el desarrollo y la maduración de los frutos. El periodo de desarrollo de los frutos de la variedad oro azteca fue dividido en cinco fases, observadas generalmente en cultivares de café arábica (Figura 1).

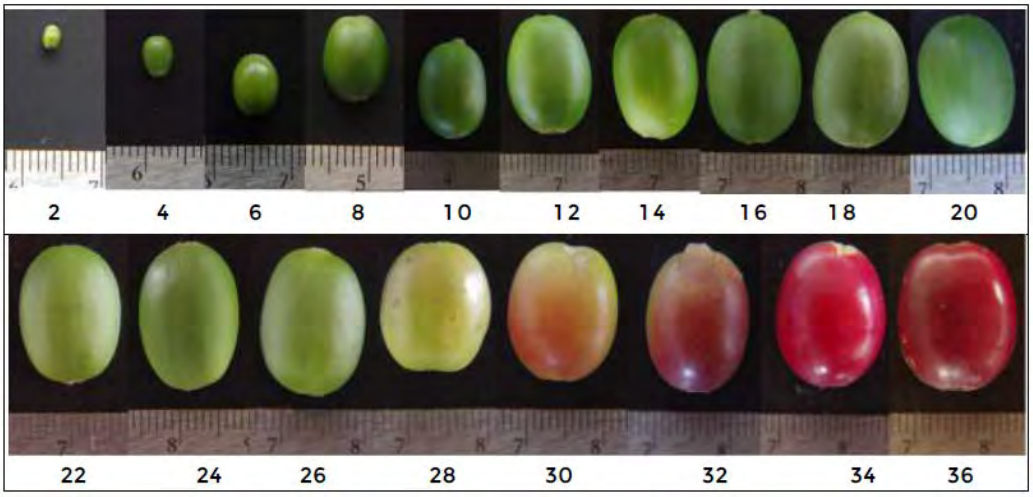


Figura 1. Etapas de desarrollo del fruto de café arabica var. Oro Azteca de maduración intermedia. Nota: La primera evaluación fue realizada el día 15 de mayo de 2021, dos semanas después de la antesis. La última evaluación fue realizada el día 25 de enero de 2022.

Las fases son: fase 1 – munición, de la floración hasta la cuarta semana (duración de cuatro semanas); fase 2 – crecimiento rápido, de la sexta hasta la 16ª semana (duración de 10 semanas); fase 3 – formación del endospermo, de la 16ª a la 18ª semana (duración de dos semanas); fase 4 – endurecimiento del endospermo, de la 18ª a la 28ª semana (duración de 10 semanas); y fase 5 – maduración de los frutos con pronunciado aumento de peso fresco, de la 28ª a la 36ª semana (duración de ocho semanas). Lo anterior y el periodo de maduración de los frutos, permitió identificar a la variedad como de maduración intermediaria, 36 semanas o 252 días después de la antesis (Figura 2).

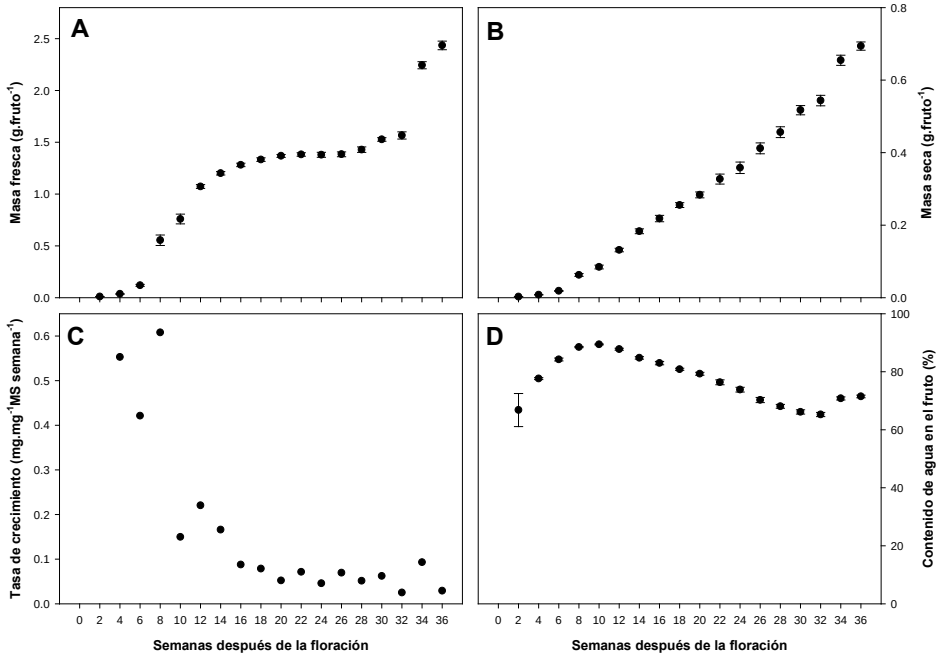


Figura 2. Variaciones de masa fresca (A), masa seca (B), tasa de crecimiento relativo (C) y contenido de agua en el fruto (D) durante el fructificación de café arabica var. Oro Azteca de maduración intermedia. Nota: La antesis ocurrió en el día 30 de abril de 2021 (media ± desviación estándar; n = 8; MS = masa seca).

El padrón de formación y ganancia de masa seca tuvo un comportamiento de curva sigmoidal simple, sin embargo, en masa fresca se muestra un modelo sigmoidal doble, apreciándose una acelerada ganancia de masa fresca en últimas mediciones (Figura 2). El padrón de crecimiento de frutos de café, sigue en la mayoría de las veces, un modelo sigmoidal doble (Salazar *et al*., 1994; Fernandes *et al*., 2017), pero puede ser alterado por las condiciones climáticas y altitud (Laviola *et al*., 2007), así como de las variables utilizadas para medir el crecimiento del fruto (masa seca y masa fresca), frecuencia de mediciones y de la especie (Srinivasan *et al*., 1978).

Durante la fase de munición, hubo poco acúmulo de masa fresca (Figura 2A) y masa seca (Figura 2B), sin embargo, la tasa de crecimiento relativa en masa seca fue una de las más alta registrada durante el periodo de crecimiento (Figura 2C). Al final de esa fase, el contenido de agua en el fruto fue de ~77% (Figura 2D), en esa etapa aparentemente la ganancia de biomasa fresca y seca no es observada porque concomitantemente ocurre perdida de biomasa por la alta tasa respiratoria.

En la fase de expansión rápida, la masa fresca del fruto aumentó en aproximadamente 19 veces (de 0.067 g para 1.268 g, Figura 2A), masa seca en 87 veces (de 0.014 g para 1.223 g, Figura 2B), al final de esa fase la tasa de crecimiento relativo en masa seca disminuyó seis veces (de 0.556 g a 0.089 g por semana, Figura 2C). En la décima semana se registró el pico máximo de contenido de agua en el fruto (89%), con disminución de contenido de agua al final de la fase 2 (Figura 2D).

Mientras que en la fase 3, hubo un pequeño aumento en la masa fresca y en la masa seca del fruto; sin embargo, con una acentuada caída en la tasa de crecimiento relativo y con una ligera disminución en el contenido de agua en el fruto. Esta fase es corta y de importancia porque el pergamino alcanza su máximo tamaño.

Durante la fase 4 (periodo de hinchamiento del endospermo), la masa fresca aumentó discretamente (12%), en cuanto la masa seca un significativo aumento de 109%. Debido al aumento de masa seca, el porcentaje de contenido de agua en el fruto cayó para valores menores comparado con la fase de munición. Mientras que la tasa de crecimiento es mantenida, mostrando poca variación (Figura 2C).

Al final del endurecimiento del endospermo, la semilla alcanza la madurez fisiológica. A partir de entonces, se inicia la quinta y última fase del desarrollo del fruto, pero acompañado de ganancias de masa fresca que representan el 59% y de masa seca (52%), envolviendo predominantes modificaciones en el pericarpio (rompimiento de la cáscara), lo anterior es verificado en el aumento del contenido de agua en el fruto en las semanas 34 y 35 (Figura 2D), en esta etapa la concentración de azúcares y respiración del fruto aumentan durante lamaduración, de tal forma que, pasada la maduración del fruto (sobre-maduración), estos tienden a perder materia seca.

Cabe resaltar que, en el hemisferio norte la floración de la variedad evaluada ocurre en la misma época (abril / mayo), estimuladas por el inicio de las lluvias después de un periodo seco. Sin embargo, el hecho de mostrar un modelo sigmoidal simple para masa seca, la duración de cada fase y consecuentemente, el tiempo necesario para la formación total del fruto depende no apenas del material genético, pero sí de la fuerte interacción entre factores abióticos como la altitud, temperatura, disponibilidad hídrica y acumulación de horas calor. (Laviola *et al*., 2007; Petek *et al*., 2009).

Conclusiones

Estudios sobre el padrón de crecimiento de los frutos en variedades de café resistentes a la roya del cafeto son de gran importancia económica y agronómica; ya que a partir de las curvas de crecimiento, es posible inferir las fases de mayor demanda del fruto y de la planta por nutrientes minerales y agua; permitiendo, optimizar y racionalizar el manejo de los fertilizantes y del agua, facilitando la disminución de los costos de manejo y, aumentar la calidad y productividad de las cosechas de café cereza.

Destaca que la variedad estudiada mostró un comportamiento de maduración de fruto intermedia, con 36 semanas para completar el ciclo de crecimiento del fruto, muy importante para implementar programas de nutrición y recomendaciones en la racionalización de fertilizantes, utilizados por productores en la región central cafetalera de Veracruz, México.

Literatura Citada

Bragança, S. M., C. Carvalho H., A. Fonseca F. e R. Ferrão G. 2001. Variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo. Pesquisa Agropecuária Brasileira (36): 765-770. Brasília, DF.

DaMatta, F. M., R. Avila T., A. Cardoso A., S. Martins C. V. and J. Ramalho C. 2018. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: a review. J. Agric. Food Chem. 66 (21): 5264–5274.

Fernandes, T. J., A. Pereira A. and J. Muniz A. 2017. Double sigmoidal models describing the growth of coffee berries. Ciência Rural. 8 (47): 1-7.

IPCC 2018. Global Warming of 1.5◦C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. *In*: Masson-Delmotte, V., Zhai P., H. P¨ortner O., Roberts D., Skea J., P. Shukla R. *et al*. (eds.). IPCC, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 36 p. https://apps.ipcc.ch/outreach/documents/451/1551801374.pdf

Laviola, B. G., H. Martinez E. P., L. Salomão C. C., C. Cruz, D. e S. Mendonça M. 2007. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 6 (31): 1451-1462.

López, M. R., E. Couttolenc B. y M. A. Toral J. 2021. Rendimiento de variedades de café *Coffea arabica* tolerantes a *Hemileia vastatrix* causante de la roya del cafeto. p. 548-561. *In:* Zetina, *et al*. (eds.). Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México.

López, M. R., J. Barrera, N. Pérez Q., E. P. Pinson R. y E. N. Becerra L. 2013. Plagas y enfermedades del café. p. 237-289. *In*: López *et al*. (comps.). El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México.

Partelli, F. L., M. Espindula C., W. Marré B. e H. Vieira D. 2014. Dry matter and macronutriente accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cicles. Revista Brasileira de Ciência do Solo 38: 214-222.

Petek, M. R., Sera T., I. e Fonseca C. 2009. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. Bragantia 1 (68): 169-181.

Salazar, M. R., B. Chaves, N. Riaño, J. Arcila y A. Jaramillo. 1994. Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* L. var. Colombia. Revista Cenicafé, 45 (2): 41-50.

Silveira, J. S. M. 1996. Irrigação em café: café conilon irrigado no Espírito Santo. p. 66-83. *In*: Primeiro Simpósio Estadual do Café 1995. Vitória, Es. Brasil.

Srinivasan, C. S., K. Raju S. and S. Vishveshwara. 1978. Pattern of fruit growth and development in interspecific hybrids of *Coffea canephora* x *C. arabica*. Indian Coffee (42): 120-125.

Zamarripa, C. A., I. Méndez L., M. Vázquez M., A. Contreras J. y A. Fernández R. 1995. Oro Azteca: nueva variedad de café con resistencia a la roya anaranjada *Hemileia vastatrix* Berk & Br. p. 113-120. *In*: Tercer Simposio Internacional el Café. Xicotepec de Juárez, Pue., México.

Zamarripa, C. A., R. López, M. y E. Escamilla P. 2013. Mejoramiento genético y variedades. p. 57-94. *In*: López *et al*. (comps.). El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Veracruz, México.

CALIDAD DE FRUTA DE PIÑA MD-2 EN FUNCIÓN DE LA PROPORCIÓN DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y FERTILIZACIÓN INORGÁNICA

Rosa Laura Rebolledo García[1], Nain Peralta Antonio[1]*, Andrés Rebolledo Martínez[1], Gerardo Montiel Vicencio[1], María Enriqueta López Vázquez[1], Aurelio Pérez Báez[2] y Laureano Rebolledo Martínez[1]

Resumen

La fruta de piña es un producto demandado a nivel internacional, siendo el cultivar MD-2 el más demandado para el comercio de exportación. La calidad del fruto se puede ver afectada por diversos factores durante el cultivo como la cubierta del suelo y la nutrición. La cubierta plástica permite la retención del agua y ayuda a la absorción de nutrientes. La fuente y dosis de fertilización brindan a la planta los nutrientes necesarios para su desarrollo. El objetivo del fue determinar la calidad de fruta de piña MD-2 en función de la proporción de fertilización orgánica con 'bokashi' y fertilización inorgánica y su combinación con la cubierta plástica del suelo. Se realizó un experimento en el municipio de Isla, Veracruz, México con piña MD-2 en donde se evaluaron las variables número de frutos individuales, longitud de fruta y corona, diámetros de fruto inferior, medio y superior; sólidos solubles totales inferior, medio y superior y acidez titulable inferior, media y superior. El número de frutos individuales fue afectado por la nutrición, sobresaliendo El bokashi al 100% junto con las combinaciones 60:40, 20:80 y 0:100 de bokashi: la combinación del bokashi y el fertilizante mineral 15-6-15-4 NPKMg 135 frutos individuales por fruta. El diámetro inferior fue significativamente mayor con cubierta plástica en comparación con el suelo desnudo con valores de 10.56 y 10.17 cm ($p \leq 0.05$); por otra parte, los sólidos solubles totales del segmento medio fueron significativamente mayores en suelo desnudo (11.8 °Brix) a los de cubierta plástica (11.4 °Brix). Se concluye que el bokashi puede ser utilizado como fuente de nutrición ya que brinda una calidad similar a la de los

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Medellín, Veracruz, México, CP. 94270. *Autor por correspondencia: peralta.nain@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México, CP. 38010.

fertilizantes minerales, y el uso las cubiertas plásticas favorecen la longitud del fruto y disminuye la concentración de sólidos solubles totales en su tercio medio.

Palabras clave: *Ananas comosus* (L. Merril), bokashi, nutrición orgánica, calidad de piña

Introducción

La piña es un cultivo tropical de gran importancia internacional. En el mundo se cultivan más de 1 millón de ha de diferentes variedades de piña de donde cosechan alrededor de 28 millones de t anuales de frutas (FAO, 2022), siendo el cultivar MD-2, el de mayor demanda en el mercado global (Thalip *et al*., 2015). En México, la piña es uno de los frutales tropicales de mayor relevancia, con un valor de producción anual mayor a los 6 mil mdp (SIAP, 2022). El estado de Veracruz es el principal productor de piña con una contribución del 67% de las 1.2 millones de t anuales que se cosechan en el país (SIAP, 2021).

La piña MD-2 es un híbrido que recibe diferentes nombres comerciales como “Honey Golden”, “miel”, “oro”, “Golden sweet”, entre otros, todos ellos haciendo referencia a la calidad del fruto. Este híbrido se desarrolló en Hawaii buscando satisfacer el mercado en fresco con una fruta de dulzura sobresaliente, tamaño y maduración consistentes (Thalip *et al*., 2015; Mercado-Ruiz *et al*., 2019). Sin embargo, existen diferentes factores que pueden influir en su calidad interna y externa y en consecuencia su comercialización (Mercado-Ruiz *et al*., 2019), durante el manejo en campo, la cosecha y la postcosecha. Entre los factores en campo que influyen en la calidad de los productos agrícolas tenemos al material genético, el sistema de cultivo, la preparación de terreno, las condiciones climáticas, la sanidad y la nutrición (FAO, 2003). La fuente y dosis de los nutrientes y el periodo de aplicación pueden afectar la calidad interna y externa de la fruta de piña (Viana *et al*., 2019).

El bokashi es un producto que se obtiene a través de un proceso de fermentación por el efecto de microorganismos en diferentes materiales como estiércol, salvado y paja (Viana *et al*., 2019), entre otros desechos vegetales generados en la agricultura, aportando beneficios al ambiente por el manejo de residuos sólidos y económica al disminuir los costos de fertilización (Vásquez *et al*., 2018). El uso de bokashi puede ayudar a reacondicionar los suelos

degradados (Viana *et al*., 2019). debido a la materia orgánica que contiene, la cual ayuda al suelo mantener sus características que permiten el crecimiento de las plantas y la retención del agua (Lasmini *et al*., 2018).

En lo que respecta a los fertilizantes químicos, estos también tienen algunas ventajas como el incremento de la tasa de crecimiento y se puede mejorar la productividad y rendimiento de los cultivos significativamente, además de que incrementan la fertilidad del suelo de forma inmediata. Sin embargo, también cuentan con efectos negativos al ambiente, crea desbalances nutricionales en el suelo, lo que limita la absorción de algunos elementos, además de que se crea una dependencia a los combustibles fósiles (Sharma y Chetani, 2017).

Por otra parte, otro de los factores que podría influir en la calidad del fruto es el uso de cubiertas plásticas. Esta tecnología se utiliza después de la preparación del suelo y antes de la plantación del material vegetal y consiste en cubrir con plástico negro, calibre 150, la totalidad del suelo, incluyendo las camas y el espacio entre ellas (Rebolledo *et al*., 2011; López *et al.*, 2021). En las áreas productoras de piña donde no se protege físicamente el suelo, es común presentar problemas de erosión y fertilidad (González, 2014). Las cubiertas plásticas brindan una barrera física que disminuye la erosión hídrica y ayuda a incrementar la absorción de nutrientes (Montiel *et al*., 2021), además el suelo tiene mayor contenido relativo del agua durante la época seca que el suelo desnudo (Rebolledo-Martínez *et al*., 2002).

Se han realizado diversos estudios en donde se demuestra las bondades el uso de fuentes orgánicas de nutrición en el cultivo de piña (Liu y Liu, 2012; Rothé *et al*., 2019; Viana *et al*., 2019), pero se desconoce cómo actúa al combinarse con fuentes inorgánicas y el uso de coberteras plásticas. Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad de fruta de piña MD-2 en función de la proporción de fertilización orgánica con 'bokashi' y fertilización inorgánica y su combinación con la cubierta plástica del suelo.

Materiales y Métodos

Se estableció un experimento con vástagos de piña MD-2 de 600 g plantados el 1 de diciembre de 2019 a una densidad de 50 mil plantas/ha. El experimento se ubicó en las coordenadas

geográficas18°06’57.2’’ N y 95°33’30.6’’ W, dentro del municipio de Isla, Veracruz, México. Las condiciones climáticas se muestran en la Figura 1.

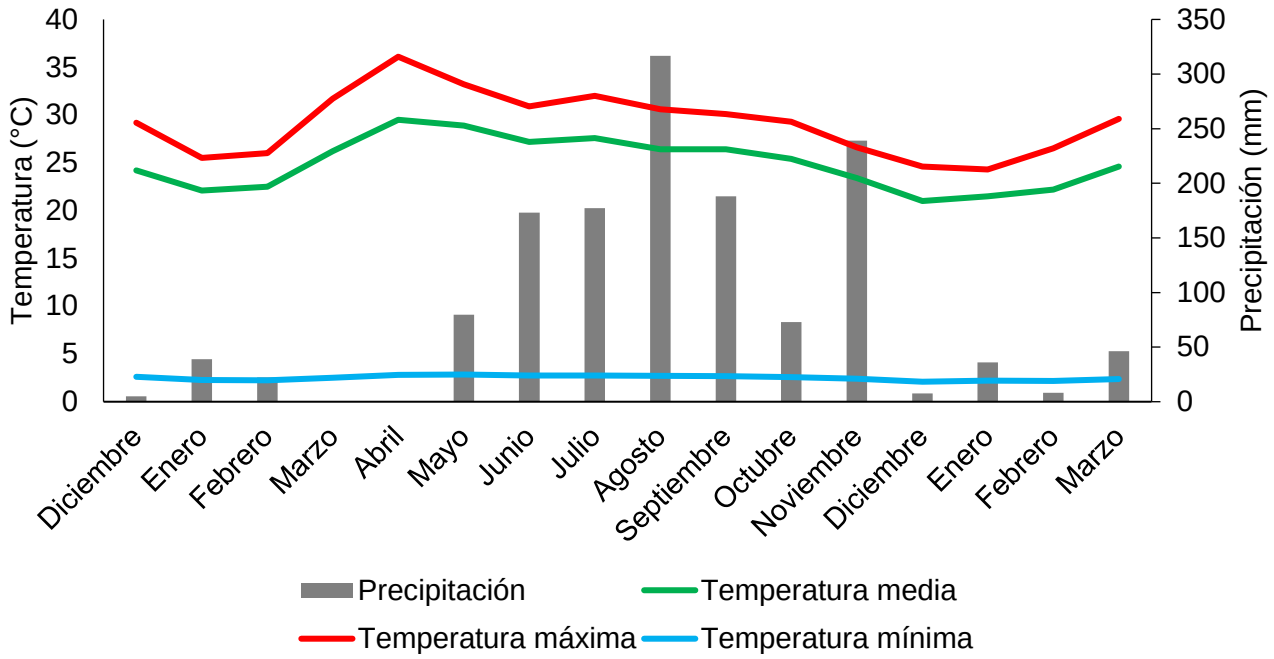


Figura 1. Condiciones climáticas en el municipio de Isla, Veracruz, México de Diciembre del 2019 a marzo del 2021.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con cuatro repeticiones, donde la parcela grande fue cubierta del suelo con dos niveles: con plástico y suelo desnudo; y la parcela chica nutrición con siete niveles (Cuadro 1). La unidad experimental constó de dos camas de doble hilera de 6 m, cada cama de 1.2 m de ancho entre centro y centro, con promedio de 70 plantas en cada una.

El bokashi utilizado en el experimento se elaboró el tres de diciembre del 2019; con las materias primas: estiércol vacuno, estiércol de pollo, pasto pangola y tierra, en la proporción 2:2:1:1.5 volumen/volumen.

Las características químicas del bokashi fueron: 7.19 de pH; 15.01 de materia orgánica; 8.71 de relación C/N; 1.09, 3.84, 2.72, 2.72 y 0.68 de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente; 8652, 74, 616 y 367 mg/kg de Fe, Cu, Zn y Mn. La fertilización orgánica se realizó cinco días después de la siembra de los vástagos, aplicando el bokashi directamente sobre el suelo, alrededor de la planta.

Cuadro 1. Proporciones del abono orgánico tipo bokashi y fertilización inorgánica, utilizadas en un experimento con piña MD-2, en Isla, Veracruz, México.

Niveles de nutrición	Bokashi (%) *	Fertilización inorgánica (%) (15-6-15-4 NPKMg)	Fertilización inorgánica (%) (18-6-18-4 NPKMg)
1	100	0	0
2	60	40	0
3	40	60	0
4	20	80	0
5	0	100	0
6	0	0	100
7	0	0	0

La nutrición inorgánica se realizó aplicando fertilizantes minerales sólidos y líquidos de los elementos N, P, K y Mg, sobre las hojas axilares más cercanas al suelo. Se emplearon nitrato de amonio, difosfato de amonio, cloruro de potasio y sulfato de magnesio en las fertilizaciones sólidas; mientras que para las fertilizaciones líquidas se usaron urea, difosfato de amonio, cloruro de potasio soluble y sulfato de magnesio, considerando una dosis de 40 mL de agua/planta.

A los niveles en donde se consideran el 60, 80 y 100% de nutrición mineral se les realizaron tres aplicaciones de fertilizantes sólidos a los 15, 75 y 184 días después de la plantación (ddp), mientras que en el nivel de 40% se realizó una sola aplicación a los 15 ddp. Por otra parte, en lo que respecta a la fertilización líquida, se realizó en tres dosis para los niveles del 40 y 60% de nutrición inorgánica a los 102, 148 y 159 ddp; y en cuatro dosis para los niveles de 80 y 100 a los 102, 148, 159 y 174 ddp.

La cantidad total de nutrientes aplicados para cada nivel de nutrición se muestra en el Cuadro 2.

Se aplicaron 3 kg de etileno y 20 kg de carbón activado por cada 3000 L de agua para inducir la floración como parte del manejo del cultivo, el 30 de septiembre del 2020. La cosecha de los frutos se realizó el 16 de marzo del 2021 en etapa de madurez fisiológica.

A los frutos se les determinaron las variables: número de frutos individuales, peso de fruto, proporción fruto: corona, longitud de fruto; así como el diámetro de fruto, diámetro de médula, sólidos solubles totales y acidez titulable, en los segmentos superior, medio e inferior, considerando un corte longitudinal del fruto.

Cuadro 2. Cantidad de nutrientes aplicados por nivel de nutrición, al combinar bokashi con fertilizantes minerales, a plantas de piña MD-2 cultivadas en Isla, Veracruz, México.

Niveles de nutrición	N (g/planta)	P (g/planta)	K (g/planta)	Ca (g/planta)	Mg (g/planta)
1	15.0	30.3	21.5	21.4	5.4
2	15.0	20.6	18.9	12.9	4.8
3	15.0	15.7	17.6	8.6	4.6
4	15.0	10.9	16.3	4.3	4.3
5	15.0	6.0	15.0	0.0	4.0
6	18.0	6.0	18.0	0.0	4.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

La determinación del número de frutillos se realizó al contar el número de frutillos en la base de la piña y el número de frutillos por una línea y luego multiplicarlos. Para medir la longitud del fruto, el diámetro de fruto se hizo un corte longitudinal por la parte media del fruto y posteriormente con una regla graduada se hicieron las mediciones; los resultados se expresan en cm.

Para las determinaciones fisicoquímicas, primero se obtuvo una rebanada longitudinal de la piña sin cáscara, se dividió en los segmentos, superior, medio e inferior y se extrajo el jugo de cada uno de ellos. Los sólidos solubles totales se midieron colocando una gota de jugo en un refractómetro, los resultados se expresan en °Brix. La acidez titulable se determinó con NaOH al 0.1 N y de acuerdo con la metodología descrita en la norma mexicana vigente (NMX-FF-010, 1982).

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias por el método Tukey (α=0.05).

Resultados y Discusión

El uso de la cubierta plástica del suelo ayuda a la fertilización orgánica al proporcionar mejores condiciones de temperatura y humedad del suelo Rebolledo *et al*. (2018), sin embargo, en los análisis de varianza (α= 0.05) de este trabajo no se observan interacciones entre la cubierta plástica y la nutrición como era de esperarse, esto puede deberse a que al momento del

establecimiento de la plantación no se presentaron precipitaciones (Figura 1). Por otra parte, los factores cubierta plástica y nutrición si influyeron de forma independiente en las variables estudiadas. Los resultados indican que el uso de cubiertas plásticas influye significativamente ($p \leq 0.05$) en las características de calidad de fruto de piña, como la longitud del fruto, los diámetros del fruto en sus segmentos medio e inferior, y en los sólidos solubles totales del segmento superior (Cuadro 3). Mientras que el factor nutrición tiene efecto significativo ($p \leq 0.05$) sobre el número frutos individuales por fruta y los diámetros de los segmentos medio e inferior (Cuadro 4).

En lo que respecta al número de frutos individuales se presentaron alrededor de 131 por fruta (Cuadro 3). La fertilización orgánica e inorgánica fue superior, con 135 frutos individuales por fruta, al testigo que solo tuvo 115 frutos individuales por fruta.

Cuadro 3. Características de calidad del fruto de piña MD-2 cultivado con cubiertas plásticas y suelo desnudo.

	Cubierta plástica	Suelo desnudo
Número de frutos individuales	131.52 a	131.63 a
Longitud de corona (cm)	14.84 a	13.33 b
Longitud de fruto (cm)	19.315 a	18.204 a
Relación fruto:corona	0.781 a	0.746 a
Diámetro superior (cm)	9.856 a	9.896 a
Diámetro medio (cm)	12.948 a	12.641 a
Diámetro inferior (cm)	10.559 a	10.17 b
SST superior (°Brix)	10.256 a	10.611 a
SST medio (°Brix)	11.433 b	11.878 a
SST inferior (°Brix)	12.663 a	12.852 a
Acidez titulable superior (mge de ácido cítrico/100g)	0.749 a	0.731 a
Acidez titulable medio (mge de ácido cítrico/100g)	0.7173 a	0.713 a
Acidez titulable inferior (mge de ácido cítrico/100g)	0.6983 a	0.677 a

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

La longitud de corona tuvo valores significativamente mayores cuando los frutos provenían de plantas cultivadas con cubierta plástica, contrario a lo ocurrido en longitud de fruto donde no se encontraron diferencias; esto difiere con lo reportado por Peralta *et al*. (2019) que encontraron que la cubierta plástica induce la producción de frutos más largos. Las variables

relación entre la longitud del fruto y la longitud de la corona, diámetro superior y diámetro medio, no se vieron afectadas significativamente por ninguno de los factores de estudio (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 4. Características de calidad de piña MD-2 cultivada con diferentes proporciones de bokashi y fertilizante mineral.

	B:FM$_1$ 100:0	B:FM$_1$ 60:40	B:FM$_1$ 40:60	B:FM$_1$ 20:80	B:FM$_1$ 0:100	B:FM$_2$ 0:100	Testigo
Número de frutillos	135.00 a	135.00 a	131.75 ab	136.25 a	128.88 ab	135.00 a	115.00 b
Longitud de corona (cm)	13.76 a	14.30 a	14.85 a	14.07 a	13.40 a	13.71 a	14.65 a
Longitud de fruto (cm)	19.06 a	19.19 a	19.29 a	19.59 a	17.81 a	19.32 a	16.48 a
Relación fruto:corona	0.72 a	0.75 a	0.78 a	0.74 a	0.78 a	0.71 a	0.89 a
Diámetro superior (cm)	10.31 a	9.59 a	10.088 a	9.78 a	10.00 a	9.92 a	9.28 a
Diámetro medio (cm)	12.96 a	12.82 a	12.912 a	12.87 a	12.95 a	12.80 a	12.05 a
Diámetro inferior (cm)	10.36 ab	10.39 ab	10.838 a	10.51 ab	10.33 ab	10.41 ab	9.48 b
SST superior (°Brix)	10.56 a	10.44 a	10.888 a	10.33 a	10.23 a	10.05 a	10.55 a
SST medio (°Brix)	12.00 a	11.61 a	11.863 a	11.67 a	11.61 a	11.25 a	11.55 a
SST inferior (°Brix)	13.15 a	12.86 a	12.888 a	13.00 a	12.56 a	12.32 a	12.43 a
Acidez titulable superior (mge de ácido cítrico/100g)	0.756 a	0.744 a	0.710 a	0.720 a	0.762 a	0.721 a	0.774 a
Acidez titulable medio (mge de ácido cítrico)	0.693 a	0.739 a	0.717 a	0.693 a	0.726 a	0.720 a	0.719 a
Acidez titulable inferior (mge de ácido cítrico)	0.678 a	0.667 a	0.677 a	0.661 a	0.691 a	0.733 a	0.712 a

B: Bokashi. FM$_1$: fertilización mineral 15-6-15-4 NPKMg; FM$_2$: fertilización mineral 18-6-18-4 NPKMg; SST: sólidos solubles totales.

Por otra parte, el diámetro de fruto inferior se ve afectado por ambos factores de forma independiente; la fruta proveniente del factor cubierta plástica tiene un diámetro inferior

significativamente mayor que a la de suelo desnudo (Cuadro 3). Asimismo, el tratamiento estadísticamente superior fue el que tenía una proporción 40:60 Bokashi: 15-6-15-4 NPKMg (Cuadro 4).

Los sólidos solubles totales son importantes ya que generalmente definen el precio del producto (Rebolledo-Martínez *et al*., 2006). En este caso, los valores se encuentran ligeramente por debajo de lo establecido en la norma (NMX-FF-028-SCFI-2008, 2008), donde se indica que MD-2 debe contener al menos 12°Brix al momento de cosecha (Cuadro 3 y 4). Los resultados indican que solo la parte media de la piña fue afectada por los tratamientos, los sólidos solubles totales disminuyeron significativamente con la cubierta plástica (Cuadro 3). Los resultados obtenidos difieren a los reportados en otros estudios, donde la piña MD-2 muestra valores mayores a 12°Brix (Lu *et al*., 2014; Viana *et al*., 2019), pero son consistentes con los reportados por Rebolledo-Martínez *et al*. (2006) quienes encontraron valores similares en piña MD-2 al evaluar diferentes densidades de plantación; y con lo descrito por (Peralta *et al*., 2019) quienes encontraron valores significativamente menores de sólidos solubles totales en piña cultivada con cubierta plástica.

En lo que respecta a la acidez titulable, Lu *et al.* (2014) y Mercado-Ruiz *et al.* (2019) indican que la piña MD-2 contiene hasta tres veces más vitamina C que otras variedades, por lo que el contenido de esta biomolécula resulta importante, en este contexto, la norma mexicana (NMX-FF-028-SCFI-2008, 2008) indica valores entre 0.2 a 1.0, tal y como se reportan en este estudio. La acidez titulable no fue afectada significativamente por los factores estudiados, esta variable mostró un valor promedio de 0.715 mge ácido cítrico, los cuales son superiores a los reportados en otros estudios (Rebolledo-Martínez *et al.*, 2006; Lu *et al*., 2014).

(Lu *et al*., 2014) evaluaron 26 variedades de piña encontrando que MD2 tiene un peso de 113.8 g, SST de 16.12°Brix, 0.53% de ácido cítrico equivalente, 30.26 SST/TAT, pH de 4.13, ácido ascórbico 33.57 mg 100 g

Conclusiones

Los resultados encontrados son prometedores, ya que el uso del bokashi mantiene la calidad del fruto de piña de la misma forma en que se encuentra en fruta fertilizada de forma mineral.

Esto puede ayudar a la comercialización de la fruta, ya que la piña cultivada de forma orgánica es popular entre los consumidores, principalmente en el mercado europeo.

El uso de cubiertas plásticas favorece la longitud del fruto y disminuye la concentración de sólidos solubles totales en su tercio medio.

Literatura Citada

FAO. 2022. Cultivos y productos de ganadería. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

FAO, F. and A. O. 2003. Manual para la preparacion y venta de frutas y hortalizas. Manual Para La Preparacion y Venta de Frutas y Hortalizas 151:4334. https://www.fao.org/3/y4893s/y4893s00.htm#Contents

González, V. A. 2014. Efecto del acolchado plástico sobre las características físicas y químicas del suelo en dos lotes comerciales cultivados con piña MD2 (*Ananas comosus* var. *comosus*) en la región del Bajo Papaloapan. Universidad Veracruzana

Lasmini, S. A., Nasir, B., Hayati, N., and Edy, N. 2018. Improvement of soil quality using bokashi composting and NPK fertilizer to increase shallot yield on dry land. Australian Journal of Crop Science, 12(11):1743–1749. https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.11.p1435

Liu, C. H., and Liu, Y. 2012. Influences of organic manure addition on the maturity and quality of pineapple fruits ripened in winter. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 12(2):211-220. https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000200002

López, V. M. E., Peralta, A. N., Montiel, V. G., Rebolledo, M. A., y Rebolledo, M. L. 2021. Biomasa y rendimiento de piña md2 en función de dosis de nitrógeno y potasio. p. 274–284. *In*: Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades.

Lu, X. H., Sun, D. Q., Wu, Q. S., Liu, S. H., and Sun, G. M. 2014. Physico-chemical properties, antioxidant activity and mineral contents of pineapple genotypes grown in China. Molecules 19(6):8518-8532. https://doi.org/10.3390/molecules19068518

Mercado-Ruiz, J. N., Tortoledo-Ortiz, O., García-Robles, J. M., Báez-Sañudo, R., García-Moreno, B., Ávila-Prado, J., Corella-Salazar, D. A., Cruz-Félix, M. C., Velásquez-Jiménez, D., y Zúñiga-Martínez, B. S. 2019. Calidad comercial de piña MD2 (*Ananas comosus* L.) Tratada en postcosecha con ácido 2-hidroxibenzoico. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 20(2).

Montiel, V. G., Peralta, A. N., Rebolledo, M. A., Rebolledo, M. L., López, V. M. E., Rebolledo, G. R. L., y Uriza, A. D. E. 2021. Biomasa y rendimiento de piña MD2 en función del tipo de fertilizante y acolchado plástico. p. 512–524. *In:* Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades.

NMX-FF-010. (1982). Productos alimenticios no industrializados, para uso humano - Fruta fresca - Determinación de acidez titulable método - potenciométrico. https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNMX.xhtml?pidn=cUFiSzVNUGNwQW9pTERHUWZobnJlZz09

NMX-FF-028-SCFI-2008. (2008). NMX-FF-028-SCFI-2008. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruta fresca-piña (*Ananas comosus* var. *comosus*).

Peralta, A. N., Rebolledo, M. A., Rebolledo, M. L., Montiel, V. G., López, V. M. E., Rebolledo, G. R. L., Zetina, L. R., Tinoco, A. C. A., Uriza, A. D. E., Cervantes, M. C., y Atlamaic, T. Y. (2019). Producción de piña en función de la densidad de plantación, cubierta plástica y fertilización. p. 343–356. *In*: Desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático.

Rebolledo M. A., D. Uriza A., L. Rebolledo M. y R. Zetina L. 2011. Piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. Libro Técnico Núm. 7. SAGARPA, INIFAP, FUNPROVER. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Ver., México. 304 p.

Rebolledo, M. A., Rebolledo, M. L., López, V. M. E., Rebolledo, G. R. L., Uriza, A. D. E., Zetina, L. R., Montiel, V. G., Tinoco, A. C. A., Peralta, A. N., y Flores, A. M. (2018). Humedad, temperatura de suelo y volumen de raíces en piña con cubierta plástica y nutrición orgánica. p. 430–440. *In:* Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático.

Rebolledo-Martínez, A., del Angel-Pérez, A. L., Rebolledo-Martínez, L., Becerril-Román, A. E., y Uriza-Ávila, D. E. (2006). Fruit yield and quality of pineapple cultivars under planting densities / Rendimiento y calidad de fruto de cultivares de pina en densidades de plantacion. Revista Fitotecnia Mexicana 29(1):55-62.

Rebolledo-Martínez, A., Ruiz-Posadas, L. del M., Becerril-Román, A. E., Mosqueda-Vázquez, R., Castillo-Morales, A., Rebolledo-Martínez, L., y Uriza-Ávila, U. (2002). Algunas Características Fisiológicas De Tres Cultivares De Piña En Dos Sistemas De Producción. Revista Chapingo Serie Horticultura VIII(02):235-242. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2001.11.081

Rothé, M., Darnaudery, M., and Thuriès, L. (2019). Organic fertilizers, green manures and mixtures of the two revealed their potential as substitutes for inorganic fertilizers used in pineapple cropping. Scientia Horticulturae, 257(April):108691. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108691

Sharma, A., and Chetani, R. (2017). A Review on the Effect of Organic and Chemical Fertilizers on Plants. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology V(II):677-680. https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.2103

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Panorama Agroalimentario 2021. En https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2021/Panorama-Agroalimentario-2021

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Cierre agrícola anual. En https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Thalip, A. A., Tong, P. S., y Ng, C. (2015). The MD2 “Super Sweet” pineapple (Ananas comosus). UTAR Agriculture Science Journal, 1(4), 14–17. http://eprints.utar.edu.my/1982/1/The_MD2_(Super_Sweet)_pineapple_(Ananas_comosus).pdf

Vásquez, E., Sosoranga-Paqui, C., Chamba-Morales, M., and Mora, M. (2018). Chemical evaluation of bocashi with application of efficient microorganisms in Saraguro canton, Loja province. Bosques Latitud Cero 8(1):85-95.

Viana, E. de S., Reis, R. C., Rosa, R. C. C., de Pádua, T. R. P., and de Matos, A. P. (2019). Quality and sensory acceptance of pérola’ pineapple grown in soil with application of organic fertilizer. Ciencia Rural 49(7). https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20170631

RENDIMIENTO, CALIDAD Y MODELOS DE CRECIMIENTO DE CHICOZAPOTE A CUATRO DENSIDADES DE PLANTACIÓN

Andrés Rebolledo Martínez[1*], Leticia Hernández Torres[2], Naín Peralta Antonio[1], María Enriqueta López Vázquez[1], Rosa Laura Rebolledo García[1], Laureano Rebolledo Martínez[1], Sergio Alcántara Bernardo[3] y Gerardo Montiel Vicencio[1]

Resumen

El presente estudio fue realizado en el Campo Experimental Cotaxtla, ubicado en el estado de Veracruz, en la carretera federal Veracruz-Córdoba kilómetro 34.5, en un cultivo de chicozapote establecido en el año 2005, con cuatro densidades de plantación: 156, 312, 625 y 1250 árboles por ha plantados; el objetivo fue determinar el rendimiento y calidad de chicozapote establecido en cuatro densidades de plantación, así como generar modelos estadísticos para estimar variables de crecimiento del árbol. El diseño experimental fue el de bloques completamente al azar con seis repeticiones; los resultados corresponden al año 2019. Se midieron las variables de rendimiento por árbol y por hectárea, altura de planta, grados brix y acidez titulable; se generaron modelos de regresión para las variables área foliar, biomasa fresca y seca y volumen de tallos. Se ajustaron modelos estadísticos ajustados de segundo grado para el área foliar, biomasa en fresco y seca con base en el producto de la multiplicación del largo por el ancho de la hoja y con el volumen del tallo. Los mejores rendimientos, así como el contenido de sólidos solubles totales se obtuvieron con las densidades de 625 y 1250 plantas por hectárea, con 5.01 y 11.3 t de fruta fresca por hectárea.

Palabras clave: Betawi, arreglos espaciales, °Brix, acidez titulable

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimentar Cotaxtla. Kilómetro 34.5 de la Carretera Federal Córdoba-Veracruz, rebolledo.andres@inifap.gob.mx
[2] Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz-Córdoba Km. 12,94290 Boca del Río, Ver.
[3] Universidad Tecnológica de Tecamachalco, avenida Universidad Tecnológica 1, Barrio la Villita 75483, Tecamachalco, Puebla.

Introducción

Entre la diversidad del material genético vegetal, se encuentran los frutales tropicales, siendo las familias de las sapotáceas una de las más apreciadas, debido a los diferentes usos, dentro de los cuales se puede mencionar el alimenticio, el forestal y el medicinal. Particularmente el género *Manilkara* es el más conocido y la especie *M. zapota* es la más estimada en los trópicos por el exquisito sabor del fruto; actualmente se le considera como un cultivo con amplias posibilidades de explotación comercial, ya que una gran masa de consumidores latinos emigra de forma masiva hacia los Estados Unidos de América, lo que ha originado una demanda diversificada de frutos tropicales hacia el mayor mercado consumidor de América (Bautista *et al*., 2005).

El árbol de chicozapote se clasifica dentro del dominio de las eucariotas, pertenece a la división espermatofita, y se ubica en la clase dicotiledónea. Pertenece a la familia Sapotaceae, la cual se conforma por 54 géneros y aproximadamente 1,175 especies de árboles perennes y arbustivos. Cinco de estos géneros y 30 especies se encuentran en México (Newman, 2008). De manera natural, los árboles son de gran vigor y tamaño alcanzando los 40 m de altura y de un metro de diámetro de tronco, con crecimiento relativamente grande con una densidad de unos 30 ejemplares por hectárea de manera natural (Flores y García, 2011).

Se cree que el chicozapote es originario del sur de México, norte de Belice, noreste de Guatemala y Costa Rica. Esta especie se encuentra a lo largo de los bosques de América Central en donde al parecer se ha cultivado desde épocas antiguas. Fue introducida a lo largo de la zona tropical de América y al oeste de la India, las Bahamas, Bermudas y la parte meridional de Florida. En épocas coloniales fue llevada a Filipinas y adoptada más adelante por todas partes en las zonas tropicales del viejo mundo (León, 1987; Morton, 1987).

En la civilización maya adquirió mucha relevancia como fuente de madera, goma de mascar y fruto, y se procuraba conservarlo y protegerlo, al grado que, durante la práctica de roza, tumba y quema, se evitaba eliminar los árboles de chicozapote. Uno de los usos que daban al látex era masticarlo, para apaciguar la sed y hambre y para limpiarse los dientes (Rebolledo *et al*., 2012).

El látex fue introducido a los Estados Unidos de América por el general Antonio López de Santa Ana cerca de 1866. Él acostumbraba a mascar chicle y lo compartió con el señor Thomas

Adams, quien se interesó en el producto e ideó una forma de hacer negocios. El auge de las gomas de mascar se presentó durante las dos guerras mundiales (Aldrete y Ramírez, 2005).

Los árboles difieren notablemente en altura, arquitectura, tamaño de la hoja, forma y tamaño de frutos y semillas; estas diferencias pueden estar determinadas por la genética del material vegetal o por influencias del hábitat. Por ejemplo, Heaton *et al.* (1999), mencionan que, aunque árboles maduros de chicozapote nativos de Yucatán, mostraron diferencias morfológicas al desarrollarse en bosques o pantanos, no demostraron diferencias genéticas significativas.

Existe poca información sobre la superficie plantada y el volumen de producción de los países productores. India, es uno de los países que se caracteriza por contar con grandes extensiones plantadas con chicozapote, tiene una superficie de 158,857 ha, cuya producción es de 1.3 millones de t (NHB, 2012).

En México en el año 2016, se obtuvo un volumen de producción de 14,677 t y un rendimiento promedio de 8.52 t/ha. Este se cultiva en 14 de los 31 estados de la República mexicana, de los cuales destacan Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero e Hidalgo (SIAP, 2016). Mientras que en el 2010 se reportó una superficie de 2321 ha (SIAP, 2011), equivalente al 1.5% y 1.3%, respecto a India en superficie plantada y producción, respectivamente (Rebolledo *et al*. 2012).

Uno de los objetivos de la investigación agrícola es proporcionar al productor tecnología para frutales con potencial en el mercado, que permita aprovechar y conservar los recursos naturales filogenéticos, generando al mismo tiempo una cobertura de vegetación, para conservar el suelo y el agua. Los frutales como el chicozapote forman parte de la vegetación nativa en México., cuyo mercado es muy popular en diversos lugares del mundo como Asia; sin embargo, el cultivo comercial en México se ha desarrollado muy poco (Rebolledo *et al,* 2009).

En la actualidad muchos productores de diversos frutales tropicales han adoptado el sistema de alta densidad, lo cual les proporciona mayores ganancias debido a la alta producción y reembolso temprano. Los árboles en un sistema de alta densidad deben mantenerse a un tamaño más pequeño comparado con el sistema convencional, esto facilita el manejo agronómico y cosecha, pero el cuidado a los árboles es mayor (Ousthuyse, 2005). Vázquez (2005) dice que el tener árboles de menor tamaño, permite aumentar la densidad de población e incrementar el rendimiento por unidad de superficie.

Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo determinar el rendimiento y calidad de chicozapote establecido en cuatro densidades de plantación, así como generar modelos para estimar variables de crecimiento del árbol.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en una plantación de chicozapote establecida en el 2005, en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP localizado en el kilómetro 34.5 de la Carretera Federal Córdoba-Veracruz, en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, en las coordenadas 18°55'56.5" LN 96°11'32.1" LO. El clima predominante en el área de estudio es cálido subhúmedo intermedio entre Aw_0 y el Aw_2, con regímenes de lluvias en verano. La temperatura media anual es de 25°C con máximos de 37°C y mínimos de 23°C, y la precipitación media anual es de 1400 mm, los suelos son tipo vertisol pélico con pH de 6, 5.

Se utilizó la variedad de chicozapote Betawi con árboles establecidos en una superficie de 624 m^2. Las densidades utilizadas fueron: 156, 312, 625 y 1250 árboles/ha, utilizando distancias de plantación de 8 x 8 m, 8 x 4 m, 4 x 4 m y 4 x 2 m, respectivamente. La densidad de plantación se consideró como tratamiento. El diseño experimental fue en bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos y seis repeticiones. Se consideró un árbol como unidad experimental. Se generaron modelos de regresión para estimar diferentes parámetros. Para obtener el modelo de regresión lineal de área foliar, se tomaron 100 hojas de diferentes tamaños y se midió el área a cada una de ellas con la ayuda de hojas milimétricas, además de medir el producto del largo por ancho; con los valores obtenidos se obtuvo el modelo de regresión para estimar el área foliar. Para estimar el área foliar por árbol, se hizo conteo del número de hojas por árbol; para esto se utilizaron contadores manuales, escalera y rafia. Se dividieron los árboles en cuatro partes iguales para facilitar el conteo de las hojas (Alcántara, 2017) los contadores manuales fueron utilizados para disminuir el nivel de error al momento de hacer el conteo y la escalera se utilizó para alcanzar la copa del árbol. Al final el resultado se multiplicó por cuatro para estimar el número de hojas por árbol. Con el modelo obtenido, se obtuvo el área foliar de 300 hojas de diferentes tamaños; se utilizó una regla con la cual se midió de

manera individual el largo por ancho de cada hoja. De las 300 hojas se sacó el promedio para poder multiplicarlo por el número de hojas por árbol y de esta manera se obtuvo el área foliar. Para el cálculo de volumen de tallo se utilizó una cinta métrica, se midió la circunferencia de la base y la circunferencia hasta donde comienza la primera rama del árbol y el largo del tallo, todos los valores fueron tomados en (cm); con la circunferencia se calculó el diámetro con la fórmula 1.

$$D = \frac{\emptyset}{\pi} \text{ ..... .(Fórmula 1)}$$

Donde:

D = Diámetro

Ø = Circunferencia.

Después se calculó el volumen de tallo del árbol con la sumatoria de los volúmenes calculados en cada porción de tallo, con la Fórmula 2.

$$V = \frac{\pi}{4}\left(\frac{D1+D2}{2}\right)^2 (L) \text{.....(Fórmula 2)}$$

Donde:

V = volumen

D1 = Diámetro 1

D2 = Diámetro 2

L = Largo.

El volumen de las ramas se hizo de manera, al igual que el volumen de tallo, se calcularon los volúmenes de todas las ramas, utilizando la misma fórmula que se usó para volumen de tallo. El volumen total de las ramas por árbol se calculó con la sumatoria de todas las ramas mediadas y multiplicandas por ocho en razón de que las mediciones se hicieron en una octava parte del árbol.

Para obtener el peso seco de los tallos y ramas de chicozapote se hizo el ajuste mediante regresión lineal, con el volumen del tallo. Se tomaron 53 tallos de diferente longitud y diámetro a los cuales se les midió el peso fresco, volumen y peso seco; los tallos fueron introducidos en una estufa de secado a 72 grados centígrados hasta obtener el peso seco constante.

Con los valores obtenidos del peso fresco y volumen de tallo en las muestras medidas, se obtuvo la ecuación de regresión que tuvo el mejor ajuste para estimar el volumen del tallo. Asimismo, con los valores obtenidos del peso fresco y peso seco se obtuvo la ecuación de

regresión que tuvo el mejor ajuste para estimar el peso fresco del tallo. Para obtener biomasa se obtuvo el mejor ajuste con el modelo de regresión a partir del volumen de tallo.

Para obtener la variable de rendimiento por árbol se cosecharon diez frutos por árbol y se pesaron, donde se obtuvo el peso promedio por fruto. Se contabilizaron el número de frutos por árbol y se multiplicó por el peso promedio para la obtención de rendimiento por árbol. El rendimiento por hectárea se obtuvo al multiplicar el peso de fruto por árbol por el número de plantas por hectárea. La altura del árbol se obtuvo midiendo con una regla, desde la superficie del suelo, hasta la parte más alta del árbol, con la ayuda de una escalera. Para las variables de calidad, se cosecharon 10 frutos por árbol. En la etapa de maduración se partieron en dos cada fruto y se obtuvo una gota de jugo para ser colocada en el refractómetro, y dar lectura a los grados brix; para calcular la acidez titulable se extrajo una muestra de 5 ml de jugo del fruto de chicozapote, y se tituló con hidróxido de sodio al 0.1 N, hasta obtener un cambio de color, utilizando como indicador una gota de fenolftaleína.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se muestra la ecuación para estimar el área foliar en función del largo por el ancho de la hoja y dos ecuaciones para estimar el peso seco del árbol con las variables dependientes volumen de tallo y pesos fresco; así como el peso seco con el volumen y viceversa. El ajuste de la regresión para todos los modelos fue superior al 0.98 (r^2).

Cuadro 1. Modelos logísticos para el cálculo del área foliar, biomasa, volumen y peso fresco de árboles de chicozapote.

Parámetro	R^2	Modelo	X
Área foliar del árbol (cm^2)	0.9835	Y= 0.7076 X+0.1041	Largo por ancho (cm)
Peso seco del tallo de (g)	0.9869	Y= 0.3251 X-9.6376	Volumen (cm^3)
Peso seco de tallo (g).	0.9865	Y = 0.6083X - 9.1107	Peso fresco (g)
Peso Fresco de tallo (g).	0.9881	Y = 0.5311 X-0.2142	Volumen (cm^3)

La aplicación de estos modelos facilita la toma de variables en experimentos futuros sobre estudios de crecimiento en esta especie, sin tener que acudir a métodos destructivos y

tardados. Se han relacionado varios trabajos que indican la relación que hay entre el área foliar de la hoja con el valor de su largo por el ancho; asimismo se han ajustado modelos de regresión entre el peso seco con peso fresco como se encontró en el cultivo de piña (Rebolledo, 2022). El rendimiento por árbol no mostró diferencia estadística significativa entre las densidades de plantación evaluadas (Figura 1) al tener el mismo número de frutos por árbol; esta nula diferencia se explica en razón de que los árboles de chicozapote tuvieron alturas entre cuatro y cinco metros (Figura 2) en donde las densidades con menor población, tuvieron estadísticamente, mayor altura en comparación con los tratamientos con mayor número de plantas por ha (p=0.038); sin embargo esta diferencia no se reflejó en el rendimiento de fruta por árbol.

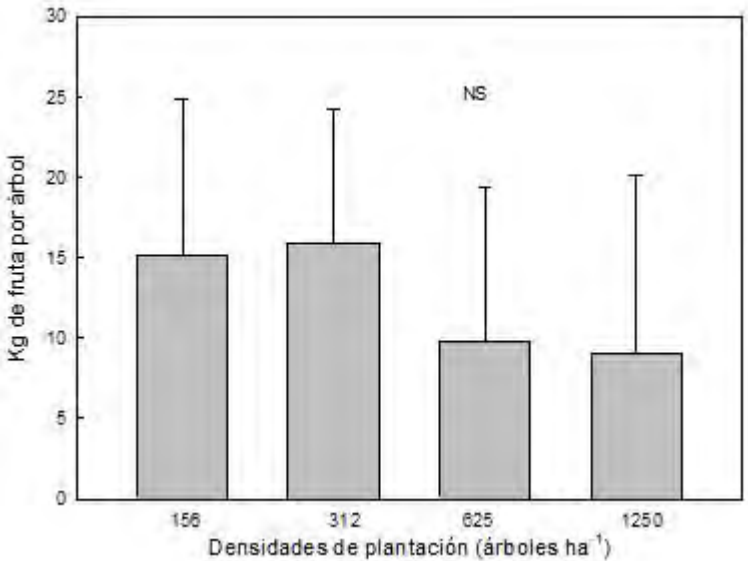


Figura 1. Rendimiento de frutos por árbol (kg) en diferentes densidades de plantación. NS= diferencia estadística no significativa; barras ± error estándar.

La altura fue controlada con la poda después de cada cosecha con el fin de facilitar las prácticas de manejo; además de que, los árboles de gran tamaño dificultan y hacen ineficiente y peligrosa la cosecha, como lo mencionan Rebolledo *et al*., 2018 en donde utilizaron patrones de mango para obtener árboles de porte bajo. El rendimiento por hectárea se fue incrementando al aumentar la densidad de plantación (p≤ 0.05); se obtuvieron 11.3 toneladas por ha, en la densidad de 1250 plantas por hectárea mientras que en las densidades menores se obtuvieron 2.3 y 4.9 toneladas por hectárea (Figura 3). Estos resultados proponen que la densidad de 312 plantas por ha tiene espacio suficiente entre las hileras de plantación (ocho

metros por cuatro metros) para poder intercalar cultivos de ciclo corto entre en un 50% del espacio libre entre las hileras.

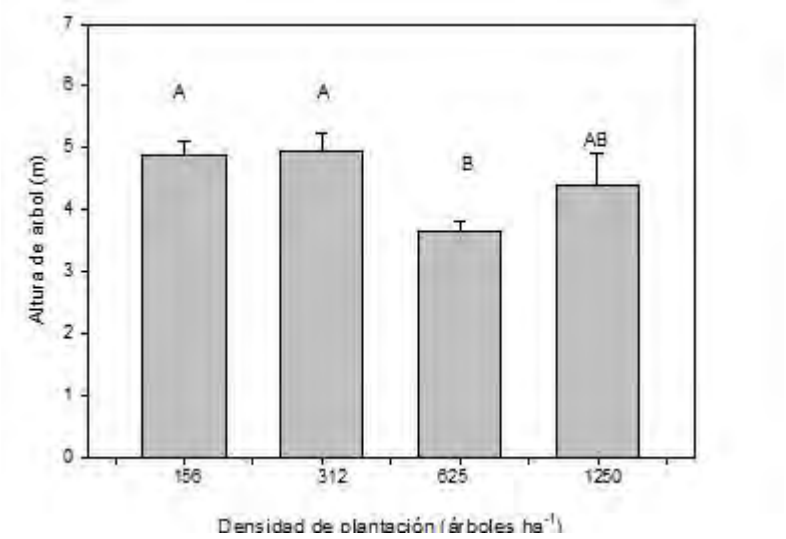


Figura 2. Altura de árboles de chicozapote en cuatro densidades de plantación. Letras diferentes representan diferencias estadísticas significativas (p=0.038); barras ± error estándar.

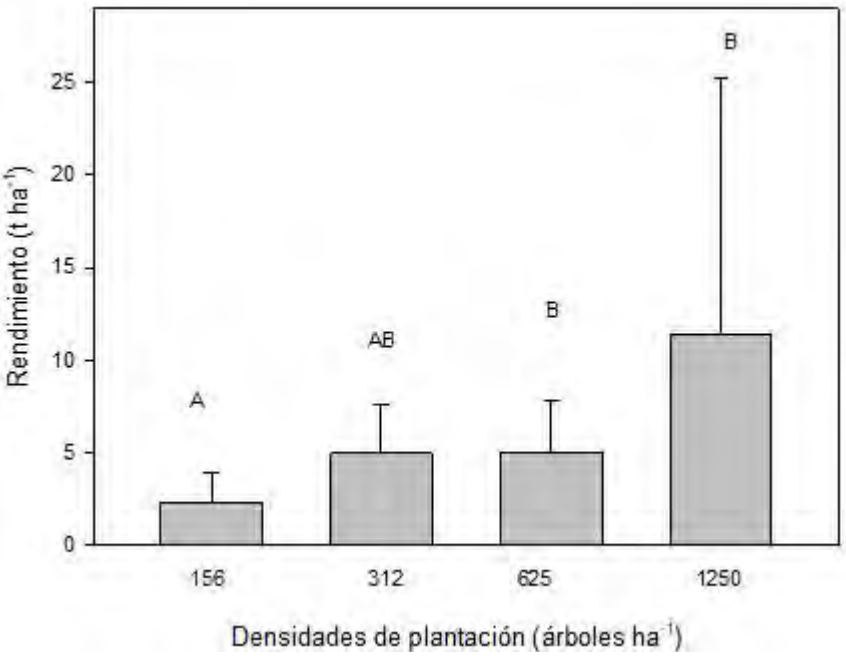


Figura 3. Rendimiento por ha de frutos en cuatro densidades de plantación de chicozapote. Letras diferentes representan diferencias significativas; barras ± error estándar.

La acidez titulable presentó diferencia estadística significativa entre los cuatro tratamientos (Figura 4), sin embargo, el análisis de varianza detectó diferencias estadísticas en el contenido de sólidos solubles totales (grados Brix), en donde las densidades de plantación mayores tuvieron los valores más altos (Figura 5) sin haber coincidencia lo indicado por Pinedo *et al.,* (2004) y Mejía *et al.* (2008) quienes encontraron que los grados Brix disminuyen cuando la densidad de plantación aumenta en el cultivo de durazno.

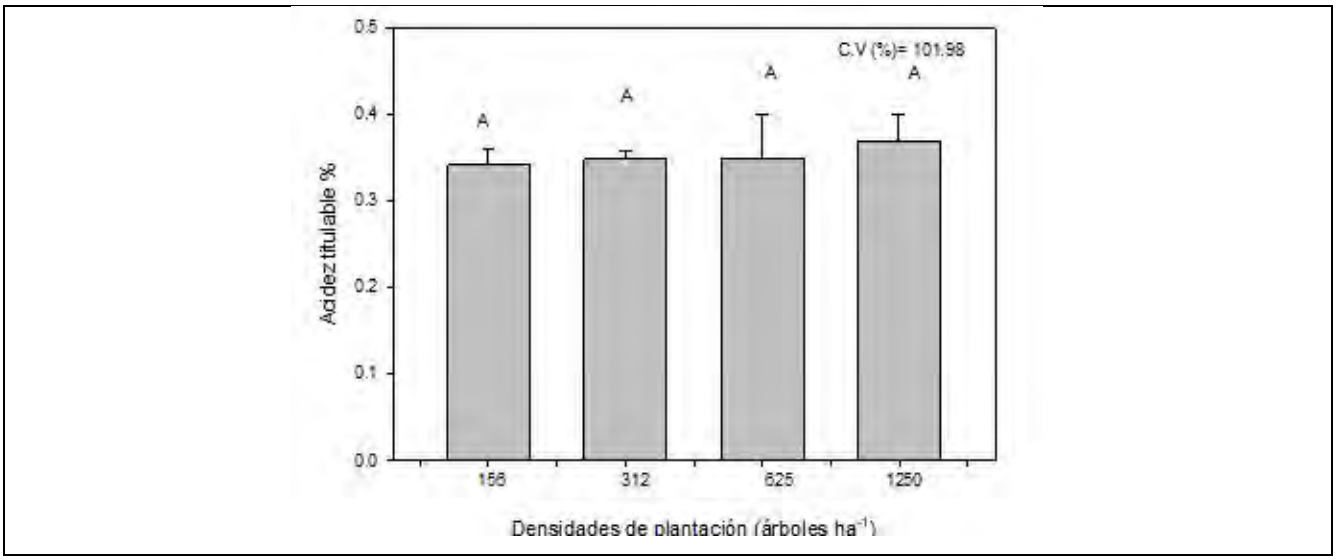


Figura 4. Acidez titulable de frutos de chicozapote en cuatro densidades de plantación, (p=0.511), letras diferentes representan diferencias significativas.

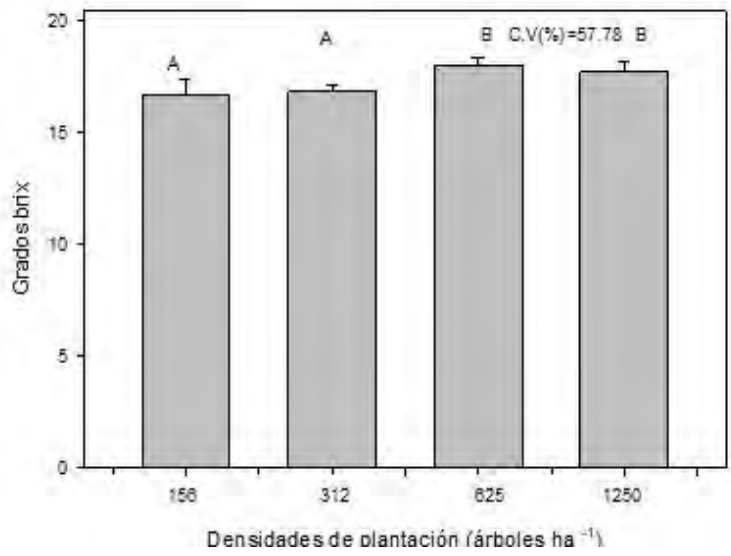


Figura 5. Grados brix en frutos de chicozapote en cuatro densidades de plantación, (p=0.007), letras diferentes representan diferencias significativas.

Conclusiones

Con los modelos estadísticos ajustados se pueden estimar parámetros de crecimiento como el área foliar, biomasa en fresco y seca con base en el producto de la multiplicación de el largo por el ancho de la hoja y con el volumen del tallo. Los mejores rendimientos, así como el contenido de sólidos solubles totales se obtuvieron con las densidades de 625 y 1250 plantas por hectárea.

Literatura Citada

Alcántara, B. S. 2017. Niveles de poda, brotación, desarrollo y rendimiento en chicozapote (*Manilkara zapota* L.), durante el primer año, en densidad de plantación intensiva, en huertas adultas.

Aldrete, T. M. Y G. Ramírez. 2005. Chicle natural: producto que conserva la selva trpical del Gran Petén. P. 92-99. In: López, C., S. Chafón y. Segura (eds.). La riqueza de los bosques mexicanos más allá de la madera: experiencias de comunidades rurales. SEMARNAT. CECADESU. CONAFOR. Procymaf II. CIFOR. México, D.F.

Bautista, R. B., M. de L. Arévalo G., C. Saucedo V. y M. T. Martínez D. 2005. Proceso de maduración de frutos de chicozapote *Manilkara zapota* (L.) P. Royen tipo Fino. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2):387-391.

Flores, F. J. y García, C. 2011. ¿Somos lo que comemos o comemos cómo somos? Centro de estudios Ramón areces. S. A. España: P. 48.

Heaton, H. J., R. Whitkus and A. Gómez-Pompa. 1999. Extreme ecological and phenotypic differences in the tropical tree chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) are nor matched by genetic divergence: A random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis. Molecular Ecology 8:627-632.

León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. IICA. San José, Costa Rica. 445 p.

Mejía, E., Flores, J., Fernández, A., Romero, E., Contreras, D. 2008. Fruit quality of peach trees growing under the milpa system intercropped with fruit trees in hillsides. Agricultura Técnica en México. 34:159-166.

Newman, M.F. 2008. Flora del Valle de Teotihuacán y Cuicatlán. Fascículo 57: Sapotaceae Juss. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 29 p.

NHB (National Horticulture Board). 2012. NHB Interactive: Area and Production Report. http://nhb.gov.in/OnlineClient/rptProduction.aspx

Ousthuyse, S. A. (2005). Mejoramiento productivo en mango cultivado en alta densidad sobre árboles pequeños. SQM Europe N. V. Antwerpen, Belgium. 8P.

Pinedo, J.M., Cortés, C.J.I., Colinas, M.T., Turrent, A., Alcazar, G., Rodríguez, J., Livera, M., Hernández, A.D. 2004. Calidad del fruto de durazno 'diamante' y 'cp–88–8' intercalados en maíz y frijol. Revista Chapingo Serie Horticultura 10:211-217.

Rebolledo, M. A. Del Ángel P., E. N. Becerra L., X. Rosas G. y R. Zetina L. 2009. Frutales tropicales no tradicionales para Veracruz. Folleto Técnico Núm. 45. INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 110 p.

Rebolledo, M. A., Del Ángel P. A., y Peralta, A. N. 2012. El chicozapote en México: usos y técnicas de cultivo. INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.

Rebolledo-Martínez A. 2002. Relaciones hídricas, nutrimentales y desarrollo de tres cultivares de piña en densidades intensivas de plantación con y sin cubierta plástica. Tesis Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 209 p.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2016. Cierre de la producción agrícola por estado.

Vázquez- Valdivia, V.; Pérez- Barranza, M. H.; Salazar- García, S.; Becerra-Bernal, E. 2005. Crecimiento, nutrición y rendimiento del mango “Ataulfo” con interinjerto de porta bajo “Esmeralda”. Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2):209-213.

FRUITONE CPA, AVIGLYCINE Y PODA DE HOJAS EN PIÑA MD-2 PARA EVITAR FLORACIONES PREMATURAS INDESEABLES

María E. López Vázquez [1], Andrés Rebolledo Martínez[1*], Naín Peralta Antonio[1], Gerardo Montiel Vicencio[1], Rosa Laura Rebolledo García[1], Laureano Rebolledo Martínez[1], Ramiro Murillo Capetillo[2] y Carlos A. Tinoco-Alfaro[1]

Resumen

Con la finalidad de evitar sobreproducción de piña en junio y julio y escasez en septiembre y octubre, es necesario impedir que las plantas florezcan como lo hacen de manera natural en el invierno. Las condiciones de baja temperatura y días de corta duración permiten que las plantas sean diferenciadas morfológicamente al pasar de un crecimiento vegetativo a reproductivo. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de reguladores de crecimiento vegetal y la poda de hojas sobre la disminución de la floración natural en plantas de piña MD-2 en la región del bajo Papaloapan. El experimento fue establecido junio de 2019 con el híbrido de piña MD-2; La aplicación de los tratamientos se inició a partir de la última semana de octubre del mismo año en plantas con un peso promedio de 1.60 kg. El diseño experimental fue el de bloque al azar con cuatro repeticiones; cada unidad experimental constó de 20 m^2. Los tratamientos fueron 15, en donde se evaluaron dosis y número de aplicaciones de Aviglycine (AVG), Fruitone CPA y poda de hojas al 30%. Se midió el peso de plantas al inicio de la aplicación de los tratamientos y el porcentaje de floración natural. El análisis de varianza mostró diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Los resultados mostraron que los tratamientos con la poda de hojas al 30% más AVG, tuvieron una reducción de la floración natural del 85% en relación con el testigo; los tratamientos a) 1400 mg/L de AVG en dos aplicaciones; b), 1400 mg/L de AVG en una aplicación y; c) 7, 2100 mg/L de AVG en tres aplicaciones, tuvieron inhibición floral de 70% y el Fruitone CPA con poda tuvo el 95% de eficiencia, mientras que en el Fruitone CPA sin poda, la floración se redujo el 86%.

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz, México, CP. 94270. *Autor por correspondencia: rebolledo.andres@inifap.gob.mx
[2] Asesor agrícola independiente.

Palabras clave: floración, reguladores de crecimiento, inhibición floral

Introducción

Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Nayarit, aportan el 72, 6.5, 5.2 y 7.7% de la producción de piña en México, respectivamente, equivalente a 808,000 t por año, de las cuales el 75% se consume en fresco, el 5% se exporta en fresco y el resto es procesado por la industria (SIAP, 2020; Hydro Environment, 2017).

La piña es de los pocos cultivos que responden al tratamiento de inducción de la floración lo que permite la programación de la cosecha a lo largo del tiempo (Rebolledo *et al*., 1997; Bartholomew, *et al*., 2003) sin embargo, la floración natural es uno de los principales problemas que enfrentan los productores piñeros de México; esta floración natural, también denominada precoz en otros lugares, ocurre en las plantas que no han alcanzado el peso mínimo de 2.5 kg y por ello producen frutos pequeños sin calidad comercial. Se presenta cuando existen temperaturas bajas, lo cual ocurre durante el invierno, en donde la temperatura mínima promedio es de 17.5ºC, de noviembre a febrero, y cuando el fotoperiodo es corto; por la ubicación geográfica donde se cultiva la mayor parte de la piña en México, se presenta una diferencia de 2 h con 10 min entre la máxima duración del día en junio (13:13 h) y la mínima en diciembre (11:03 h). Estas condiciones provocan que exista alrededor de un 25% de plantas florecidas de manera natural, lo cual es indeseable, debido principalmente, a que, alrededor del 25% de la producción se concentra en prácticamente dos meses del año (junio y julio), lo que ocasiona una sobreproducción y desplome de precios de venta en el mercado nacional; en contraste, esto ocasiona una baja producción de la fruta en septiembre y octubre, donde se logran los mejores precios; asimismo, se alteran los programas de manejo de la plantación y la planificación de la cosecha, lo cual afecta los compromisos de venta, sobre todo para el mercado de exportación (Rebolledo *et al*., 1998a; Rebolledo *et al*., 2016; Uriza *et al*., 2018).

En México, ubicado en el hemisferio norte, la diferenciación natural de la piña ocurre en promedio entre la última semana de noviembre y la segunda de febrero (Uriza *et al*., 1994), con porcentajes muy variables y altamente relacionados con el peso y edad de los vástagos al momento de la plantación, la fecha de establecimiento y la ocurrencia de bajas temperaturas

(Reyes, 1992). En Australia, el problema se agudiza debido a que sus regiones productoras se localizan entre los 25° y 28° de latitud sur, es decir casi 10° más que en México, por lo que las floraciones naturales pueden representar entre el 50 y 60% (Scott, 1992).

Para intentar reducir este problema al mínimo, se ha evaluado el efecto de diferentes inhibidores que bloquean la cadena de biosíntesis del etileno y en consecuencia la floración (Sanford y Bartholomew, 1981; IRFA, 1987; Scott, 1992). Las evidencias muestran que el nitrato de plata, en concentraciones que van de 30 a 180 mg/L, divididos en seis aplicaciones a intervalos de 15 días e iniciando dos meses antes de la diferenciación floral, reduce o retrasa la floración; lo mismo hace el tiosulfato de plata, que aunque es más económico, tiene efecto fitotóxicos en el cultivo (IRFA, 1987); sin embargo, en México, en 'Cayena Lisa', con el nitrato de plata sólo se obtuvo el 47% de inhibición floral, mientras que el ácido giberélico y el bromacil no tuvieron ningún efecto inhibidor (Rebolledo *et al*., 1998b).

En otro trabajo (Scott, 1992), se evaluaron al Fruitone CPA (ácido 2-3 clorofenoxi propiónico), el cual se usa también como retardante de la maduración e incremento del peso de la fruta de piña (Rebolledo *et al*., 2002a) y al paclobutrazol en varias dosis, en donde los mejores tratamientos de ambos productos presentaron sólo un 8.2% y un 28% de floración natural, respectivamente, mientras que los testigos sin aplicación alcanzaron entre un 48% y un 55% de floración. Concluye que Fruitone CPA a razón de 50 mg/L utilizando 3,000 L de agua por hectárea y aplicado a mediados de marzo, para las condiciones de Queensland, Australia, fue el tratamiento más efectivo.

En México, con el cultivar Cayena Lisa, con 100 mg/L de ingrediente activo de Fruitone CPA dividido en tres aplicaciones cada 15 días, la floración ha sido inhibida hasta un 90%, sin provocar quemaduras en las plantas, con respuestas más favorables en densidades de plantación mayores, plantas más jóvenes y mejor nutridas (Rebolledo *et al*., 1997; Rebolledo *et al*., 2000). Se evaluó el Fruitone CPA en el híbrido piña MD-2 y se encontró que las concentraciones de 130 mg/L con cuatro aplicaciones iguales o 100 mg/L en una aplicación, en plantas de 2.02 kg de peso al momento de iniciar la aplicación del regulador de crecimiento, inhibieron la floración en más del 95% (Rebolledo *et al*., 2021a).

Chin-Ho *et al*. (2007) evaluaron dosis de Aviglycine (AVG) como inhibidor de la biosíntesis de etileno y encontraron que con 500 mg/L se redujo la floración natural del 95% al 51.3%. Este compuesto también fue evaluado por Castro y Loría (2017) en Costa Rica en alto y en bajo

volumen para reducir la floración natural de ‘MD-2’ durante el periodo de mayor susceptibilidad, encontrando que plantas de 1.7 a 1.87 kg tratadas con alto volumen de solución a concentraciones de 25, 50 y 100 ppm presentan una reducción de la tasa de floración natural de 6.3, 6.9 y 43.7%, respectivamente, identificando también que la dosificación por hectárea es el factor que define su eficacia. Bajo las condiciones de este estudio no se observó que el fenómeno de floración natural de la inflorescencia se relaciona con la exposición de la plantación por un tiempo mayor a 50 minutos diarios en condiciones de temperatura inferior a 20°C, asociados a un diferencial diario menor a 4°C. La aplicación de AVG en altas concentraciones inicia una reacción clorótica temporal en las plantas, misma que termina al concluir los ciclos de aplicaciones. Asimismo, la AVG no mostró un efecto negativo en la sensibilidad de ‘MD-2’ a la inducción artificial de la floración mediante aplicación foliar de gas etileno.

En Australia se ha trabajado con ingeniería genética para producir plantas de piña que no florezcan de manera natural. Han clonado el gen de la ACC sintetasa proveniente de la piña, expresada en meristemos y activadas bajo las condiciones ambientales que inducen la floración natural (ACACS1). Las construcciones genéticas han estado produciendo contenidos de ACACS1 en sentido y orientación para inducir los silenciadores del gen por mecanismos de cosupresión. Las plantas transgénicas se han producido y conducido en trabajos de campo durante cuatro años para estudiar las características de las líneas transgénicas. Se han identificado un número de líneas transgénicas con comportamientos promisorios que parecen tener inhibición natural de la floración (Trusov *et al*., 2006).

Otra variante para evitar la floración natural es acortar el ciclo de cultivo a solamente un año y producir fruta de piña en la época de escasez, sin la aplicación de algún regulador del crecimiento vegetal. La técnica consiste en conjugar varios componentes tecnológicos con la máxima precisión posible (Rebolledo *et al*., 1998); se deben de plantar vástagos de 500 g en septiembre y octubre en el sistema de acolchado plástico al suelo (Rebolledo *et al.,* 1997); si la plantación es en noviembre, el peso del hijuelo deberá incrementarse a 700 g. La densidad de plantación puede ser de 30,000 a 45,000 plantas/ha. La fertilización es líquida y su aporte es con el uso del sistema de riego por goteo; la aplicación de nutrimentos es semanal y la cantidad es la misma que recomiendan Rebolledo *et al*. (1998a) de 15-8-15-4 g de N-P-K-Mg por planta por ciclo, dividida durante nueve meses, desde la plantación hasta la floración. Bajo

este manejo estricto e intensivo, la planta de piña está lista para aplicar el tratamiento de inducción floral a los seis o siete meses de edad, desde mediados de marzo hasta principios de mayo. La poda o rasurado de las hojas de la planta de piña es una práctica poco estudiada y puede tener potencial para evadir la floración natural ya que la planta al ser rasurada, inicialmente se debilita, pero después se desarrolla con menos estrés ya que el ritmo fisiológico se reduce (Uriza *et al*., 2018). Al respecto, Rebolledo *et al.* (2021b), encontraron que la poda de hojas al 30% y al 95% tuvieron el 80% de inhibición floral; sin embargo, cuando la poda al 30% se combina con la aplicación de Fruitone CPA en dosis 66 mg/L en dos aplicaciones, la inhibición floral es muy cercana al 100%. También, la poda del 95% de las hojas tiene un efecto positivo significativo, sin embargo, la planta retrasa ligeramente su crecimiento.

A partir de toda la información obtenida y los trabajos realizado en varias partes del mundo, se puede decir que la floración natural sigue siendo uno de los principales problemas del cultivo de la piña, y que puede ocurrir incluso en plantaciones cuidadosamente planificadas y gestionadas para evitar esta incidencia (Cunha, 2005).

Gran parte de los trabajos realizados en este tópico, se han tomado como base al cultivar Cayena Lisa, mayormente cultivado en el mundo; sin embargo, el híbrido MD-2, presenta diferencias marcadas con respecto a 'Cayena Lisa' (Rebolledo 2002b; Rebolledo *et al*., 2002a y Rebolledo *et al*., 2006). Este híbrido es importante porque la superficie cultivada en México se está incrementando de manera importante, además de ser el único genotipo que tiene nuestro país para competir en el mercado internacional de fruta fresca.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del Aviglycine, el Fruitone CPA y la poda de hojas para la reducción de la floración natural en plantas de piña MD-2 en la región del bajo Papaloapan.

Materiales y Métodos

El experimento estableció en la Cuenca Baja del Papaloapan, donde se cultiva el 80% de la piña del país, en el municipio de Isla, Veracruz, en la finca de un productor cooperante denominada "Las Maravillas", ubicada a 18º 06' LN y 95º 34' LO, a 50 m de altitud. El clima de la región es Aw_0, clasificado como el más seco de los sub-húmedos (García, 1988) con

temperatura media anual de 24°C; el periodo más frío es de diciembre a febrero con un promedio de 19°C y el más caliente de abril a junio con un promedio de temperaturas máximas de 37°C. El suelo es cambisol dystrico, de textura predominante migajón-arenosa, pobre en materia orgánica y nutrimentos, el pH varía de 4 a 4.5, con 3.5 como valor extremo y 0.06 dS/m de conductividad eléctrica.

El material genético de piña utilizado fue el híbrido “MD-2”, uno de los dos más importantes a nivel nacional y el único aceptado por el mercado para la exportación en fresco; la preparación del terreno se inició en junio con el paso de dos rastreos y un subsoleo; la segunda quincena de julio se hicieron las camas de plantación con una distancia de centro a centro de 1.1 metros. La plantación se realizó la última semana de julio de 2019 y se utilizó el material propagativo denominado “clavo” de 800 g. La densidad de plantación fue de 50,000 plantas por hectárea.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental fue de dos camas de 5 m de largo en donde se evaluaron 15 tratamientos de: poda de hojas, AVG y Fruitone CPA 8%. La poda de hojas se realizó con machete haciendo un corte transversal de la planta al 30% de las hojas, de acuerdo con el tratamiento. El Fruitone CPA y el AVG fueron aplicados con bombas aspersoras de mochila en aspersión total con 60 mL de la solución por planta, espaciadas cada 15 días en concentraciones de acuerdo con el tratamiento.

Los tratamientos fueron los siguientes: 1, Testigo; 2, 350 mg/L de AVG en una aplicación; 3, 700 mg/L de AVG en dos aplicaciones; 4, 700 mg/L de AVG en una aplicación; 5, 1400 mg/L de AVG en dos aplicaciones; 6, 1400 mg/L de AVG en una aplicación; 7, 2100 mg/L de AVG entres aplicaciones; 8, 700 mg/L de AVG en una aplicación; 9, 1400 mg/L en cuatro aplicaciones; 10, 700 mg/L de AVG en dos aplicaciones más poda de hojas al 30%; 11, 1400 mg/L en dos aplicaciones más poda de hojas al 30%; 12, 400 mg/L de AVG en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%; 13, 1400 mg/L de AVG en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%; 14, 128 mg/L de Fruitone CPA en cuatro aplicaciones; 15, 128 mg/L de Fruitone CPA en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%.

Los tratamientos fueron iniciados en los primeros días de noviembre de 2019. Se midieron las variables: peso de planta, a inicio de noviembre, 106 días después de la plantación, de acuerdo con la metodología de Sanford (1961) y Rebolledo (2002b) y porcentaje de floración natural en marzo de 2020.

Resultados y Discusión

Antes de iniciar la aplicación de los tratamientos correspondientes, se hizo un muestreo en cada unidad experimental para conocer el peso de la planta en tres categorías: grandes, medianas y chicas, así como el porcentaje de cada uno de estos tres tamaños (Rebolledo *et al*., 1998a). Es importante tener esta información ya que la floración natural de la piña, además de ocurrir con temperaturas bajas y fotoperiodo corto, también influye su estado de desarrollo ya que plantas jóvenes y adultas son más susceptibles a la diferenciación floral invernal. De esta manera, se espera que las plantas más grandes tengan mayor sensibilidad a la floración, en contraste con las menos vigorosas. En el Cuadro 1, los valores indican que el 70.6% de las plantas del experimento presentaron pesos de 1.6 kg; las plantas grandes (19.6%) tuvieron peso promedio de 2.36 kg, mientras que las pequeñas pesaron 1.01 kg en el 11.2% de los casos.

Cuadro 1. Porcentaje y biomasa de plantas grandes, medianas y chicas de piña MD-2 al momento de iniciar los tratamientos del experimento sobre el control de la floración natural.

Tratamientos	Peso de planta grande (kg)	% de plantas grandes	Peso de planta (kg)	Planta mediana (%)	Peso de planta (kg)	Plantas chicas (%)
1	2.00	20.00	1.40	70.00	0.63	10.00
2	2.60	25.00	1.50	66.67	1.15	8.33
3	2.55	27.27	1.60	72.73	1.45	9.09
4	2.60	33.33	1.90	66.67	1.00	14.29
5	2.50	19.05	1.80	71.43	1.00	9.52
6	2.50	13.64	1.40	72.73	0.95	13.64
7	2.85	18.18	1.65	72.73	1.33	9.09
8	2.55	20.83	1.75	66.67	1.20	12.50
9	1.80	17.39	1.70	65.22	1.20	17.39
10	2.50	17.39	2.15	69.57	1.45	13.04
11	1.90	13.64	1.35	72.73	0.80	13.64
12	2.10	18.18	1.40	77.27	1.00	4.55
13	1.80	16.67	1.45	75.00	1.10	8.33
14	2.65	20.00	1.70	68.00	0.80	12.00
15	2.50	13.64	1.40	72.73	1.20	13.64
Media	2.36	19.6	1.6	70.6	1.01	11.2

En la Figura 1 se observa que tratamientos con la poda de hojas al 30% más AVG, tuvieron una disminución de la floración natural del 80% en relación con el testigo; mientras que, en relación con el tratamiento sin poda más AVG, la floración natural se redujo al 49%; los tres tratamientos fueron estadísticamente diferentes entre ellos ($p \leq 0.05$). Se observó que el AVG por sí solo, evita la floración, debido en gran parte, a la reducción de la síntesis de etileno (Sanford y Bartholomew, 1981; IRFA, 1987; Scott, 1992; Chin-Ho *et al*. 2007;), lo que provoca que las plantas continúen su desarrollo vegetativo; asimismo se observa que, al combinar la poda con AVG, el efecto inhibitorio se incrementa significativamente, lo cual coincide con Rebolledo *et al*, 2021b, quienes encontraron que la poda de hojas al 30% y al 95% tuvieron el 80% de inhibición floral; pero, cuando combinaron la poda al 30% con Fruitone CPA en dosis 66 mg/L en dos aplicaciones, la inhibición floral fue cercana al 100%.

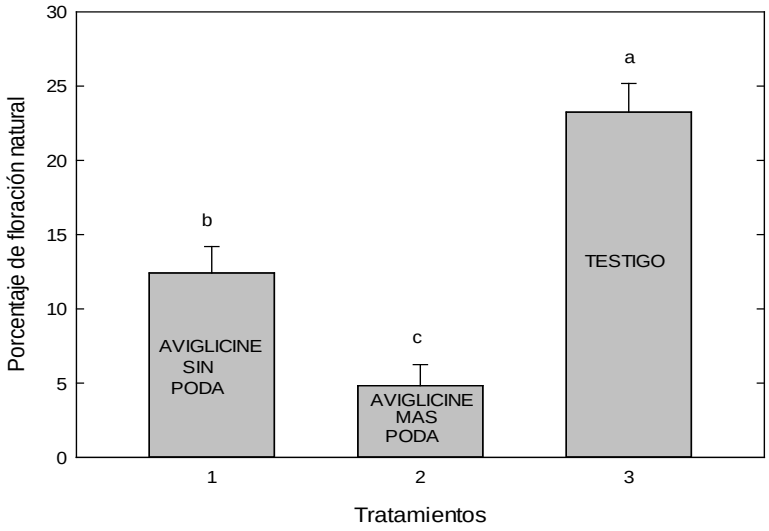


Figura 1. Porcentaje de floración natural en piña MD-2 con poda y sin poda de hojas al 30% en combinación con AVG. Letras diferentes indican diferencias estadísticas altamente significativas; barras ± error estándar.

En la Figura 2 se muestra la diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos ($p \leq 0.05$). Sobresalen estadísticamente los tratamientos: 11, 1400 mg/L en dos aplicaciones más poda de hojas al 30%; 12, 400 mg/L de AVG en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%; 13, 1400 mg/L de AVG en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%; 14, 128 mg/L de Fruitone CPA en cuatro aplicaciones; 15, 128 mg/L de Fruitone CPA en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%, los cuales tuvieron el 85% de inhibición floral. Estos

tratamientos son una combinación poda con los reguladores de crecimiento, a excepción del tratamiento 14, que es solo Fruitone CPA.

En el mismo sentido, los tratamientos 5, 1400 mg/L de AVG en dos aplicaciones; 6, 1400 mg/L de AVG en una aplicación y 7, 2100 mg/L de AVG entres aplicaciones tuvieron inhibición floral de 70%, por lo que sería de interés continuar estudiando a fin de encontrar información que incremente su eficiencia sobre la floración de piña (Chin-Ho *et al*., 2007). Los tratamientos 2, 350 mg/L de AVG en una aplicación; 3, 700 mg/L de AVG en dos aplicaciones, 4, 700 mg/L de AVG en una aplicación; y 8, 700 mg/L de AVG en una aplicación, fueron estadísticamente iguales al testigo, por lo que no tuvieron efecto sobre la floración natural.

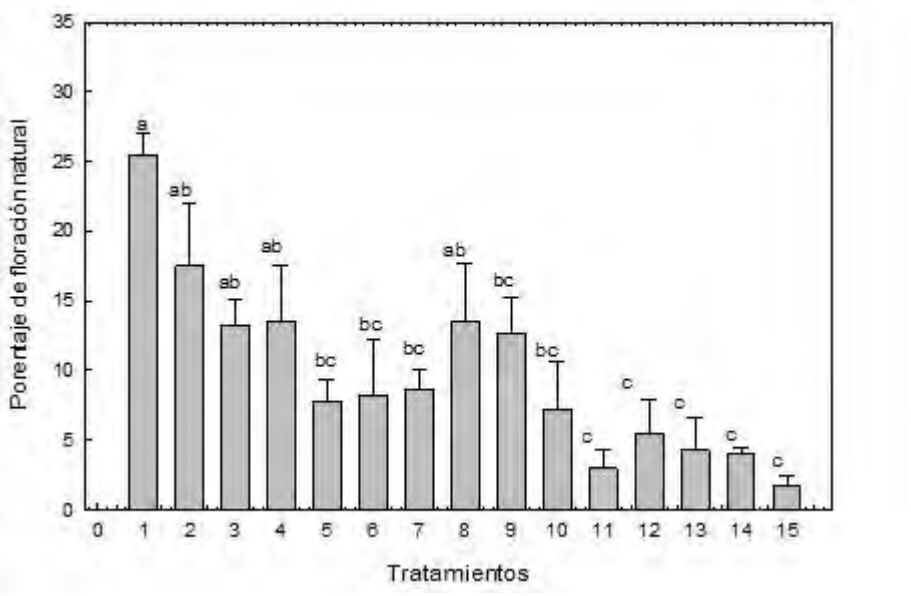


Figura 2. Tratamientos para controlar la floración natural en piña MD-2: 1, Testigo; 2, 350 mg/L de AVG en una aplicación; 3, 700 mg/L de AVG en dos aplicaciones; 4, 700 mg/L de AVG en una aplicación; 5, 1400 mg/L de AVG en dos aplicaciones; 6, 1400 mg/L de AVG en una aplicación; 7, 2100 mg/L de AVG entres aplicaciones; 8, 700 mg/L de AVG en una aplicación;; 9, 1400 mg/L en cuatro aplicaciones; 10, 700 mg/L de AVG en dos aplicaciones más poda de hojas al 30%; 11, 1400 mg/L en dos aplicaciones más poda de hojas al 30%; 12, 400 mg/L de AVG en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%; 13, 1400 mg/L de AVG en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%; 14, 128 mg/L de Fruitone CPA en cuatro aplicaciones; 15, 128 mg/L de Fruitone CPA en cuatro aplicaciones más poda de hojas al 30%. Letras diferentes indican diferencias estadísticas altamente significativas; barras ± error estándar.

Se pudo observar que el fenómeno de la floración floral impacta en los procesos de la programación de la cosecha (Rebolledo *et al*., 1997; Bartholomew, *et al*., 2003); en este trabajo la floración ocurrió en más del 100% en plantas grandes de 2.36 kg al momento de la aplicación

de los tratamientos, lo cual confirma que plantas adultas en invierno florecen de manera natural (Reyes, 1992) y se relaciona con el incremento en la síntesis de etileno (Sanford y Bartholomew, 1981; IRFA, 1987; Scott, 1992). Los reguladores del crecimiento vegetal han sido una herramienta importante para lograr inhibir la floración de piña como el Fruitone CPA y el AVG (Scott, 1992; Rebolledo *et al*., 1997); así, los resultados en este trabajo en el híbrido MD-2, han sido relativamente iguales a los obtenidos con otras variedades como la Cayena Lisa (Rebolledo, *et al*, 2021a). Otro componente novedoso en este estudio es el de la práctica de poda de hojas (Uriza *et al*., 2018) quienes indicaron que se deben de hacer estudios en relación con esta práctica; los resultados sobre la poda de hojas en este experimento coinciden con los obtenidos por Rebolledo *et al* 2021b, quienes lograron eficiencias en la inhibición de la floración del 95%, al combinar la poda de hojas con 66 mg/L de Fruitone CPA en dos aplicaciones. Se sugiere que el efecto de la poda sobre la evasión de la floración natural se debe a la mayor entrada de luz y radiación solar que permite que la planta continúe su crecimiento sin cambios morfológicos en el meristemo apical.

Conclusiones

Las podas tuvieron un efecto sobresaliente sobre el control de la floración natural; asimismo, el AVG y el Fruitone CPA mostraron un efecto positivo sobre la inhibición de la floración que fue incrementado cuando se aplicó la poda de hojas al 30%. Las plantas grandes de 2.36 kg sin tratamiento, tuvieron porcentajes del 100% en la floración natural, por ser plantas adultas al momento de la llegada del invierno. Se sugiere seguir estudiando estos componentes con otras prácticas de manejo sustentable para el control de la floración invernal en piña.

Literatura Citada

Bartholomew D, P., E Paul R., and G Rohrbach K. 2003. The pineapple botany, production and uses. CABI Publishing. Unversity of Hawaii at Manoa. Honolulu, HW, USA. 320 p.

Castro J., Z. y D. G. Loría V. 2017. Eficacia de aviglicina en la reducción de la floración natural en piña en Costa Rica. Acta Horticulture 1239:15-26.

Cunha, Getulio Augusto Pinto da. Applied aspects of pineapple flowering. Bragantia. [online]. 2005. 64(4):499-516. https://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052005000400001

Chin-ho Lin, Chin-san Kuan, Mei-Li Lin, Hsin-Tszu Hsu, Yu-Mei Hsu, Chin-Wen Yu, D.P. Bartholomew. 2007. Delaying natural flowering in pineapple through foliar application of aviglycine, an anhibitor of ethylene biosynthesis. HortScience 42(5):1188-1191.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. México. 217 p.

Hydro Environment. (30 de marzo de 2017). Producción de piña en México. Obtenido de https://hidroponia.mx/produccion-de-pina-en-mexico/

IRFA (Institut de Recherches sur les Fruits et Agrumes). 1987. Les Recherches sur ananas. FRUITS 42(11):655-656.

Rebolledo, M. A., D.Uriza A, and L. A. Aguirre G. 1997. Flowering inhibition in pineapple with different rates of CPA on two planting densities). Acta Hort. 425:347-354.

Rebolledo M A., D, Uriza A y L. Rebolledo M. 1998a. Tecnología para la producción de piña en México. INIFAP-CIRGOC Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Num. 20. Veracruz, México. 159 p.

Rebolledo M A., D, Uriza A y L. Rebolledo M. 1998b. Uso de nitrato de plata, bromacil, fruitone y GA3 para inhibir la floración en piña. XVII Congreso Nacional de Fitogenética. Acapulco Guerrero. p 231.

Rebolledo, M.A., D. Uriza. A. and L. Rebolledo M. 2000. Rates of fruitone CPA in different applications number during day versus night to flowering inhibition in pineapple. Acta Hort. 529:185-190.

Rebolledo M.A. L.M. Ruiz P., A. E. Becerril R., R. Mosqueda V., A. Castillo M., L. Rebolledo M. y D. Uriza Á. 2002a. Algunas características fisiológicas de tres cultivares de piña en dos sistemas de producción. Revista Chapingo serie Hortícola VIII (2):235-240.

Rebolledo M.A., D Uriza A., L. Rebolledo M., A. E. Becerril R., y L.M Ruiz P. 2002b. Fruitone CPA para retardar la maduración de la fruta en piña *Ananas comosus*, cv. Cayena Lisa cosechada en primavera. Revista Brasileira de Fruticultura 24(2):354-358.

Rebolledo-Martínez A. 2021b. Relaciones hídricas, nutrimentales y desarrollo de tres cultivares de piña en densidades intensivas de plantación con y sin cubierta plástica. Tesis Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 209 p.

Rebolledo M.A., A.E, Becerril R., L. Rebolledo M. y D. Uriza Ávila. 2006. Rendimiento y calidad de tres cultivares de piña en densidades de plantación. Revista Fitotecnia Mexicana 29(1):55-62.

Rebolledo, M. A., D. Uriza A., L Rebolledo M. y R. Zetina L. 2016. Piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimenal Cotaxtla. Medellín, Ver., 324 p.

Rebolledo-Martínez A., María Enriqueta López-Vázquez, Laureano Rebolledo-Martínez, Gerardo Montiel-Vicencio, Naín Peralta-Antonio y Rosa Laura Rebolledo-García, Carlos A. Tinoco-Alfaro y Daniel Uriza-Ávila. 2021a. Dosis de Fruitone CPa para el control de la floración natural de piña MD-2. p. 339-407. *In*: Zetina L. R., O. H. Tosquy V., A. L. Del Angel, P. A. Ríos, U., M. V. Vázquez H., V. Esqueda E. Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades. Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México.

Rebolledo-Martínez A., María Enriqueta López-Vázquez, Laureano Rebolledo-Martínez, Gerardo Montiel-Vicencio, Naín Peralta-Antonio, Rosa Laura Rebolledo-García Carlos A. Tinoco-Alfaro y Daniel Uriza-Ávila. 2021b. Poda de hojas y uso de malla sombra para evitar floraciones naturales en piña MD-2 y producir fuera de temporada**.** p. 387-398. *In*: Zetina L. R., O. H. Tosquy V., A. L. Del Angel, P. A. Ríos, U., M. V. Vázquez H., V. Esqueda E. Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano: Retos y Oportunidades. Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México.

Reyes, M. J. 1992. Floración prematura en piña *Ananas comosus* (l) Merr. en dos tipos de material vegetativo en cinco fechas de plantación en Loma Bonita, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlan Izcalli, México.

Sanford, W.E. 1961. Relationship between planting density fruit weight and yield. Pineapple Research Institute 9:90-96.

Sanford W. G and D Bartholomew P. 1981. Effect of silver and cobalt ions on floral Induction of pineapple by ethephon. Hortscience 15 (3):442.

Scott CH. 1992. The effect of two plant growth regulators on the inhibition of precocious fruiting in pineapple. Acta Horticulturae 334.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Cierre de la producción Agrícola por estado. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com [consultado en agosto de 2021].

Uriza A. D. E, A. Rebolledo M, D. Orona M, R. Zárate M, J.J. Reyes M. y R. Mosqueda. 1994. Manual de producción de piña para Veracruz y Oaxaca: Bajo Papaloapan. SARH. INIFAP. CEPAP. Veracruz, México. p. 65-66.

Uriza-Ávila, D.E., Torres-Ávila, A., Aguilar-Ávila, J., Santoyo-Cortés, V.H., Zetina-Lezama, R. y Rebolledo-Martínez, A. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACh. 484 p.

Trusov Yuri and J. Botella R. 2006. Silencing of the ACC synthase gene ACACS2 causes delayed flowering in pineapple [Ananas comosus (L.) Merr.] Journal of Experimental Botany 57(14):3953-3960. https://doi.org/10.1093/jxb/erl167.

EVALUACIÓN DE HÍBRIDOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) CULTIVADOS BAJO TEMPORAL EN LA ZONA DE ABASTO DEL INGENIO QUESERÍA

Jeovani Francisco Cervantes Preciado[1]*, Aarón Eduardo Cortés Ruiz[2] y Marcelino Álvarez Cilva[1]

Resumen

En un suelo franco arcilloso y en condiciones de temporal, se estableció un lote experimental con un grupo de ocho nuevos híbridos de caña de azúcar en fase agroindustrial. El objetivo del trabajo fue evaluar su adaptación y comportamiento de campo e industrial, utilizando al testigo comercial Mex 69-290 como control. Las características evaluadas fueron: precipitación pluvial, estimación del rendimiento de campo y porcentaje de sacarosa. La prueba de Tukey comparó los promedios con un nivel de confianza del 5%. Los resultados obtenidos indicaron que el híbrido MotzMex 01-403 mostró el mayor rendimiento estimado de campo (136.08 t/ha). Con respecto al porcentaje de sacarosa, los híbridos Mex 91-662 (17.8%) y MotzMex 01-403 (17.6%), obtuvieron los registros más altos, con valores superiores al control comercial Mex 69-290 (16.1%).

Palabras clave: rendimiento, sacarosa, precipitación

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp*.)* es un cultivo que se produce en más de 130 países, entre los que sobresalen Brasil (30% de la producción), India (21%), China (7%), Tailandia (4%), Pakistán (4%), México (3.5%), Colombia (3%), Australia (3%), Estados Unidos de América (2%) e Indonesia (2%) (Sentíes-Herrera y Gómez-Merino, 2014). En este contexto, México es

[1] Campo Experimental Tecomán. CIRPAC. INIFAP. *cervantes.jeovani@inifap.gob.mx
[2] Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Colima.

el sexto productor de caña y el séptimo de azúcar a nivel global (SIAP, 2015), donde mantiene un impacto socioeconómico considerable en una población de 12 millones de personas. En el país, esta agroindustria se encuentra distribuida en cinco regiones agroecológicas, y agrupa a 15 estados; actualmente el cultivo tiene presencia en más de 240 municipios en los que se produce materia prima para 57 ingenios azucareros (Mata *et al*., 2014). En México, por superficie sembrada, Veracruz es el líder en producción (campo y fábrica), con más de 287 mil hectáreas, equivalente al 35% del total. Colima, aunque no destaca como estado productor de caña de azúcar, presenta mejores rendimientos por unidad de superficie que Veracruz (64.45 t/ha), así como el promedio nacional (69.56 t/ha), con un rendimiento medio de (80.09 t/ha) (SAGARPA, 2015; CONADESUCA, 2016).

Sin embargo, desde el año 2013, Sentíes-Herrera, señaló que, en 1980, alrededor del 70% de la producción de azúcar se sustentaba en nueve genotipos y, que para 2012, este número se redujo a sólo tres. En el Manual Azucarero Mexicano 2015 se observa que las variedades predominantes son CP 72-2086, Mex 69-290 y Mex 79-431, las cuales cubren el 65% de la superficie sembrada del país y presentan una reducción productiva natural, por lo que pueden presentar rendimientos de campo muy variables en una misma zona (40 a 125 t/ha) (Cervantes *et al*., 2019), Así mismo, presentan mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, tanto de las comunes como aquellas de aparición esporádica.

Para la generación de nuevos híbridos de caña de azúcar, México cuenta con la Estación de Hibridación, actualmente a cargo del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA A.C.), ubicado en Tapachula, Chiapas, donde se realiza la hibridación de este cultivo para la obtención de la semilla genética o verdadera (Fuzz), que anualmente se distribuye en sus 11 Campos Experimentales Regionales, ubicados en lugares estratégicos del país, para su germinación y evaluación en las primeras fases de selección (cepa y surco), y posteriormente para el envío de los genotipos sobresalientes a los diferentes ingenios azucareros, donde se continua la evaluación hasta las fases finales de selección.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó dentro del área de abasto del Ingenio Quesería S.A. de C.V. en la localidad de Ocotillo, municipio de Cuauhtémoc, Colima, México. La parcela se ubica a 19°19´33´´LN y 103°40´15´´LO, a una altitud 837 m. Las condiciones edafoclimáticas del sitio son: tipo de suelo franco arenoso con pedregosidad, clima cálido húmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 23.7°C y una precipitación pluvial anual aproximada de 1200 mm.

La evaluación se realizó en fase agroindustrial ciclo soca, incluyendo un grupo de ocho nuevos híbridos de caña de azúcar (Cuadro 1), procedentes de diferentes Campos Experimentales Regionales (CER) del CIDCA A.C.; estos híbridos se compararon con el testigo comercial Mex 69-290. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad o parcela experimental, fue de cinco surcos de 8 m de longitud por 1.20 m de ancho. La parcela útil fue de tres surcos de 8 m de longitud. Las características evaluadas a los 12 meses de edad de la planta fueron: estimación de rendimiento de campo y porcentaje de sacarosa. Como variable climática se registró la precipitación pluvial ocurrida durante el ciclo de cultivo. El análisis estadístico de las variables rendimiento y sacarosa, se realizó mediante el programa SAS®. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencias de Tukey ($p<0.05$) y comprobación de hipótesis por la prueba de F.

Cuadro 1. Relación de híbridos de caña de azúcar evaluados en la localidad de Ocotillo, Colima, dentro del área de abasto del Ingenio Quesería S.A. de C.V.

Híbrido	CER de Origen	Híbrido	CER de Origen
LTMex 94- 2	CER San Pedro	Mex 96-35	CER San Pedro
ICPMex 92-1420	CER San Cristóbal	MotzMex 01-403	CER Motzorongo
Mex 97-20	CER San Cristóbal	ColMex 94-8	CER INIFAP Tecomán
Mex 91-662	CER La Gloria	Mex 95-59	CER El Estribo
Mex 69-290	Testigo		

Resultados y Discusión

Precipitación pluvial histórica y durante el desarrollo del estudio

El 77.45% de la zona de abasto del Ingenio Quesería S.A. de C.V. del grupo BSM, está clasificada como zona de temporal (12,313 ha); se ubica principalmente en la parte norte del estado de Colima y algunos municipios del sur de Jalisco. En la entidad, 17.90% de la superficie se cultiva con riego (2,846.9 ha), la cual se localiza en la parte centro y sur de Colima. Sólo el 4.65% de la superficie se cultiva con riego de auxilio (740 ha), con dos o tres riegos rodados durante los periodos más críticos del ciclo del cultivo (marzo-mayo).

En la Figura 1 se observa el comportamiento de la precipitación pluvial mensual histórica de 12 años (2007-2019), comparado con las lluvias ocurridas durante los meses en que se desarrolló el cultivo.

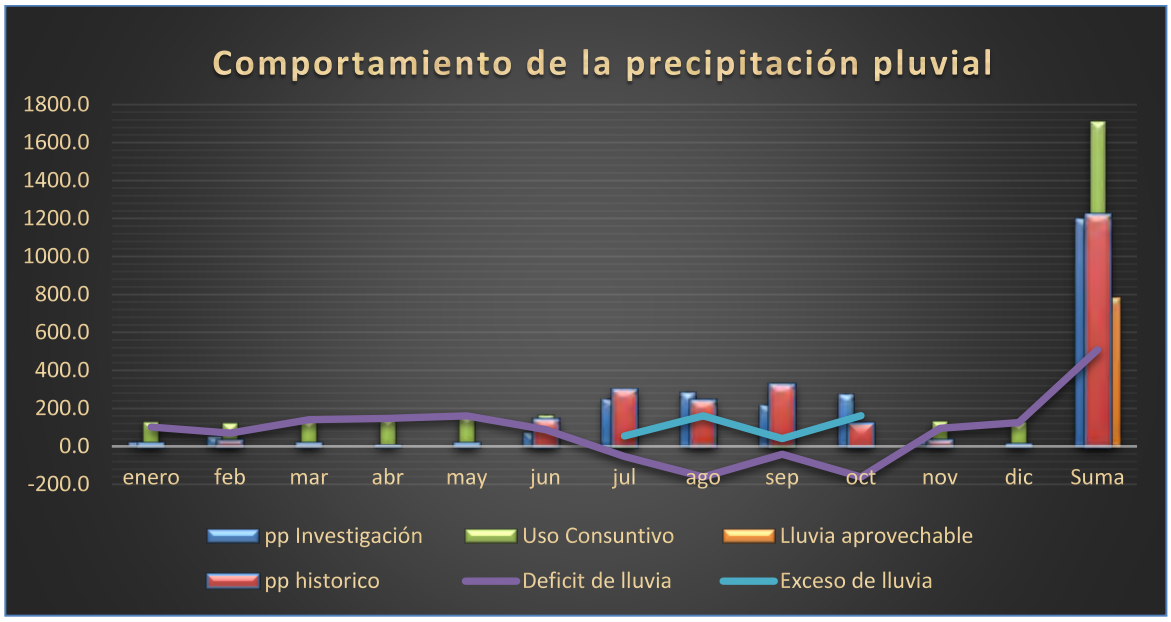


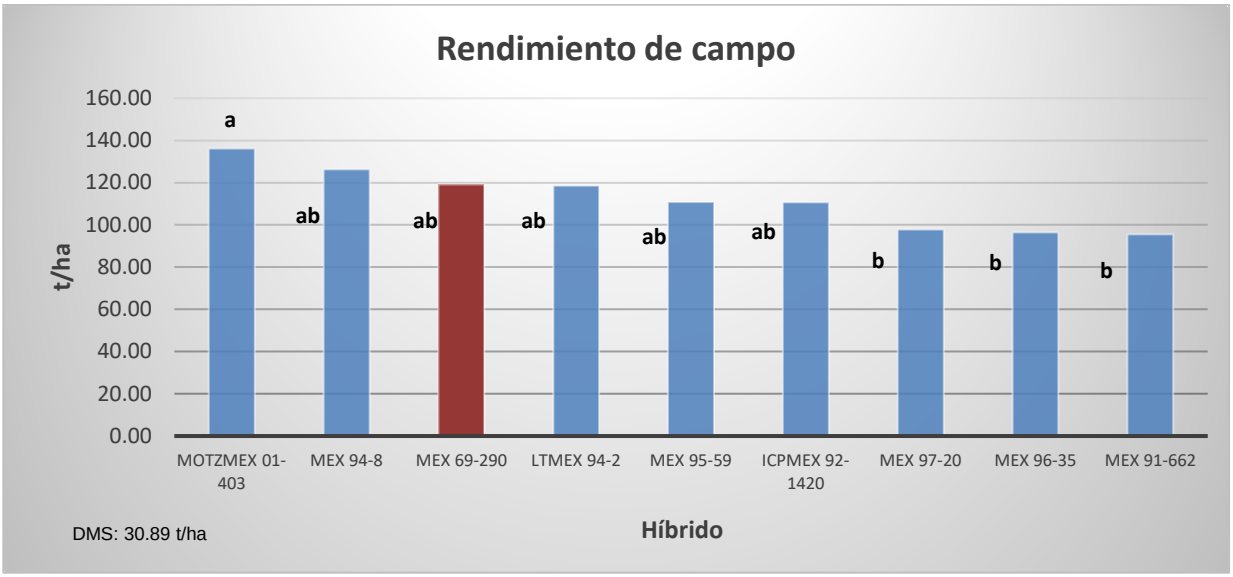
Figura 1. Promedios históricos mensuales y durante el desarrollo del estudio de híbridos de caña de azúcar en Ingenio Quesería S.A. de C.V.

Históricamente los meses donde ocurre el 92% de la precipitación son de junio a octubre, con promedio de 1,123.6 mm; en la misma Figura 1, se puede observar que al igual que los datos históricos, en los meses de junio a octubre se presentó la mayor cantidad de lluvias, con una acumulación de 1,094 mm (90% del total), lo que representa 29.6 mm menos que el promedio

histórico. Con respecto al uso consuntivo, también en la Figura 1 se observa que, los requerimientos de agua que el cultivo de la caña de azúcar necesita para su óptimo desarrollo productivo son 1712.2 mm anuales, por lo que para el periodo del estudio en los meses (noviembre a mayo), se presentó un déficit de lluvia de 926 mm, mientras que en los meses de junio a octubre se presentó un exceso de 417 mm (agua no aprovechable). Por lo tanto, al realizar el cálculo, se puede notar que, el agua aprovechable durante el periodo del estudio, es de 785.6 mm, es decir, se tuvo un déficit de 926.6 mm de agua. Por lo anterior, los híbridos evaluados pudieron verse afectados en los rendimientos agroindustriales.

Estimación de rendimiento de campo

De acuerdo a la prueba de comparación múltiple de medias por el procedimiento de Tukey ($p<0.05$), en la Figura 2, se observan diferencias significativas entre tratamientos, con un valor de 0.0012.



Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
Figura 2. Comparación de medias para la variable estimación de rendimiento por hectárea por la prueba de Tukey ($p<0.05$).

El Coeficiente de Variación (CV) fue de 11.43%. Se puede destacar al híbrido MotzMex 01-403, con un rendimiento de 136.08 t/ha; sin embargo, por la DMS obtenida de 30.89 t/ha, otros cinco híbridos son estadísticamente iguales, entre los cuales se encuentra el testigo comercial Mex 69-290, con un valor de 119.18 t/ha. El resto de los híbridos en evaluación (33.3%) son

estadísticamente inferiores. Cervantes *et al*. (2017), reportaron que, para el rendimiento de campo y fábrica en nuevas variedades, participan un grupo de variables de clima, suelo y manejo, que tienen una influencia marcada en su comportamiento.

Porcentaje de sacarosa en caña de azúcar

Es una de las variables más importantes para el productor e industrial, ya que impacta directamente con el precio de la tonelada de caña de azúcar, es decir, entre mayor sea el porcentaje de sacarosa en caña, mayor será el precio por tonelada de caña. En la Figura 3, se observa el comportamiento de los híbridos en evaluación, entre los cuales destaca el híbrido Mex 91-662, con el valor más alto a los 12 meses (17.8%), y que, de acuerdo a su curva de madurez se comportó como ciclo de madurez intermedio a tardío, al igual que los híbridos Mex 95-59 y el testigo Mex 69-290. El resto de los híbridos se pueden considerar de ciclo de madurez intermedio a precoz, que, de acuerdo a la Figura 3, su porcentaje de sacarosa descendió en el mes 12.

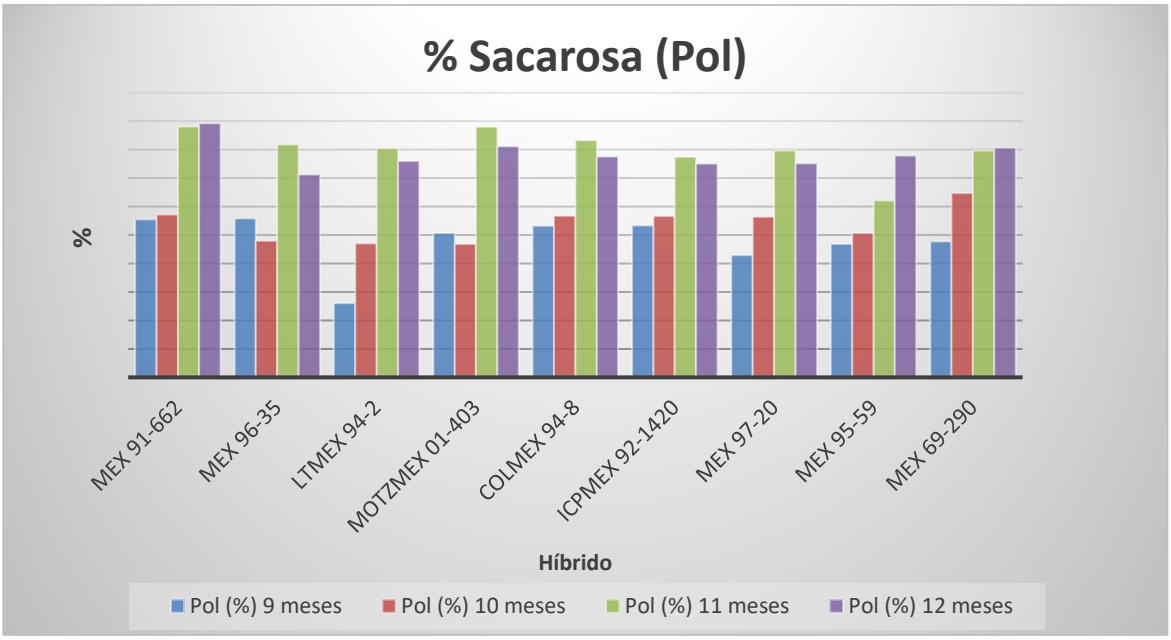


Figura 3. Análisis industrial (Pol) de los 10 a los 12 meses de edad de la planta de nuevos híbridos de caña de azúcar, Fase Agroindustrial, en la localidad de Ocotillo, Colima.

Conclusiones

1. El estudio indicó que durante el ciclo soca y bajo las condiciones edafoclimáticas particulares del lugar, el hibrido MotzMex 01-403 tuvo el mayor rendimiento de campo con 136.08 t/ha, superando con 16.90 t/ha al testigo comercial Mex 69-290, el cual obtuvo produjo 119.18 t/ha.
2. El mayor porcentaje de sacarosa a los 12 meses de edad, lo obtuvo el híbrido Mex 91-662, con un valor de 17.8%, que se comporta como un hibrido de ciclo de madurez medio a tardío.
3. Es importante continuar con la evaluación de los nuevos híbridos de caña de azúcar durante diferentes ciclos y en ambientes agroecológicos diferentes, lo cual, dará mayor certeza a la hora de la toma de decisiones por parte del gremio cañero.

Literatura Citada

Cervantes-Preciado, J. F., N. Milanés-Ramos y M. A. Castillo. 2019. Evaluación de 11 híbridos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la región central de Veracruz, México. Agroproductividad 12(3):69-74.

Cervantes, P. J. F., N. Milanés R. y J. C. García P. 2017. Evaluación de rendimiento de campo de 11 nuevos híbridos de caña de azúcar en la región central del estado de Veracruz. p. 113-118. *In*: Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático 2017. INIFAP. CP. UV. UACH. AVC. ITBOCA. ITUG. ITSH. UPH. Medellín, Ver., México.

CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). 2016. https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/infocana/Consulta/ReportesP.aspx?f=1 [consultado el 10 de octubre de 2019].

Mata, V. H., S. Patishtán P., V. H. Rodríguez-Morelos, A. Vizcaíno G. y F. Alejandro A. 2014. Recursos genéticos y mejoramiento de plantas. p. 83-101. *In*: Mata, V. H., L. A. Rodríguez del B., V. H. Rodríguez-Morelos y E. Vázquez G. (eds.). Manejo integral de caña de azúcar. SAGARPA. INIFAP. UANL. Monterrey, N.L., México.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. Agenda Técnica Agrícola de Colima. 2ª. ed. SAGARPA. SENASICA. INIFAP. México, D.F. 287 p.

Sentíes-Herrera, H. E., y F. C. Gómez-Merino. 2014. Nuevas directrices en mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). Agroproductividad 7(2):9-15.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.js [consultado el 7 de septiembre de 2019].

Persea schiedeana Nees: MORFOLOGÍA EN FRUTOS DE UNA ESPECIE ENDÉMICA DE MÉXICO

Nayeli Sarahí Quiñones Islas[1]*, Juan Fabricio Lazcano Escobar[2], Sergio Rubén Trejo Estrada[2] y Carolina Ramírez López[2]

Resumen

Existe en México una gran diversidad en los frutos del género *Persea* spp., en donde podemos encontrar al *Persea schiedeana* Nees o también conocido regionalmente como chinin. Con el objetivo de evaluar su diversidad, se identificaron los descriptores morfológicos y físicos encontrados en los frutos de *P. schiedeana* Ness de cuatro municipios ubicados en el Centro y Sureste de México (Soconusco en Tuxtla chico, Chiapas; la Selva en Palenque, Chiapas; la Chontalpa en Comalcalco, Tabasco; y la Sierra Nororiental en Teziutlán, Puebla). Fueron colectados 44 frutos por árbol de *Persea schiedeana* Nees completamente al azar de cinco árboles por cada municipio en las cuatro regiones estudiadas, dando un total de 880 frutos y las determinaciones se realizaron por triplicado para cada uno de los componentes del fruto (pulpa, semilla y cáscara); a los resultados se les realizó un análisis de varianza (ANOVA, por sus siglás en inglés) de un factor para encontrar las diferencias entre los municipios de cada región de estudio y una prueba de Tukey para la comparación de medias de los parámetros morfológicos y físicos evaluados, haciendo uso del software estadístico Minitab® (Minitab, 2019) y el registro de los datos experimentales en una hoja de cálculo Excel® versión 16.45. Los resultados mostrarón que los frutos de la región de la Selva en Palenque, Chiapas fueron los de peso mayor (417.50 ± 69.70 g), longitud mayor (18.48 ± 1.56 cm) y los porcentajes mayores en contenido de pulpa (282.09 ± 54.72%). Por otro lado, la región de la Chontalpa en Comalcalco, Tabasco presentaron los diámetros de fruto mayor (20.43 ± 1.16), un peso de semilla mayor (135.06 ± 33.52), longitud de semilla mayor (11.47 ± 0.45) y los porcentajes de

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Tecomán. Km. 35. Carretera Colima-Manzanillo, Tecomán, Colima, México. C.P. 28100. Tel. 800 0882222, ext.84307. Autor por correspondencia: quinones.nayeli@inifap.gob.mx
[2] Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex Hacienda San Juan Molino, Km. 1.5. Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México. C.P.90700.

semilla en fruto mayor (39.81 ± 7.11). Una gran diversidad morfológica se observó en los frutos de *Persea schiedeana* Nees entre cada una de las regiones evaluadas.

Palabras clave: diversidad, aguacate manteca, chinene, frutos endémicos

Introducción

El *Persea schiedeana* Nees es un árbol frutal endémico de México, que pertenece a la familia de las *Lauráceas* dicotiledóneas, siendo pariente cercano al aguacate (*Persea americana*). Recibe nombres locales afines como “chinene”, “chinina” y “chinín”, se conoce también como aguacate de manteca debido a que se consume untando la pulpa del fruto en tortillas de maíz. En Honduras, se nombra como “supte”, en Costa Rica “yas” y en Guatemala se conoce como “chucte” o “coyo” (Boza *et al.*, 2018). Su distribución se localiza mayormente en selvas, bosques y montañas tropicales en altitudes que van de los 90 hasta 2000 m (Hurtado *et al.*, 2018; López *et al.*, 2019). En los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Sur de Tamaulipas, Tabasco y Veracruz crece en forma silvestre. La llanura del Golfo de México presenta una diversidad genética extensa y por ello se considera como el área natural de dispersión de la especie (Cruz *et al.*, 2017). Este árbol se puede encontrar en algunas fincas cacaoteras y cafetaleras para aprovechar su sombra (Rivera *et al.*, 2018), pero sus plantaciones comerciales a la fecha no existen (Bost, 2014). Se ha estudiado la tolerancia a inundaciones que presenta el árbol de *P. schiedeana* Nees para el control de la enfermedad de importancia mayor a nivel mundial presente en la raíz del aguacatero, ocasionada por el oomiceto *Phytophtora cinnamomi* Rands (Reeksting *et al.*, 2016). La pulpa de *P. schiedeana* Nees presenta características organolépticas consideradas como adecuadas para ser comercializada en mercados más exigentes y de competencia comercial. Se tiene registro de mercados regionales en Tabasco y Veracruz en donde en algunas épocas del año el precio del fruto de chinín ha excedido al precio del aguacate Hass (Cruz *et al*., 2007). Sin embargo, la información reportada hasta el momento sobre estudios relacionados con las características morfológicas y fisicoquímicas presentes en los frutos de *P. schiedeana* Nees son limitados. Muchas especies comestibles con un considerable potencial para contribuir a la seguridad alimentaria

se consideran "subutilizadas" o han sido poco estudiadas, a la vez que son componentes importantes de las dietas específicas locales y regionales. Recientemente, existe una creciente tendencia alimentaria por productos con efectos positivos en la salud humana y la sostenibilidad agrícola. Se tiene un gran interés en promover su uso comercial e industrial de las llamadas “Cinderella species” o “especies cenicienta” (Nair *et al.*, 2017; Leakey, 2019), y dentro de esta denominación encontramos a la especie *P. schiedeana* Nees (Bost, 2014). A partir de lo mencionado anteriormente, la hipótesis de este trabajo es qué, en los diferentes municipios ubicados en las cuatro regiones de estudio, las condiciones edafoclimáticas tienen influencia sobre las características morfológicas y físicas en los frutos de *P. schiedeana* Nees. Con el objetivo de identificar su diversidad, se evaluaron los descriptores morfológicos y físicos encontrados entre las regiones estudiadas.

Materiales y Métodos

Colecta de frutos de *Persea schiedeana* Nees

En julio de 2019, se realizó la selección del material de cinco árboles en huertas particulares, cosechando manualmente al azar 44 frutos por árbol en su estado de madurez fisiológica, alcanzada entre 91 y 97 días después del amarre del fruto (Cruz *et al*., 2007), para cada municipio en las regiones del Centro y Sureste de México (Región Sierra Nororiental en Teziutlán, Puebla; Región Soconusco en Tuxtla Chico, Chiapas; Región Selva en Palenque, Chiapas; Región Chontalpa en Comalcalco, Tabasco), dando un total de 880 frutos.

Caracterización física

La caracterización física de los materiales evaluados se realizó de acuerdo con los descriptores reportados por López *et al.* (2018). Los pesos frescos de la fruta, la pulpa, la semilla y la cáscara de los 880 frutos cosechados al azar se evaluaron en una balanza digital (Modelo CS2000, marca Ohaus, Estados Unidos), y se realizó el cálculo del porcentaje de cada variable dentro de la fruta. La longitud, la altura, diámetro del fruto, diámetro de la semilla y grosor de la cáscara se midieron con un vernier digital (Modelo HER-411, marca Steren, China).

Caracterización morfológica

Los materiales colectados de *P. schiedeana* Nees se caracterizaron morfológicamente de acuerdo con los descriptores reportados por el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, 1995). Los descriptores evaluados fueron la forma del fruto, forma de la base y del ápice, posición del ápice y del pedicelo; de la cáscara se evaluó la superficie, color y adherencia; de la pulpa se midió el color cercano a la cáscara y cercano a la semilla. De la semilla se evaluó la forma, diámetro, longitud, cubierta, posición, la superficie del cotiledón, adherencia de los cotiledones y su color; espacio libre, longitud y diámetro de la cavidad; forma de sección transversal y posición del eje embrionario.

Análisis experimental

Las caracterizaciones morfológicas y físicas se evaluaron utilizando 44 frutos de *P. schiedeana* Nees colectados completamente al azar de cada uno de los municipios en las cuatro regiones estudiadas, dando un total de 880 frutos. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada uno de los componentes del fruto (pulpa, semilla y cáscara), dando un total de 1584 análisis. A los resultados se les realizó un análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), de un factor para encontrar las diferencias entre los municipios de cada región de estudio. Se realizó una prueba de Tukey para la comparación de medias de los parámetros morfológicos y físicos evaluados, haciendo uso del software estadístico Minitab® (Minitab, 2019) y el registro de los datos experimentales en una hoja de cálculo Excel® versión 16.45.

Resultados y Discusión

Colecta de frutos de *Persea schiedeana* Nees

En los municipios de las cuatro regiones de estudio, se observaron diferencias en la temperatura ambiental registrada en el año de colecta de los frutos de *P. schiedeana* Nees, siendo notorio qué, para la región de la Sierra Nororiental en Puebla, México, se tuvo un clima templado húmedo (15.5°C) en comparación con las demás regiones, en donde, predominó un clima cálido subhúmedo (Región Chontalpa en Comalcalco, Tabasco) a cálido húmedo (region Selva y Soconusco en Chiapas). La humedad, es un factor importante para el desarrollo óptimo del fruto de chinín, se registró un promedio entre regiones de 80%, equivalente a una humedad

alta. Los promedios de precipitación pluvial fueron similares entre las regiones de Soconusco, Selva y Chontalpa; a diferencia de la región Sierra Nororiental que su registro fue por debajo de los 2000 mm. En relación al tipo de suelo en las cuatro regiones estudiadas, se puede observar cómo cada región tiene un tipo de suelo definido, que posiblemente sea un factor que influya en las características del fruto. Acorde a los resultados edafoclimáticos registrados (Cuadro 1) y su relación con resultados de los descriptores morfológicos (Cuadro 2), se logró apreciar que estos, son un factor determinante en el desarrollo y características de los frutos. Lo anterior, coincide con Cruz *et al*. (2017), quienes en su estudio sobre "Distribución de *Persea schiedeana* Nees en México y potencial para la producción de frutos con aceite de alta calidad", identificaron que los mejores lugares para el desarrollo óptimo del cultivo son los climas templado húmedo, cálido subhúmedo y cálido húmedo.

Cuadro 1. Caracterización edafoclimática de las diferentes regiones productoras de frutos de chinín (*Persea schiedeana* Nees) en México (SEMARNAT, 2019).

Región	Sierra Nororiental en Teziutlán, Puebla	Soconusco en Tuxtla Chico Chiapas	Selva en Palenque, Chiapas	Chontalpa en Comalcalco, Tabasco
Altitud	1920 m	318 m	60 m	20 m
Coordenadas	19°49′03″ N 97°21′39″ O	14°56′00″ N 92°10′00″ O	17°30′33″ N 91°58′56″ O	18°16′48″ N 93°12′06″ O
Temperatura promedio	15.5°C	35°C	26°C	27°C
Clima	Templado húmedo	Cálido húmedo	Cálido húmedo	Cálido subhúmedo
Humedad promedio	80%	86%	74%	80%
Promedio de precipitación pluvial	1648 mm	2433 mm	2763 mm	2550 mm
Tipo de suelo	Andosol	Litosol	Leptosol	Vertisol

Caracterización física

En la caracterización física realizada a *P. schiedeana* Nees (Cuadro 2), con relación a los pesos de los frutos frescos enteros, los pesos de la pulpa y los pesos de la cáscara se obtuvieron valores máximos para la región de la Selva, Palenque Chiapas (PCH). Además, se observó que, para la región del Soconusco, Chiapas (SCH) y la región de la Chontalpa,

Tabasco (CHT) los valores en los pesos de fruto fresco, no existió diferencia significativa. En el peso de las semillas, el valor mayor se obtuvo para la región Chontalpa, Tabasco (135.06 ± 33.52 g) y los valores para esta variable entre las dos regiones de Chiapas (SCH y PCH) no fueron significativas. Los frutos de la región Selva presentaron el peso mayor de pulpa fresca, con un valor de la media de 282.09 ± 54.72 g y los frutos de la Sierra nororiental (TPU) presentaron el peso menor de pulpa fresca, con una media de 84.98 ± 12.81 g. Valores similares fueron reportados en un estudio preliminar en frutos de *P. schiedeana* Nees (Cruz *et al*., 2007).

El porcentaje mayor de pulpa con respecto a la fruta entera se registró en las muestras de la región del Soconusco (64.64 ± 3.85%) y la región Selva (67.49 ± 5.98%) ambas de Chiapas. La región de la Selva fue la que presentó una precipitación pluvial mayor (2763 mm), lo que pudiera haber favorecido el desarrollo de pulpa, al ser árboles ubicados en huertas particulares que contaban con un manejo mínimo, que en conjunto con la presencia de lluvias posiblemente ayudo a mejorar las características físicas en los frutos. Lo anterior, coincide con lo encontrado por Goldschmidt (2013), que encontró que en árboles frutales que son cultivados el tamaño de los frutos es mayor que en los árboles frutales en estado silvestre.

En el porcentaje de semilla en fruto entero, el porcentaje mayor se obtuvo en la región de la Chontalpa (39.81 ± 7.11%), mientras que el porcentaje mayor de cáscara en fruto entero fue el de Sierra Nororiental (12.94 ± 0.06%). Los frutos de la región de la Selva (PCH) fueron los de peso mayor en fruto entero, tamaño mayor al presentar una longitud mayor en el fruto entero, contenido mayor de pulpa, porcentaje menor de semilla en fruto y además de un peso mayor en la cáscara, pero porcentaje menor de cáscara en el fruto entero. Las características antes mencionadas comparten similitud a las encontradas en la evaluación de seis accesiones de *P. schiedeana* Nees de Huatusco, Veracruz (López *et al*., 2018).

Caracterización morfológica

Con respecto a la morfología del fruto (Figura 1), se observó que la zona sureste tiene una forma del fruto claviforme, similar entre las tres regiones evaluadas. A diferencia de la zona centro, en la que los frutos tienen una forma romboidal. Las cuatro regiones evaluadas tienen similitudes para los parámetros de base del fruto con la forma tipo hundida, el pedicelo tipo cilíndrico, tonalidades en la cáscara desde verde a verde oscuro y del verde hasta el negro. La región de la Sierra Nororiental y la región del Soconusco, presentó una forma del ápice

redondeado similar entre sí. La posición de ápice en los frutos de la región de la Sierra y de la Chontalpa fue del tipo central, a diferencia de las regiones Selva y Soconusco que fue del tipo asimétrico. La posición del pedicelo del fruto fue del tipo central para la región Sierra y Selva; y entre las regiones de la Chontalpa y Soconusco fue del tipo asimétrico. Del Angel *et al*. (2010), llevaron a cabo un estudio sobre maduración y cambios fisiológicos en el fruto de *P. schiedeana* Nees durante el período postcosecha, en donde observaron características semejantes a las encontradas en los frutos evaluados.

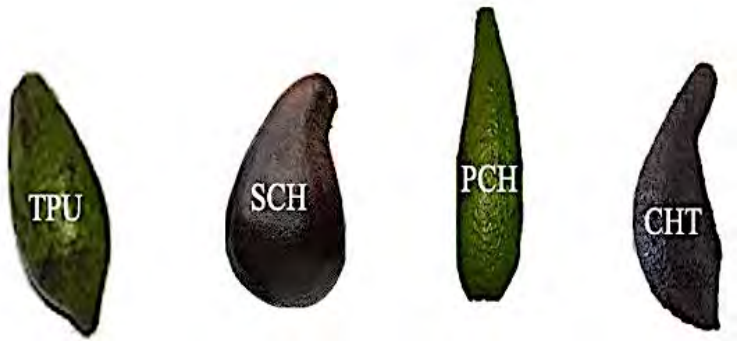


Figura 1. Características morfológicas del fruto de *Persea schiedeana* Nees de las diferentes regiones (SCH: Soconusco, Chiapas; PCH: Selva, Palenque Chiapas; CHT: Chontalpa, Tabasco; TPU: Sierra Nororiental, Teziutlán Puebla).

Con respecto a la caracterización morfológica de la pulpa y semilla de *P. shiedeana* Nees (Figura 2), se observó similitud entre los frutos de las cuatro regiones evaluadas, entre los que destacan: adherencia intermedia de cáscara a pulpa, color amarillo claro en la pulpa cercana a la cáscara y a la semilla, adherencia del cotiledón a la semilla del tipo adherido, una posición central de la semilla, sin espacio libre de la cavidad de la semilla y una forma elíptica de la sección transversal de la semilla. En la forma de la semilla, las regiones que mostraron similitudes fueron Soconusco y Sierra, con una forma del tipo obovada ancha. La superficie y color del cotiledón de las regiones Chontalpa y Sierra fueron similares, al presentar una superficie lisa y color amarillo anaranjado. Y la cubierta de la semilla fue muy diferente entre cada una de las regiones. Características morfológicas similares a las obtenidas en las regiones evaluadas fueron observadas en frutos de chinín, colectados de seis genotipos en los estados de Tabasco y Veracruz (Rodríguez *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Características físicas en fruto entero, pulpa, semilla y cáscara de *Persea schiedeana* Nees de las diferentes regiones.

Región	Peso fruto (g)	Longitud fruto (cm)	Diámetro fruto (cm)	Peso pulpa (g)	% Pulpa en fruto	Peso semilla (g)	Longitud Semilla (cm)	Diámetro semilla (cm)
SCH	326.90±76.30 $_{b}$	13.30±0.93 $_{c}$	7.79±0.34 $_{c}$	213.35±58.39 $_{b}$	64.64±3.85 $_{a}$	79.81±13.61 $_{b}$	7.94±0.68 $_{c}$	4.00±0.52 $_{c}$
PCH	417.50±69.70 $_{a}$	18.48±1.56 $_{a}$	7.62±0.47 $_{c}$	282.09±54.72 $_{a}$	67.49±5.98 $_{a}$	90.05±28.12 $_{b}$	9.37±2.64 $_{b}$	4.51 ±1.02 $_{b}$
CHT	338.55±51.20 $_{b}$	16.03±1.30 $_{b}$	20.43±1.16 $_{a}$	165.60±31.70 $_{c}$	49.03±7.17 $_{b}$	135.06±33.52 $_{a}$	11.47±0.45 $_{a}$	4.90±0.31 $_{b}$
TPU	165.57±19.73 $_{c}$	11.26±0.96 $_{d}$	18.41±0.88 $_{b}$	84.98 ± 12.81 $_{d}$	51.42±5.51 $_{b}$	59.16±12.15 $_{c}$	8.51±0.77 $_{c}$	12.44±1.03 $_{a}$

	% Semilla en fruto	Longitud cavidad semilla (mm)	Diámetro cavidad semilla (cm)	Posición eje embrionario (mm)	Peso cáscara (g)	Grosor cáscara (mm)	% Cáscara en fruto
SCH	24.99±3.97 $_{c}$	71.19±3.34 $_{d}$	4.33±0.27$_{a}$	19.35±1.97 $_{b}$	33.83±9.35 $_{b}$	1.01±0.0106 $_{c}$	10.36±1.61 $_{c}$
PCH	21.67±6.21 $_{d}$	100.28±16.77 $_{b}$	4.63±0.64 $_{a}$	19.83±1.38 $_{b}$	45.40±9.30 $_{a}$	2.01±0.0044 $_{b}$	10.82±10.77 $_{b, c}$
CHT	39.81±7.11 $_{a}$	136.22±5.26 $_{a}$	15.1±69.4 $_{a}$	28.10±0.14 $_{a}$	37.89±6.39 $_{b}$	3.01±0.0069 $_{a}$	11.16±0.27 $_{b}$
TPU	35.63±5.50 $_{b}$	83.94±8.34 $_{c}$	4.15±0.42 $_{a}$	17.20±0.23 $_{c}$	21.43±2.56 $_{c}$	3.02±0.0092 $_{a}$	12.94±0.06 $_{a}$

SCH: Soconusco, Chiapas; PCH: Selva, Palenque Chiapas; CHT: Chontalpa, Tabasco; TPU: Sierra Nororiental, Teziutlán Puebla. $^{a, b, c, d}$ Letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p \leq 0.05$).



Figura 2. Características morfológicas de pulpa y semilla de *Persea schiedeana* Nees de las diferentes regiones (SCH: Soconusco, Chiapas; PCH: Selva, Palenque Chiapas; CHT: Chontalpa, Tabasco; TPU: Sierra Nororiental, Teziutlán Puebla).

Conclusiones

1. Se confirmó la diversidad que existe en México para *Persea schiedena* Nees, al observarse en los resultados que la región en la que se desarrollan los frutos de chinín tiene influencia en el producto. 2. Destacan los frutos de la región de la Selva en Palenque y la región del Soconusco en Tuxtla Chico, ambas de Chiapas, que presentaron los porcentajes mayores en contenido de pulpa con respecto a la fruta entera (67.49 ± 5.98% y 64.64 ± 3.85%, respectivamente) y la región de la Chontalpa en Comalcalco, Tabasco que presentaron los mayores porcentajes de semilla en fruto (39.81 ± 7.11%).

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por otorgar licencia para estudios doctorales a NS Quiñones-Islas. Al Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) del Instituto Politécnico Nacional y a la empresa BioAgrovia S.A. de C.V. por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la investigación.

Literatura Citada

Bost, J. B. 2014. *Persea schiedeana*: A high oil “cinderella species” fruit with potential for tropical agroforestry systems. Sustainability 6:99-111.

Boza, E. J., L. Tondo C., N. Ledesma, J. Campbell, R., J. Bost, J. Schnell R. *et al*. 2018. Genetic differentiation, races and interracial admixture in avocado (*Persea americana* Mill.), and *Persea* spp. evaluated using SSR markers. Genet. Resour. Crop Evol. 65(4):1195-1215.

Cruz, J. G., A. Del Angel, O., J. De La Cruz y M. C. Joaquín M. 2007. Características morfológicas y bioquímicas de frutos de chinene (*Persea schiedeana* Nees.). Rev. Chapingo Ser. Hortic. 13(2): 141-147.

Cruz, J. G., A. Tinoco J. and F. Famiani. 2017. Distribution of *Persea schiedeana* in Mexico and potential for the production of fruits with high-quality oil. HortScience, 52(4):661-666.

Del Angel, O. A., J. G. Cruz-Castillo, J. De la Cruz and F. Famiani. 2010. Ripening and physiological changes in the fruit of *Persea schiedeana* Nees. during the postharvest period. HortScience 45(1):172-175.

Goldschmidt, E. E. 2013. The evolution of fruit tree productivity: A review. Econ. Bot. 67(1):51–62.

Hurtado, E., Fernández, A. and A. Carrasco. 2018. Avocado fruit-Persea americana. In Exotic fruits. Rodrigues S, de Oliveira E, Sousa E. (eds.); Academic Press: London Wall, London, United Kingdom. pp. 37-48.

IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1995. Descriptores para Aguacate (*Persea* spp.). Intituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia. 54 p.

Leakey, R. R. 2019. From ethnobotany to mainstream agriculture: socially modified Cinderella species capturing ‘trade-ons’ for ‘land maxing’. Planta 250(3):949-970.

López, L., C. Ureta, D. Granados, L. Rodríguez and A. Monterroso. 2019. Identifying cloud forest conservation areas in Mexico from the potential distribution of 19 representative species. Heliyon 5(3): e01423.

López, A., D. Guerra, J. Jácome, T. Espinosa, B. Reyes, F. Famiani, F. *et al*. 2018. Initial evaluation of fruit of accessions of *Persea schiedeana* Nees for nutritional value, quality and oil extraction. Food Chem. 245: 879-884.

Minitab. 2019. Minitab Statistical Software. Versión 19. Minitab LLC.

Nair, P. R., S. Viswanath and P. A. Lubina. 2017. Cinderella agroforestry systems. Agrofor. Syst. 91(5):901-917.

Reeksting, B. J., N. A Olivier and N. Van den Berg. 2016. Transcriptome responses of an ungrafted *Phytophthora* root rot tolerant avocado (*Persea americana*) rootstock to flooding and *Phytophthora cinnamomi*. BMC Plant Biol. 16(1):1-19.

Rivera, C., A. Contreras, E. Escamilla, D. Robledo J. y V. Morales. 2018. Caracterización físico-química de selecciones de chinene (*Persea schiedeana* Nees) en cafetales del centro de Veracruz. Agroproductividad 11(4):14-18.

Rodríguez, M.G., A. Gómez J. y R. D. Elías R. 2018. Evaluación de materiales de chinene (*Persea schiedeana* Nees) de Tabasco y Veracruz. Jóvenes en la Ciencia 4(1):145-151.

SEMARNAT. (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2019. Atlas digital geográfico del medioambiente. https://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/atlas2019/index.html# [consultado 1 julio 2020]

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE VARIEDADES DE *Ricinus communis* L. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

José Luis Solís Bonilla[1]*, Biaani Beeu Martínez Valencia[1], Guillermo López Guillen[1], Leobardo Iracehta Donjuan[1] y Víctor Hugo Díaz Fuentes[1]

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de un grupo de variedades de higuerilla para condiciones de temporal, con características de alto rendimiento y buena calidad de aceite, en condiciones del trópico húmedo, El material genético consistió de siete variedades de polinización abierta mejorados del INIFAP, originarias de Chiapas y Michoacán y un ecotipo como testigo de comparación, estos se valoraron por los componentes de rendimiento y por el rendimiento biológico y agronómico. Con las condiciones de este agroambiente, destacó en el rendimiento agronómico las variedades INIFAP MX *Riric19* e INIFAP MX *Riric29* con rendimientos superiores a los 2000 kg/ha. Las variedades INIFAP MX *Riric19*, *Riric265-1* e INIFAP MX *Riric29* fueron las de mejor adaptación a las condiciones de siembra de Tuxtla Chico, Chiapas. El ecotipo *Ceri*2015 es un buen arquetipo con influencia en porte bajo de planta, sin embargo, es de baja producción. Estos resultados indican que existen materiales promisorios para la formación de nuevas variedades de higuerilla para incrementar los rendimientos y la calidad de tal manera que el cultivo pueda ser competitivo con las condiciones del trópico húmedo.

Palabras clave: biomasa, energía no contaminante, mejoramiento genético, selección

[1]INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. Carretera Tapachula-Cacahoatán km 18. Tuxtla Chico, Chiapas, México. Autor para correspondencia: solis.joseluis@inifap.gob.mx

Introducción

La demanda de biocombustibles a nivel mundial se incrementa constantemente debido a la necesidad de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y al agotamiento de las reservas de petróleo. Por lo anterior, diversos países en el mundo se han orientado a la búsqueda de nuevas fuentes de energía a partir de especies vegetales (Zamarripa *et al*., 2012). Una de las especies para la producción de biocombustibles que no compite directamente con la alimentación humana es *Ricinus communis* L. conocida comúnmente como Higuerilla, planta oleaginosa que se encuentra ampliamente distribuida en México (Zamarripa *et al*., 2012; Solís *et al*., 2014; Solís, 2015; Solís *et al*., 2016) la cual es rústica y posee potencial para la producción de aceite con características fisicoquímicas deseables para la obtención de biocombustibles (Martínez *et al*., 2012). Esta especie vegetal dará alternativas para proporcionar bienestar a las familias rurales y cuidado al medio ambiente a través de la producción de energía asequible y sustentable. En México se están desarrollando y validando variedades de alto rendimiento de semilla y contenido de aceite adaptadas a las diversas condiciones agroecológicas del país. Es por ello que, el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico de un grupo de variedades de dicha especie en Tuxtla Chico, Chiapas en condiciones de clima tropical húmedo.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el Campo Experimental Rosario Izapa, con coordenadas geográficas 92° 09’ LO y 14° 58’ LN a una altitud de 435 m, área de selva tropical húmeda con 26°C de temperatura media, precipitación media anual de 4194 mm con promedio de 188 días de lluvia. Se evaluaron siete variedades de higuerilla y un ecotipo local de polinización abierta, estos se valoraron por los componentes de rendimiento y por el rendimiento biológico y agronómico. El experimento se estableció en el año 2015. La parcela experimental fue de 4 m de largo por 2 m de ancho (8 m^2), con tres plantas por surco, en rectángulo a una distancia de siembra de 3 x 2 m. La densidad de población fue de 1,666 plantas por hectárea. Las variedades del INIFAP fueron escogidos de acuerdo a resultados reportados por Zamarripa *et*

al. (2010), Solís *et al*. (2014) y Solís (2015), obtenidos por esquemas de selección recurrente, además, se utilizó un control con características de porte enano (Cuadro 1). El experimento se desarrolló en un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los análisis estadísticos se realizaron a través del programa SAS 9.0 (SAS Insitute Inc., Cary, NC, USA) y las medias comparadas por la prueba de Duncan, con un nivel de significación del 99%. Se elaboró un índice de selección (ISe) en el cual intervinieron las variables de respuesta en estudio, se asignó un "1" por cada grupo estadístico "a" registrado en las medias en el renglón de cada variedad. La suma de los "1" constituyó el ISe (Muñoz *et al*., 2015). En el caso particular de la variable índice de racimo, a los que tienen letra "b" se les asignó el "1", el cual se sumó al ISe. Así el índice integró el efecto adaptativo de las características en donde la variedad mostró buena respuesta en el ambiente de prueba.

Cuadro 1. Origen de las variedades de higuerilla utilizadas en el ensayo.

Variedad	Origen	Altitud (msnm)	Color de semilla
INIFAP MX *Riric10*	Unión Juárez, Chiapas	878	Crema veteada
INIFAP MX *Riric19*	Sierra Morena, Villa Corzo, Chiapas	1070	Crema veteada
INIFAP MX *Riric274*	San Jerónimo, Unión Juárez, Chiapas	776	Crema veteada
INIFAP MX *Riric1*	Unión Roja, Cacahoatán, Chiapas	519	Café veteado
INIFAP MX *Riric265-1*	Barranca Honda, Michoacán	872	Crema veteada
INIFAP MX *Riric267-2*	Tipitio, Uruapan, Michoacán	2101	Crema veteada
INIFAP MX *Riric29*	La Garza, Villaflores, Chiapas	605	Café veteado
Ceri2015	CERI, Tuxtla Chico, Chiapas	60	Gris veteado

Resultados y Discusión

Se detectó diferencias significativas en las nueve características de racimo evaluadas. El número de racimos varió de 8 a 16. El peso fresco de racimo fluctuó de 33.10 a 399 g, en donde las variedades INIFAP MX *Riric265-1* e *INIFAP MX Riric19* obtuvieron los valores más altos. La menor longitud de racimo la presentó el ecotipo *Ceri2015* (Cuadro 2). Las variedades con mayor número de frutos por racimo fueron INIFAP MX *Riric29* e INIFAP MX *Riric19* con 42 y 44, respectivamente. En cuanto al peso de frutos por racimo el ecotipo *Ceri2015* presentó

el menor peso. El peso de cascara varió de 6.88 a 86.03 g. El peso de semillas por racimo fluctuó de 8.57 a 104.47 g en donde la variedad INIFAP MX *Riric29* presentó el mayor valor. El número semillas por racimo varió de 68.7 a 132.50 en donde las variedades INIFAP MX *Riric274*, INIFAP MX *Riric19* e INIFAP MX *Riric29* presentaron los mayores NS con 116, 128 y 132, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 2. Comparación de medias de las características de racimo.

Variedad	NR	PFR (g)	LGR (cm)	PSR (g)	ISe
INIFAP MX *Riric1*	15.70 a	310.42 ab	26.11 a	134.71 bc	3
INIFAP MX *Riric274*	15.30 a	227.85 b	31.37 a	111.29 c	2
INIFAP MX *Riric10*	15.10 a	243.38 b	25.94 a	109.30 c	2
INIFAP MX *Riric267-2*	14.60 ab	279.36 ab	28.63 a	123.59 c	3
Ceri2015	13.90 ab	33.10 c	13.11 b	15.74 d	1
INIFAP MX *Riric19*	13.30 ab	399.16 a	29.02 a	192.08 a	4
INIFAP MX *Riric29*	13.40 ab	387.83 a	27.14 a	213.58 a	4
INIFAP MX *Riric265-1*	8.80 b	398.86 a	25.57 a	182.66 ab	3
Media	13.76	285.00	25.86	135.37	
CV	18.73	20.57	10.04	19.38	

Número de racimos (NR); Peso fresco de racimo (PFR); Longitud de racimo (LGR); Peso seco de racimo (PSR); Promedios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan ($p < 0.01$).

Cuadro 3. Comparación de medias de las características de fruto y racimo.

Variedad	NF	PF (g)	PC (g)	PS (g)	NS	ISe
INIFAP MX *Riric19*	44.21 a	171.86 a	71.87 ab	99.48 a	128.33 a	5
INIFAP MX *Riric29*	42.60 ab	191.15 a	86.03 a	104.47 a	132.50 a	5
INIFAP MX *Riric274*	39.59 abc	100.57 b	40.33 c	59.01 b	116.26 ab	2
INIFAP MX *Riric265-1*	37.54 abc	164.83 a	69.84 ab	92.88 a	108.75 abc	5
INIFAP MX *Riric1*	31.90 abc	115.21 b	53.01 bc	63.00 b	88.76 abc	2
INIFAP MX *Riric267-2*	31.23 abc	106.23 b	48.45 c	56.37 b	89.77 abc	2
INIFAP MX *Riric10*	27.65 bc	99.47 b	45.30 c	53.79 b	79.97 bc	0
Ceri2015	25.07 c	14.83 c	6.86 d	8.57 c	68.7 3c	0
Media	34.97	120.52	52.71	67.20	101.63	
CV	18.56	18.99	18.27	19.77	19.16	

Número de frutos por racimo (NF); Peso de frutos por racimo (PF); Peso de cascara por racimo (PC); Peso de semillas por racimo (PS); Número de semillas por racimo (NS). Promedios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan ($p < 0.01$).

Se detectó significancia en cuatro de cinco características evaluadas de los componentes del rendimiento biológico y agronómico. El número de semillas por planta (NSp) varió de 985 a 1914. El rendimiento biológico por planta fluctuó de 125 a 1336 g, en donde las variedades INIFAP MX *Riric29* e INIFAP MX *Riric19* obtuvieron los valores más altos. El índice de semilla que se define como el peso promedio de semilla seca varió de 0.12 a 0.85 g, las variedades con mayor IS fueron INIFAP MX *Riric29*, INIFAP MX *Riric19* e INIFAP MX *Riric265-1* con valores de 0.79, 0.80 y 0.85 g, respectivamente. El índice de racimo, que se define como el número de racimos necesarios para obtener un kilogramo de grano seco, fluctuó de 10 a 131, es decir, que mientras la variedad INIFAP MX *Riric19* necesita 10 racimos para obtener un kilogramo de semilla con el ecotipo *Ceri2015* se requiere de más de 100 racimos para completar esa misma producción de semilla. El rendimiento agronómico fluctuó de 209 a 2,226 kg/ha en donde las variedades INIFAP MX *Riric29* e INIFAP MX *Riric19* fueron los más productivos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias del rendimiento biológico y agronómico.

Variedad	NSp	IS	IR	RBp (g p)	REN (kg/ha)	ISe
INIFAP MX *Riric19*	1748.00 a	0.80 a	10.20 b	1336.20 a	2226.10 a	5
INIFAP MX *Riric29*	1700.90 a	0.79 a	12.90 b	1333.10 a	2220.90 a	5
INIFAP MX *Riric1*	1389.70 a	0.71 b	16.90 b	978.80 a	1630.70 a	4
INIFAP MX *Riric274*	1914.40 a	0.51 d	21.10 b	969.80 a	1615.80 a	4
INIFAP MX *Riric265-1*	985.80 a	0.85 a	14.60 b	857.90 a	1429.20 a	5
INIFAP MX *Riric10*	1243.70 a	0.68 bc	21.00 b	833.00 a	1387.70 a	4
INIFAP MX *Riric267-2*	1312.30 a	0.64 c	21.20 b	823.20 a	1371.40 a	4
Ceri2015	998.50 a	0.12 e	131.50 a	125.80 b	209.50 b	1
Media	1411.7	0.64	31.2	907.2	1511.4	
CV	29.36	4.58	24.61	29.52	29.52	

Número de semillas por planta (NSp); Índice de semilla (IS); Índice de racimo (IR); Rendimiento biológico por planta (RBp); Rendimiento agronómico (REN). Promedios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Duncan ($p < 0.01$).

En el Cuadro 5, se presenta el índice de selección (ISe), obtenido de sumar los índices parciales de los Cuadros 2, 3 y 4, con este argumento las variedades INIFAP MX *Riric19,* INIFAP MX *Riric29 e* INIFAP MX *Riric265-1* sobresalen por su mayor ISe en los componentes de la producción, con valor de 14 y 13, respectivamente.

Cuadro 5. Índice de selección de ocho variedades de higuerilla en Tuxtla Chico, Chiapas.

	INIFAP MX Riric19	*INIFAP MX Riric29*	*INIFAP MX Riric265-1*	*INIFAP MX Riric1*	*INIFAP MX Riric267-2*	*INIFAP MX Riric274*	*INIFAP MX Riric10*	*Ceri2015*
NR	1	1		1	1	1	1	1
PFR	1	1	1	1	1			
LGR	1	1	1	1	1	1	1	
PSR	1	1	1					
NF	1	1	1	1	1	1		
PF	1	1	1					
PC	1	1	1					
PS	1	1	1					
NS	1	1	1	1	1	1		
NSp	1	1	1	1	1	1	1	1
IS	1	1	1					
IR	1	1	1	1	1	1	1	
RBp	1	1	1	1	1	1	1	
REN	1	1	1	1	1	1	1	
ISe	14	14	13	9	9	8	6	2

Número de racimos (NR); Peso fresco de racimo (PFR); Longitud de racimo (LGR); Peso seco de racimo (PSR); Número de frutos por racimo (NF); Peso de frutos por racimo (PF); Peso de cascara por racimo (PC); Peso de semillas por racimo (PS); Número de semillas por racimo (NS); Número de semillas por planta (NSp); Índice de semilla (IS); Índice de racimo (IR); Rendimiento biológico por planta (RBp); Rendimiento agronómico (REN).

Conclusiones

Las variedades se desarrollaron satisfactoriamente en las condiciones de este ambiente con rendimientos que van desde los 1300 a 2226 kg ha^{-1} en los materiales de origen Chiapaneco y de 1300 a 1429 kg ha^{-1} en materiales de origen Michoacano en comparación con el ecotipo no mejorado con rendimiento de 209 kg ha^{-1}. De acuerdo a esto, estas variedades fueron las de mejor adaptación a las condiciones de siembra de Tuxtla Chico, Chiapas. Las variedades que destacaron (INIFAP MX *Riric19* e INIFAP MX *Riric29* con rendimientos superiores a los 2000 kg ha^{-1}), fueron mejoradas en este ambiente, a través de ciclos sucesivos de selección, lo que indica que el mejoramiento genético en este ambiente es eficiente, pero es necesario

continuar con el mejoramiento estudiando las relaciones fisiológicas adaptativas y la resistencia a plagas y enfermedades, explorando el germoplasma en esa dirección.

Literatura citada

Martínez, V. B. B., M. Hernández, L. Solís J. y A. Zamarripa. 2012. Calidad agroindustrial del aceite de higuerilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de bioenergéticos en México. 2 p. *In*: V Congresso Brasileiro de Mamona / II Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas & I Fórum Capixaba de Pinhão Manso, Guarapari (ES).

Muñoz, O. A, J. L. Solís B., J. A. S. Escalante E. y A. Zamarripa C. 2015. Índice de selección para adaptación de variedades de higuerilla en una condición de Chiapas y tres del valle de México. p. 268. *In*: III Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. UACh. Texcoco estado de México.

Solís, B. J. L., A. Muñoz O., J. A. Escalante E. y A. Zamarripa C. 2014. Crecimiento de variedades de higuerilla (*Ricinus communis* L.) en dos ambientes contrastantes p. 45. *In*: Memoria XXV Congreso Nacional y V Congreso Internacional de Fitogenética. SOMEFI.

Solís, B. J. L. 2015. Variabilidad genética y adaptación de variedades de higuerilla para la producción de biocombustibles. Tesis de Maestría. Colegio de posgraduados, México.

Solís, B. J. L., A. Muñoz O., J. A. Escalante E. y A. Zamarripa C. 2016. Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuerilla (*Ricinus communis* L.) en Montecillo, Estado de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7:311-323.

Zamarripa, C. A., J. L. Solís B., B. B. Martínez V. y J. C. Cotoc B. 2010. Evaluación y selección de materiales elite de higuerilla (*Ricinus communis* L.), para la obtención de biocombustibles en México. p. 245. *In*: Memoria V Reunión Nacional de Innovación Agrícola, INIFAP.

Zamarripa, C. A., J. L. Solís B., E. Riegelhaupt, B. B. Martínez V. y M. Hernández C. 2012. Balance de emisiones de gases de efecto invernadero del cultivo de higuerilla en la producción de biodiesel en México. p. 1. *In*: V Congresso Brasileiro de Mamona / II Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas & I Fórum Capixaba de Pinhão Manso, Guarapari (ES).

CARACTERIZACIÓN DE CINCO MORFOTIPOS DE VAINILLA

Juan Hernández Hernández[1*] y Ricardo Santillán Mendoza[1]

Resumen

La vainilla *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews es una planta originaria de Mesoamérica, cuyo fruto procesado fue utilizado desde la época prehispánica como saborizante y en usos medicinales por los aztecas, mayas y totonacas; hoy en día es muy apreciado en el mercado internacional. En el Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) del INIFAP, municipio de Tlapacoyan, Ver., se cuenta con un banco de germoplasma de vainilla donde se tiene material genético rescatado y el objetivo del presente trabajo fue caracterizar a nivel fenotípico y molecular cinco morfotipos de *Vanilla planifolia* ("Mansa", "Rayada", "Oreja de burro", "Polen duro" y "Chinanteca"). El morfotipo "Mansa" es el cultivado comercialmente en México, no obstante, se pueden encontrar plantas de otros tipos dentro de las plantaciones con algunas características no deseables para los productores, como son la "Rayada", que es muy susceptible a las enfermedades, la "Oreja de burro", que aborta sus frutos, entre los 42 y 60 días después de la polinización manual. En ocasiones los productores por desconocimiento han comprado y sembrado material de propagación de "Oreja de burro" y se llegan a dar cuenta del aborto hasta los tres años que es cuando inicia la producción. El denominado "Polen duro" y "Chinanteca" fueron, descubiertos recientemente, en la región de Papantla, Ver. y Chinantla, Oax., respectivamente. Los resultados de caracterización molecular mediante la amplificación del ADN por PCR y la secuenciación de dos regiones génicas [gen del cloroplasto, *matK* (maturasa K) y de la región ITS del ARNr] indicaron que existen diferencias genéticas entre los cinco morfotipos, sin embargo, es necesario emplear otros marcadores moleculares como RAPD o ISSR para explicar esta variación existente.

Palabras clave: *Vanilla planifolia*, fenotipos, polen duro, Chinanteca

[1] Campo Experimental Ixtacuaco. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *hernandezh.juan@inifap.gob.mx

Introducción

La biodiversidad en áreas de cultivo, depende del nivel de la variación originalmente introducida y sobre las prácticas de cultivo utilizado durante la domesticación. Dada en la forma que se ha manejado la vainilla, se esperan bajos niveles de diversidad genética (Gigant, 2012). No obstante, los productores de México, además de la vainilla cultivada conocida como "Mansa", reconocen otros tipos en *V. planifolia* como son "Oreja de Burro", "Rayada" o "Variegata" o "Acamaya", "Polen duro" y "Chinanteca" y estos quizás representan individuos diferentes genéticamente denominados como clones, morfotipos, cultivares o variedades criollas, de los cuales no se han manipulado o realizado mejoramiento genético en México. La "Oreja de Burro" ocasionalmente se puede encontrar en las plantaciones del municipio de Papantla, en el estado de Veracruz y es difícil de distinguirla de la vainilla "Mansa", excepto por productores con experiencia. Este cultivar aborta del 80 al 100% de sus frutos tres meses después de la autopolinización manual por ser auto incompatible genéticamente (Castillo y Engleman, 1993). La "Mansa" comparte las mismas características morfológicas con la "Oreja de Burro", pero con algunas diferencias significativas en las variables ancho de hoja, diámetro de tallo, y longitud de fruto (Díaz *et al.,* 2018). Lubinsky, 2003, señala que no existen evidencias científicas si estas variedades de vainilla mencionadas son clones dentro de la misma especie o son híbridos producto de cruzamientos entre parientes cercanos. Parece que no hay diferencias genéticas entre la "Mansa" y "Rayada" analizados con marcadores moleculares, sugiriendo que puede ser una mutación somática (Soto y Dressler, 2010), mientras que en un estudio más reciente se menciona que la "Rayada" no es producto de una mutación, sino de la reproducción sexual entre la "Mansa" y una especie silvestre o por un fenómeno epigenético. Sin embargo, se requiere un estudio profundo para conocer el origen del tipo "Rayada" (Ramos *et al.,* 2017). Bory *et al.* 2008) mencionan cuatro hipótesis para explicar el origen de los morfotipos en las áreas de cultivo: 1) la existencia de diferentes eventos de introducción, 2) la acumulación de mutaciones somáticas mediante la multiplicación vegetativa, 3) el posible efecto de la recombinación sexual mediante la polinización y 4) la existencia de fenómenos epigenéticos. También, la poliploidización podría explicar la variación morfológica en especies cultivadas (Duval *et al.,* 2006). Es importante dar a conocer a los productores las características de los morfotipos, debido a que en nuestro país, no existe ninguna institución o empresa, que

ofrezca material de propagación que garantice la pureza de la variedad recomendada para la siembra (“Mansa”), ya que, en las plantaciones comerciales donde se consiguen los esquejes para establecer nuevos cultivos, se encuentran mezclados con otros tipos de plantas no deseables como la “Oreja de Burro” y que han llevado al fracaso a algunos productores que por desconocimiento han adquirido y utilizado este material genético de vainilla (Hernández *et al.,* 2010; Castillo y Engleman, 1993). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar a nivel fenotípico y molecular cinco morfotipos de *Vanilla planifolia* (“Mansa”, “Rayada”, “Oreja de burro”, “Polen duro” y “Chinanteca”) resguardados *en* el banco de germoplasma de vainilla del Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP.

Materiales y Métodos

Los morfotipos de vainilla “Mansa”, “Rayada”, “Oreja de burro”, “Polen duro” y “Chinanteca” se colectaron entre 2017 y 2019 en las parcelas de productores pertenecientes a los municipios de Papantla, Tihuatlán y Nautla, del estado de Veracruz y en San Felipe Usila, Oaxaca y forman parte de las colectas resguardadas en el banco de germoplasma de vainilla que se ubica en el Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) localizado a los 20º18´37’’ N y 96º59’29’’ W, con una altitud de 105 m, km 4.5, carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Ver. Se llevó a cabo la descripción de las características generales de los diferentes morfotipos usando como guía el documento de UPOV (2014) y complementado con lo reportado en la literatura por otros investigadores (Castillo y Engleman, 1993; Soto y Dressler, 2010; Hernández *et al.,* 2010). Asimismo, se realizaron observaciones en los clones rescatados con respecto a tolerancia de plagas, enfermedades y sequía, su época de floración, calidad de fruto, entre otros atributos.

Extracción de ADN genómico de vainilla. Se utilizaron hojas jóvenes de la parte apical de dos plantas de cada uno de los morfotipos, se colectaron en bolsas plásticas y se almacenaron a 4°C en el Laboratorio del CEIXTA hasta su procesamiento. Previo a la extracción del ADN, el material fue lavado con una solución de hipoclorito de sodio al 1% y posteriormente con etanol al 70% durante un minuto, en ambos casos. Un disco de 9 mm fue tomado con ayuda de un sacabocados y colocado en un mortero en donde se molió con nitrógeno líquido, el tejido

molido se colocó en un microtubo de 2 ml. La extracción de ADN fue mediante el protocolo de CTAB con algunas modificaciones (Porebski *et al.,* 1997).

Amplificación PCR y secuenciación de *matK* y del ARNr 18S. Se amplificaron por PCR secuencias parciales del gen del cloroplasto, *matK* (maturasa K) y de la región ITS del ARNr (ITS1 + 5.8 s + ITS2) empleando los oligonucleótidos matK743F y matK1520R para *matK*, y AB101F y AB102R para ITS (Besse *et al.,* 2021). Las reacciones de PCR se realizaron en un termociclador (Thermo Scientific, MiniAmp plus), con un volumen final de 50 µl. Las condiciones de PCR para *matK* fueron 94°C durante 2 min, 40 ciclos a 94°C durante 1 min, 55°C durante 1 min y 72°C durante 45 s, finalizando con un paso a 72°C durante 10 min. Las condiciones de PCR para ITS 94°C durante 2 min, 35 ciclos a 94°C durante 1 min, 59°C durante 1 min y 72°C durante 1 min, finalizando con un paso a 72°C durante 7 min. Los productos de ADN de la PCR se analizaron mediante electroforesis en geles de agarosa al 1.5%. Las bandas de ADN de interés se cortaron y purificaron utilizando un kit comercial (Wizard SV Gel and PCR Clean-Up System, Promega, EE. UU.). Los productos de ADN purificados fueron secuenciados por el IPICYT (San Luis Potosí). Las secuencias de ADN sin procesar se editaron manualmente con PreGap y Gap (http://staden.sourceforge.net) para obtener secuencias de consenso, que luego se analizaron con el programa Blast del NCBI (Centro Nacional de Información Biotecnológica) (http://www.ncbi.nlm.nih.gov)] para determinar porcentajes de similitud con otras secuencias.

Análisis filogenético. Las secuencias de los genes fueron alineadas individualmente con ClustalW (Thompson *et al.,* 1994), en seguida se editaron manualmente en MEGA X (Kumar *et al.,* 2018) y posteriormente se concatenaron. Las secuencias concatenadas fueron analizadas bajo el criterio de Máxima Parsimonia (MP), para inferir las relaciones filogenéticas. Los análisis de MP fueron realizados en MEGA X utilizando una búsqueda heurística con intercambio de ramas TBR, excluyendo los sitios con gaps y caracteres no informativos. El soporte de los nodos fue determinado por valores bootstrap con 1000 réplicas. El árbol fue visualizado en Mesquite v2.75 (Maddison y Maddison, 2011). El morfotipo “mansa” fue seleccionado como base del árbol.

Resultados y Discusión

La *V. planifolia* “mansa” o “fina”, es la especie y cultivar sembrado normalmente por los productores, que se caracteriza por tener hojas carnosas, elípticas, lanceoladas y de color verde, las flores son de color verde amarillento y los frutos presentan tres costados cóncavos en forma cilíndrica y de color verde. Estas mismas características presentan los morfotipos colectados, pero con alguna variación morfológica y agronómica que se describen a continuación:

Rayada (R). Es una planta que puede identificarse con facilidad por el color de sus hojas caracterizadas por bandas longitudinales de color verde amarillento. En ocasiones partes de la misma planta producen hojas y tallos sin el color rayado. También, se ha observado que es más susceptible a la pudrición de raíz y tallo y menos productiva, aunque sus frutos sí son aromáticos. Al parecer se trata de una mutación natural (Soto y Dressler, 2010).

Oreja de Burro (OB). Se caracteriza porque entre los 42 y 60 días después de la polinización manual de la flor, aborta hasta 100% del fruto en formación, debido a que presenta un problema de auto incompatibilidad genética (Castillo y Engleman, 1993; Schlüter *et al.,* 2007). La planta de OB, aunque ocasionalmente se le identifican algunas hojas grandes y alargadas, con algún parecido a la oreja de asno, de ahí su nombre, es difícil de distinguirla en su etapa vegetativa. La manera más segura de identificarla es por el color crema de la base del perianto de la flor. Es una planta que ha mostrado ser susceptible a enfermedades, pero su nivel de crecimiento es igual que la “Mansa”, aunque en la literatura se menciona que crece mejor y no se enferma, seguramente porque al tirar sus frutos, la planta no se debilita.

Polen duro (PD). Esta accesión fue colectada en parcelas de productores de la región de Papantla, Veracruz y se caracteriza porque sus flores no abren completamente o son muy tardías para abrir; su masa polínica es de consistencia dura, de ahí su nombre, esto dificulta realizar la polinización manual y, por lo tanto, hay poco amarre de los frutos. Solo en ocasiones llegan a abrir bien, hasta cinco flores por inflorescencia en un día, cuando generalmente es una sola flor. Los pétalos y sépalos son de color verde oscuro y el ovario un poco encorvado inicialmente. Una tercera parte del fruto (del pedúnculo hacia el ápice) es delgado y de menor peso. Este cultivar fue descubierto hace seis años. Con base en las observaciones realizadas, al parecer este genotipo requiere de mejores condiciones de humedad del suelo, humedad

relativa y temperaturas, para que sus flores abran normalmente. Por estas características indeseables señaladas, se pierden hasta el 50% de las flores, al no ser polinizadas y como consecuencia se reduce la producción de frutos.

Chinanteca (CH). Esta variedad criolla, se localizó en su hábitat natural en la región de Chinantla, Oaxaca. Los frutos de esta colecta presentan dos rayas o surcos a lo largo del mismo, por eso los campesinos la conocen con el nombre de vainilla rayada. Los frutos producto de la polinización natural son recolectados para uso local o es vendido a los acopiadores. Falta conocer si este cultivar tiene algún atributo deseable o indeseable ya que fue descubierto recientemente.

Caracterización molecular de cinco morfotipos de *Vanilla planifolia.* Los cinco morfotipos de *V. planifolia* se caracterizaron molecularmente mediante la amplificación por PCR y secuenciación de dos regiones génicas ampliamente utilizadas en el género *Vanilla*, el gen del cloroplasto, *matK* (maturasa K) y de la región ITS (Besse *et al.,* 2021). Se realizó un análisis BLAST con las secuencias obtenidas para corroborar la identidad de los cinco morfotipos, los porcentajes de cobertura para la región ITS van desde 95 hasta el 99%, y la identidad desde el 88% hasta el 100% con respecto a *V. planifolia* "Mansa"; mientras que con el gen *matK* presentaron coberturas del 97 al 100% e identidades del 92 al 100%, también con respecto a *V. planifolia* "Mansa" (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis BLAST mostrando los porcentajes de cobertura e identidad de los morfotipos de *V. planifolia* con respecto a las secuencias del GenBank del NCBI.

Morfotipo	*matK*[a] (%)		ITS[b] (%)	
	Cobertua	Identidad	Cobertura	Identidad
Oreja de Burro 13 OB	100	100	97	99.86
Oreja de Burro 40 OB	100	100	96	100
Rayada 25 R	99	99.21	95	93.73
Mansa 23 M	98	96.72	99	88
Polen Duro 106 PD	97	92.25	95	95.94
Chinanteca 79 CH	-	99.1	96	100
Chinanteca 125 CH	99	94.1	95	99.87

[a]*matK* = maturasa K, [b]ITS = región espaciadora transcrita interna del ADNr.

Posteriormente, se realizó un análisis de Máxima Parsimonia empleando las secuencias concatenadas de *matK* e ITS para determinar si era posible que los morfotipos previamente asociados fenotípicamente, se agruparán mediante estas regiones génicas. Los resultados muestran que los morfotipos "Oreja de burro" y "Chinanteca" si forman clados bien sustentado con valores Bootstrap de 99 y 93, respectivamente, mientras que el morfotipo "Polen duro" queda como el clado basal de los morfotipos "Chinanteca", "Rayada" y "Oreja de burro", y el morfotipo "Rayada" el de "Oreja de burro" (Figura 1).

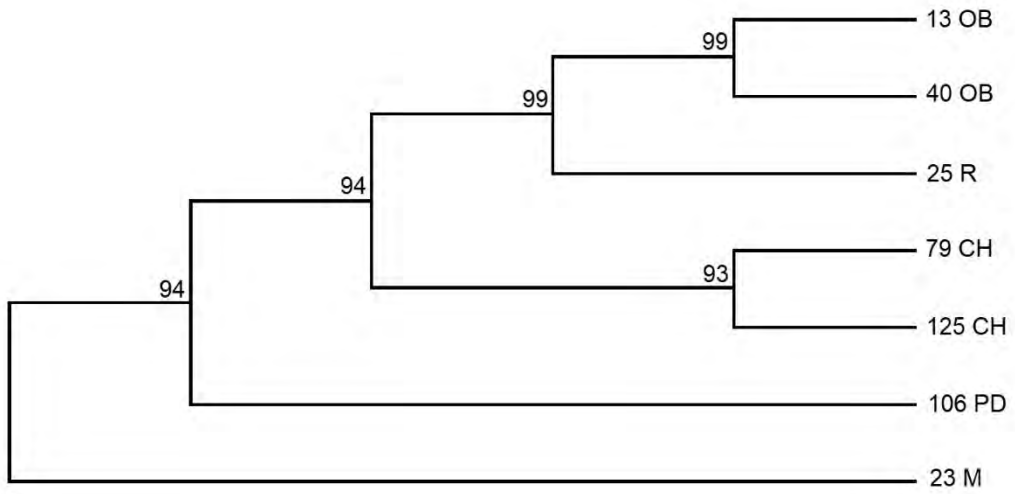


Figura 1. Uno de los 3 árboles más parsimoniosos utilizando las secuencias concatenadas de las regiones génicas *matK* e ITS (longitud = 308). El índice de consistencia es (0,889401), el índice de retención es (0,913357) y el índice compuesto es 0,842187 (0,812341) para todos los sitios parsimoniosamente informativos. Los valores bootstrap >80% (1000 réplicas) se muestran por encima de los internodos. Todas las posiciones con gaps o datos perdidos fueron eliminadas, quedando un total de 879 posiciones en la base de datos final. El morfotipo "mansa" fue seleccionado como base del árbol. CH = "Chinanteca", M = "Mansa", OB = "Oreja de burro", PD = "Polen duro", R = "Rayada".

En general, los resultados indican que, si existen diferencias genéticas entre los cinco morfotipos estudiados, sin embargo, los datos aquí presentados son preliminares, debido a que las regiones de los genes utilizados, son empleadas principalmente para determinar las relaciones evolutivas entre las especies del género *Vanilla* y no propiamente para analizar la estructura genética de las poblaciones de *V. planifolia*, por lo que estudios de diversidad genética empleando marcadores moleculares RAPD (ADN amplificado al azar) o ISSR (secuencias repetidas simples internas) son necesarios para esclarecer la variación existente entre los morfotipos presentes en el banco de germoplasma de vainilla.

Conclusiones

1. Los cinco morfotipos de *V. planifolia* presentaron alguna variación morfológica y agronómica de manera consistente y los resultados de caracterización molecular indicaron que existen diferencias genéticas entre ellos, pero es necesario realizar estudios de diversidad genética empleando otros marcadores moleculares para explicar la variación existente.

Literatura Citada

Besse, P., D. Da Silva and M. Grisoni. 2021. Plant DNA Barcoding Principles and Limits: A Case Study in the Genus Vanilla. P. 131-148. *In*: Besse, P. (ed.). Molecular Plant Taxonomy: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology, vol. 2222, Springer Science + Business Media, LLC. Springer Nature. New York, NY 10004, U.S.A. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0997-2_9.

Bory, S., M. Grisoni., M.F. Duval and P. Besse. 2008. Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. Genetic Resources and Crop Evolution 55: 551-571.

Castillo, M. R. y E.M. Engleman. 1993. Caracterización de dos tipos de *Vanilla planifolia*. Acta Bot. Mex. 25: 49-59.

Duval M.F., S. Bory, S. Andrzejewski, M. Grisoni, P. Besse, S. Causse *et al*. 2006. Diversite´ genetique des vanilliers dans leurs zones de dispersion secondaire. Les Actes du BRG 6:181-196.

Díaz, B. M., G. Francisco A., J. Espinoza P., HJ. Barrales C., C. Reyes., B. Herrera C. *et al.* 2018. Morphological and phytochemical data of Vanilla species in Mexico, Data in Brief, https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.08.212

Gigant, R., 2012. Biologie de la reproduction, diversité génétique et spatiale de deux espèces du genre *Vanilla* (Orchidaceae) du sudouest de l'océan Indien: *V. humblotii* et *V. roscheri*. Implications pour leur conservation. Tesis de doctorado. CIRAD – Université de la Réunion 232 p.

Hernández, H. J., S. Sánchez M., E. Curti D. y H. Larios R. 2010. La producción de vainilla en México. Folleto Técnico Núm. 25. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco-CIRGOC-INIFAP. 198 p.

Kumar, S., G. Stecher, M. Li, C. Knyaz and K. Tamura. 2018. MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. Mol. Biol. Evol. 35(6): 1547-1549.

Lubinsky, P. 2003. Conservation of wild Vanilla. In: First International Congress on the Future of the Vanilla Business. Princeton, NJ, USA.Maddison, W. P. and D. R. Maddison. 2011. Mesquite: a modular system for evolutionary analysis. Version 2.75. Available from: http://mesquiteproject.org. 30 September 2011, CIPRES Project, USA.

Porebski, S., L. G. Bailey and B. R. Baum. 1997. Modification of a CTAB DNA extraction protocol for plants containing high polysaccharide and polyphenol components. Plant Mol. Biol. Rep. 15: 8-15.

Ramos. C. A.L., L.G. Iglesias A., J. Martínez C., M. Ortíz G., R.H. Andueza N., P.O. Aguilar *et al*. 2017. Evaluation of molecular variability in germplasm of vanilla (*Vanilla planifolia* G. Jackson in Andrews) in Southeast Mexico: 4 implications for genetic improvement and conservation. Plant Genetic Resources 15(4): 310-320

Soto. A. M.A. and R.L. Dressler. 2010. A revision of the mexican and central american species of vanilla plumier ex miller with a characterization of their region of the nuclear ribosomal DNA. LANKESTERIANA 9(3): 285-354. 2010.

Schlüter, P.M., M.A. Soto A., and S.A. Harris. 2007. Genetic variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). Economic botany 61(4): 328-336.

Thompson, J.D., D. G. Higgins and T.J. Gibson. 1994. Clustal W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. Nucleic Acids Res. 22(22): 4673-4680.

Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). 2014. 20 p. Ginebra, Suiza. http://www. upov.int/edocs/tgdocs/es/tg303.pdf. [consultado el 25 de junio, 2022].

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EN FRUTOS DE ÁRBOLES NO CULTIVADOS DE ZAPOTE NEGRO (*Diospyros* spp.)

Emigdio De la Cruz De la Cruz[1*], Silvia Ortíz Hernández[1], Lorena Casanova Pérez[1], Artemio Pérez López[2] y Florencia García Alonso[1]

Resumen

El género *Diospyros* spp*.,* es el más representativo de la familia Ebenaceae, con más de 500 especies en el mundo, más de 100 en el continente americano y más de 20 en territorio mexicano, se distribuye principalmente en regiones tropicales y subtropicales de nuestro país; en la Huasteca, existen poblaciones silvestres aisladas o toleradas en huertos de traspatio de este frutal, pero el conocimiento sobre sus propiedades nutricionales, aprovechamiento, manejo y conservación es prácticamente nulo. Por lo anterior, el objetivo del proyecto, fue determinar las propiedades fisicoquímicas en los frutos de zapote negro, para difusión de conocimiento y selección de plantas con potencial nutracéutico y comercial. Primero se hizo la investigación documental y después con base en una encuesta a pobladores de diferentes localidades en el mercado de Huejutla de Reyes, Hidalgo, se identificaron los lugares en los que fuera posible encontrar plantas de zapote negro; se visitaron los predios y se entrevistó a los propietarios, en cuatro localidades: Picholco y El Chijol, en San Luis Potosí; Chililico y Tecorral, en Hidalgo. Se georeferenciaron los árboles, se tomaron datos de altura de planta, diámetro de tallo y se recolectaron 30 frutos en madurez fisiológica, por localidad y posteriormente se trasladaron al laboratorio de química de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense; se llevó a cabo la observación durante 30 días, con mediciones semanales de las propiedades físicas y químicas como, peso, volumen, Sólidos Solubles Totales (°Brix) y acidez (pH). Con respecto a las variables evaluadas, los datos permitieron apreciar la diferencia entre frutos de cada localidad, encontrando los siguientes valores: Tecorral (280 g, 9.35°Brix, 7.77 pH), Chililico (120g, 9°Brix, 6.39 pH), Picholco (120 g, 9°Brix,

[1] Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. emigdio.delacruz@uthh.edu.mx
[2] Universidad Autónoma Chapingo.

7.78 pH) y El Chijol (60 g, 11.77°Brix, 5.75 pH). Los datos mostraron qué en las localidades de la Huasteca hay material genético con potencial para su selección y aprovechamiento comercial.

***Palabras clave**:* °Brix, Huasteca, madurez fisiológica, material genético

Introducción

El zapote negro (*Diospyros* spp.*),* es una planta que presenta una gran variabilidad morfológica entre poblaciones de plantas de diversos municipios de la Huasteca. Por lo tanto, es importante su estudio y conservación, lo cual sólo se puede llevar a cabo por medio de trabajos de investigación, ya que la diversidad que existe en la especie no es solo el resultado de eventos biológicos, sino de interacciones a través de los años, entre las mismas poblaciones y el ser humano (Bellon *et al.,* 2009).

En la región Huasteca de los estados de Hidalgo, Veracruz y San Luis Potosí, se han localizado árboles de zapote negro, *tzapotl* o *monequis* (náhuatl) (FIRCO, 2017). *Diospyros* es el género más representativo de la familia de las Ebenaceae, con 500 especies, en el continente americano se encuentran 100, de las cuales 20 especies se localizan en territorio mexicano. El fruto del zapote negro tiene un alto poder antioxidante y en su composición nutrimental incluye una gran cantidad de carbohidratos, vitaminas A, C y E, así como carotenoides, flavonoides y compuestos fenólicos (Merino, 2011). Estas vitaminas son muy útiles para fortalecer la piel y la visión, además de ayudar a prevenir resfriados, enfermedades crónico-degenerativas como cáncer, obesidad y enfermedades cardiovasculares (FIRCO, 2017); así mismo, personas de diversas localidades que se recorrieron en la Huasteca, mencionaron que los frutos de zapote negro ayudan a prevenir la tos, anemia y también es usado en agua como laxante. Pero es una especie cuyas poblaciones naturales se han reducido considerablemente y pocos saben, conocen y conservan. Situación que está sucediendo en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Veracruz, donde la propagación es nula, dejando que los animales silvestres la consuman y dispersen, pero las condiciones ambientales y la actividad humana, ya no permiten su establecimiento. Es una especie de gran importancia ecológica y puede ser

aprovechada económica y socialmente, pero se desconocen sus bondades. Por ello, el objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades fisicoquímicas en frutos de zapote negro *(Diospyros* spp*.)* y seleccionar aquellos materiales que representan una alternativa por su alto potencial comercial.

Materiales y Métodos

Para la recolección de muestras de frutos de zapote negro *(Diospyros* spp*.),* durante el mes de diciembre de 2021 se visitaron cuatro localidades, antes de la época de maduración de frutos, dos de ellas pertenecientes al estado de Hidalgo y dos a San Luis Potosí (Cuadro 1). Estas localidades se eligieron por el contraste observado previamente en los árboles. Se georreferenciaron los puntos de recolección (GPS Garmin eTrex Legend Manual) y se tomaron datos de altura del árbol y diámetro de tallo (cinta métrica).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las localidades visitadas para la colecta de frutos de zapote negro.

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (M)
Chililíco, Huejutla de Reyes, Hgo.	21.080	98.261	176
Tecorral, Huejutla de Reyes, Hgo.	21.075	98.246	146
El Chijol, Tampamolón Corona, S.L.P.	21. 575	132.000	72
Picholco, Axtla De Terrazas, S.L.P.	21. 383	98. 000	100

La cosecha se realizó en el mes de enero de 2022, en etapa de madurez fisiológica de los frutos (Saucedo *et al*., 2005) y se observaron durante un mes, para medir los cambios durante el proceso de maduración después de la cosecha: coloración, textura, aroma y ablandamiento (Figura 1).



Figura 1. Frutos recolectados en las localidades muestreadas: El Chijol y Picholco, SLP; Tecorral y Chililico, Huejutla, Hidalgo.

Para medir las propiedades de los frutos de zapote negro, para medir volumen se usaron probetas y vaso de precipitado, determinando volumen final menos volumen inicial y para el peso de fruto se utilizó una balanza digital. La densidad se calculó con base en la relación masa/volumen.

Las propiedades químicas que se evaluaron fueron: sólidos solubles totales (°Brix) y acidez (pH).

Para la evaluación, se realizó la maceración del fruto en su totalidad, para obtener una cantidad considerable de jugo, el cual fue filtrado y posteriormente almacenado para la toma de muestras. A partir de las muestras de jugo, se realizaron las mediciones de pH con apoyo de un potenciómetro Marca Hanna HI 2211 y para determinar los sólidos solubles totales (°Brix) con usó un refractómetro ABBE (Navarrete, 2019). Del total de las muestras, sólo se tomó el 30% para la evaluación, teniendo datos de nueve días durante el mes. De los datos registrados se obtuvo un promedio y se graficó los resultados para una mejor presentación e interpretación.

Resultados y Discusión

En la Figura 2, se muestra el valor promedio de las propiedades físicas de los frutos de zapote negro. Las tres variables muestran diferencias entre localidades, los frutos de Tecorral fueron los que registraron mayor peso (280 g), mientras que los de El Chijol tuvieron un tamaño de

fruto más pequeño (60 g); las localidades de Chililico y Picholco, tuvieron un peso similar (120 g). En cuanto al volumen de fruto hubo una correlación positiva con el peso de fruto (r=0.99), en todas las localidades. Hay que destacar la variable densidad, ya que, en los frutos de tres localidades, fue mayor o muy cercana a uno, mientras que, en los frutos de la localidad de El Chijol, la densidad fue menor a uno, es decir el volumen fue mayor al peso, por lo que es importante hacer estudios sobre la relación pulpa/cáscara y determinar la calidad del fruto.

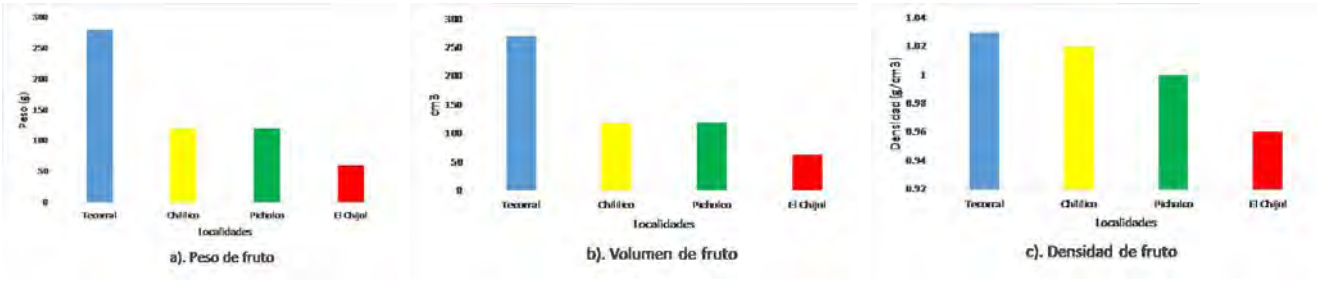


Figura 2. Peso, volumen y densidad promedio en frutos de zapote negro en cuatro localidades de la Huasteca.

Existen reportes que los frutos de zapote negro pesan de 216 a 349 g (Silva *et al*., 2010). En Querétaro, encontraron frutos con peso de 179.97 g por fruto (Yahia *et al*., 2011); y en Yucatán con plantas cultivadas (Navarrete, 2019), encontró que los frutos tuvieron un peso de 318 g. Por su parte García *et al*. (2015), encontraron que los frutos de zapote negro cultivados, tuvieron un peso de 263 g. De acuerdo a esta característica, los frutos de la localidad de Tecorral en Huejutla, Hidalgo, tienen potencial para ser seleccionadas y comercializarse, aunque para ello se tiene que correlacionar con otras variables y elegir los mejores materiales para su selección.

Las variables volumen y densidad del fruto, se correlacionaron de manera positiva con el peso de fruto (r=0.99), lo cual también ha quedado de manifiesto en trabajos como el de Navarrete (2019).

En la Figura 3, el contenido de azúcares mostró que los frutos más dulces y menos ácidos se encuentran en la localidad de El Chijol, aunque fueron frutos más pequeños tuvieron 23% más azúcar que los frutos de otras localidades. A medida que aumentó el contenido de azúcares, disminuyó la acidez (pH) de los frutos.

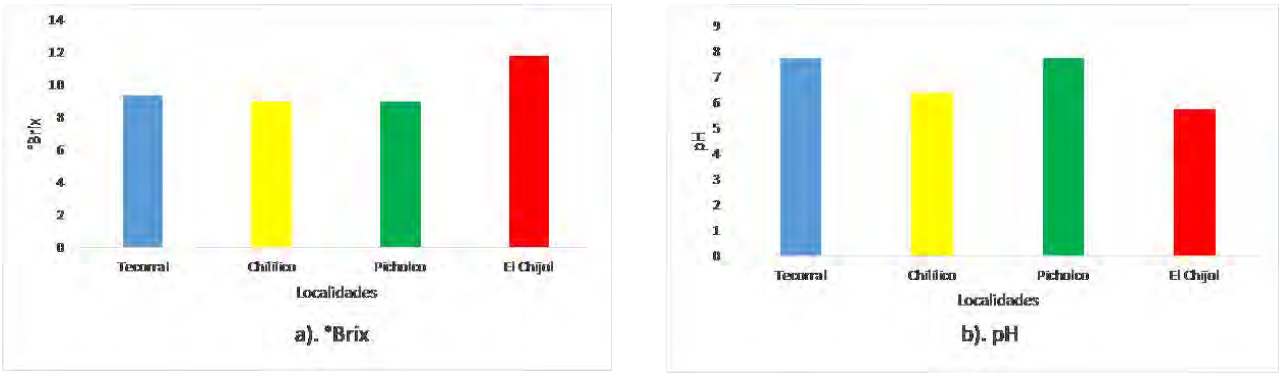


Figura 3. Acidez y contenido de Sólidos Solubles Totales en frutos de zapote negro provenientes de cuatro localidades de la Huasteca.

El valor del pH (7.2+0.05) fue similar al obtenido por Del Juncal (2016), quien obtuvo valores de pH 7.2+0.057 para fruto y 7.0+0.05 en jugo, ambos valores son ligeramente mayores a lo reportado por Reynoso *et al*. (2008), quienes obtuvieron un pH de 6.66+0.10 y Merino (2011), encontró valores para el pH en las muestras de zapote negro durante las 14 semanas de análisis, un promedio de 5.7 en la precosecha, siendo este el promedio más bajo y teniendo 5.95 - 6.04 en la postcosecha; Guerrero *et al.* (2008), no obtuvieron diferencias significativas en valores de pH (6.27), todos estos valores muestran que el pH del zapote negro registrado es casi neutro, mientras que otros autores lo encontraron más ácido, lo cual es influenciado por los factores abióticos de cada región, el material vegetal y la interacción de dichos factores. Los sólidos solubles totales en frutos de zapote negro, se encontraron entre 9 y 12°Brix, los cuales son mayores a los obtenidos por Merino (2011), que fueron de 2 a 4.6°Brix, mientras que los datos de Del Juncal (2016) sobrepasaron con valores de 21.25+0.05 para fruto y 15.95+0.42 para jugo. Los valores encontrados en los materiales de las localidades muestreadas, están dentro de los estándares que se han encontrado en materiales cultivados, por lo que es factible su selección para propagar, cultivar y aprovechar.

El incremento de grados Brix está relacionado principalmente con el contenido de azúcares presentes en el fruto, específicamente con el contenido de sacarosa, el cual aumentó conforme el fruto fue madurando.

Conclusiones

1. De la colecta de los frutos de zapote negro de cuatro localidades, se obtuvo que la localidad de El chijol presentó la mayor cantidad de azucares (11.77°Brix) en fruto, teniendo el menor de los tamaños (60 g) y con un pH de 5.75 (un poco más ácido que los otros frutos), mientras que la localidad de Tecorral tiene el mayor de los tamaños (280 g), en cuanto a fruto pero con menos cantidad de azucares (9.35°Brix) y con pH de 7.77, es decir neutro, de modo que las localidades de Picholco y Chililico se mantienen con un peso promedio de 120 g, 9.0°Brix y pH entre 6 y 8. 2. Existe material vegetativo con características físicoquímicas similares a las de frutos que se comercializan en otros estados del país, por lo que puede ser seleccionado y propagado para su conservación, aprovechamiento y manejo, por parte de las personas que viven en las localidades de la Huasteca.

Literatura Citada

Bellon, M., Barrientos P., A. F., Colunga G., M. P., Perales, H., Reyes, J.A., R. Rosales S. *et al*. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. p.135-140. *In*: R. Dirzo, R. González y I. J. March (Eds.). Capital natural de México, estado de conservación y tendencias de cambio. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

Del Juncal G., D. 2016. Microencapsulación de polifenoles contenidos en jugo de zapote negro *Diospyros digyna* Jacq.) utilizando almidones modificados de arroz mediante secado por aspersión para su incorporación en un yogur natural. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Veracruzana. 116 p.

FIRCO. 2017. Zapote Negro, fruta mexicana con gran sabor y tradición popular. Ciudad de México. Disponible en https://www.gob.mx/firco/es/articulos/zapote-negro-fruta-mexicana-con-gran-sabor-y-tradicion-popular?idiom=es

García D., R. J., Cuevas S., A., Segura L., S. y F. Basurto P. 2015. Análisis panbiogeográfico de *Diospyros* spp. (Ebenaceae) en México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 6:187-200.

Guerrero, R., Lugo, L., Marín, M., Beltrán, O., León de Pinto, G. y F. Rincón. 2008. Caracterización fisicoquímica del fruto y pseudofruto de *Anacardium occidentale* L. (Merey) en condiciones de secano. Revista de la Facultad de Agronomía 25:81-94.

Merino S., L. 2011. Evaluación de propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Veracruzana. 87 p.

Navarrete Z., C. N. 2019. Caracterización morfológica, bromatológica y fitoquímica de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). Tesis de Maestría. TNM Conkal. 54 p.

Reynoso, G., Ávila, S. y B. J. Guerrero. 2008. Desarrollo de un producto de zapote negro (*Diospyros digyna*) de alta humedad. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. 2:69-78.

Saucedo V., C., Arellano G., L. A. y L. Arévalo G. 2005. Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). Agrociencia 39(2):173-181.

Silva, C. R., I. V. De Morais O., F. Vitti M. y A. B. Geraldo M. 2010. Caracterização morfológica do fruto, semente e morfofunção de plântulas de sapoteira-preta (*Diospyros ebenaster* Retz.). Comunicata Scientiae 1:9-14.

Yahia, E. M., Gutiérrez O., F. y C. Arvizu De L. 2011. Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). Food Research International 44:2210-2216.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE VARIEDADES DE MAÍZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN LA CHONTALPA, TABASCO

Sabel Barrón Freyre[1]* y Flavio Antonio Rodríguez Montalvo[2]

Resumen

En el año agrícola 2021, en Tabasco se sembraron 89,803 ha de maíz y se cosecharon 87,099 hectáreas con un rendimiento medio de 1,950 kg/ha considerado bajo. La siembra de maíz en Tabasco en el 70% de los casos es para el de autoconsumo, por ésta razón el uso de semilla criolla o nativa llega a ser de hasta el 81.5% en las unidades de producción familiar, aún y cuando es bajo el uso de semilla mejorada, existe la necesidad de evaluar y así poder recomendar genotipos que tengan buen desempeño productivo para los productores que los requieren. En el ciclo de cultivo primavera-verano 2021/21 bajo condiciones de temporal en el Campo Experimental Huimanguillo, ubicado en la región de la Chontalpa, se estableció un módulo demostrativo de maíz con 14 genotipos en un arreglo en franjas, el manejo del cultivo se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones del paquete tecnológico que recomienda el INIFAP para la región; se recopiló información de 15 variables, a cuatro de ellas se les realizó análisis de varianza y prueba de medias y al resto solo se cuantificó y analizaron sus medias. De los resultados y su análisis se determinó que los genotipos HE-22B, HE-20B y HE-23B con rendimientos de 7698, 7302 y 7277 kg/ha, respectivamente son genotipos sobresalientes y con rendimientos estadísticamente iguales a los del testigo H-520; el grupo de genotipos evaluados presentan ciclo de intermedio-precoz a intermedio y alturas de planta y mazorca consideradas de porte intermedio. Y que existe tecnología de manejo y material genético mejorado de maíz adecuado para las condiciones agroclimáticas de la Chontalpa en Tabasco.

Palabras clave: *Zea Mays* L., características agronómicas

[1] Campo Experimental Huimanguillo – INIFAP*. barron.sabel@inifap.gob.mx
[2] Campo Experimental Cotaxtla – INIFAP.

Introducción

En el año agrícola 2021, en Tabasco se sembraron 89,803 ha de maíz y se cosecharon 87,099 ha con un rendimiento medio de 1,950 kg/ha y un volumen de 169,900 t, (SIAP, 2021); la superficie sembrada en otoño-invierno (O-I) es del 43.2%, mientras que en primavera-verano (P-V) se concentra el 56.8%, de la siniestralidad total para el año agrícola el 77.5% ocurrió en O-I y el 22.5% en P-V, aunque solo representa el 1.2% del total sembrado en P-V y el 5.4% en el O-I. Los municipios donde se concentró el 61.6% de la siembra son Balancán, Huimanguillo, Tacotalpa, Cárdenas y Tenosique, destacando Balancán y Huimanguillo con 20,168 ha y 11,709 ha, respectivamente.

La siembra de maíz en Tabasco en el 70% de los casos es para el de autoconsumo, por ésta razón el uso de semilla criolla o nativa llega a ser de hasta el 81.5% en las unidades de producción familiar dado el costo, la disponibilidad y la buena cobertura de mazorca, que les permite tener una baja infestación de plagas de almacén y daños por presencia de hongos y de aves y solo el 11% utilizan semilla certificada (Barrón y Rodríguez, 2021); aún y cuando es bajo el uso de semilla mejorada, existe la necesidad de evaluar y así poder recomendar genotipos que tengan buen desempeño productivo.

La identificación y selección de genotipos que se adapten a las distintas condiciones ambientales, logren altos rendimientos y sean estables agronómicamente es un proceso dinámico que permite evaluar material genético a través de distintos ambientes, es una práctica para la recomendación de nuevos genotipos a los productores, pues la interacción Genotipo-Ambiente implica respuestas diferenciales para cada ambiente de prueba, (Gordón y Deras, 2017).

Al evaluar material genético se busca conocer la adaptabilidad de los genotipos pues ello permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico (Eberhart y Russell, 1966); en este mismo sentido (Gordón *et al*., 2006), señalan que la adaptabilidad es la capacidad de los genotipos de aprovechar ventajosamente los estímulos del ambiente, de ahí la necesidad de realizar evaluaciones, para conocer cual o cuales materiales son los que mejor se adaptan.

A conclusiones semejantes llegan (Ramírez *et al*., 2010), al manifestar que los genotipos responden diferencialmente a los factores del ambiente (principalmente plagas, enfermedades

y temperaturas) que se manifiesta en diversos grados a lo largo de la estación de crecimiento y que impacta al rendimiento y a la calidad del producto, por ello, la caracterización ambiental es importante para definir estrategias de selección en los programas de mejoramiento genético. El objetivo del trabajo es dar a conocer el comportamiento agronómico de genotipos de maíz bajo condiciones de temporal y su viabilidad técnica en la región de la Chontalpa, Tabasco.

Materiales y Métodos

En el ciclo de cultivo primavera-verano 2021/21 en el Campo Experimental Huimanguillo, se estableció una un módulo demostrativo de maíz con los híbridos H-520, H-567, HE-20B, HE-21B, HE-22B, HE-23B, HE-24B, HE-4B HE-8B y HC-1, las variedades VS-536, V-537C, SINT-1A y SINT-3B; su distribución en el campo fue al azar en franjas de 6 surcos de 10 m de largo y donde se tomaron cuatro muestras de 8 m^2 para cuantificar las variables de respuesta. El sitio presenta suelo Fluvisol de textura franco-arenosa, pH de 7.9, bajo contenido de materia orgánica (1.6%) y de nitrógeno aprovechable (17.6 ppm de NH_4 + NO_3), el fósforo presente es de 14 ppm y el de potasio 0.30 meq/100 g.

La preparación del suelo consistió en un chapeo mecánico y un paso de rastra en la última semana de abril, un paso más en la segunda quincena de mayo y el tercer paso cinco días antes de la siembra misma que se realizó el 23 de junio en forma manual, depositando dos semillas cada 20 cm; a los 12 días después de la siembra (dds) se efectuó el raleo a una planta por mata para lograr una densidad de 62,500 plantas por hectárea.

El maíz se fertilizó con la fórmula 120-60-30 de N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente, incorporando la mitad del nitrógeno, el total de fósforo y del potasio 6 días después de la siembra, el resto de nitrógeno se aplicó a los 15 días de la primera fertilización, en ambas oportunidades fue manual y mateado a 10 cm de la planta.

El control de maleza se logró con la aplicación en preemergencia de 960 g de I. A. de atrazina por hectárea, también se realizó un cultivo aporque manual a los 18 dds. En el manejo de plagas hubo necesidad de aplicar contra la diabrótica (*Diabrótica balteata*) los 12 días de la siembra y para el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) a los 16 días, en ambos casos se

utilizó la Cipermetrina en una dosis de 50 g de I.A./ha; también se realizaron dos aplicaciones de clorpirifos etil a los 21 y 33 días contra cogollero, en una dosis de 360 g de I. A. por hectárea. La dobla fue manual a la madurez fisiológica, misma que ocurrió en promedio a los 89 días de la siembra, la cosecha se efectuó a los 114 días.

Las variables de respuesta cuantificadas fueron días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, relación grano-olote, rendimiento de grano al 14% de humedad, los porcentajes de acame, de mazorca con mala cobertura, mazorcas con daño de pájaro y mazorcas con pudrición total; sanidad de planta, sanidad de mazorca y calificación al arquetipo de planta y de mazorca, (CIMMYT, 1985).

La calificación de enfermedades en el follaje como la roya y tizón se efectuó a los 79 días utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 indica ausencia de enfermedad y 5 una infección muy severa; así mismo, se calificó el arquetipo de planta y de mazorca, donde 1 implica arquetipo excelente y el 5 arquetipo deficiente. Durante el período de prueba se cuantificó la precipitación diaria y los días con lluvia, agrupándose en períodos decenales para su análisis.

Resultados y Discusión

De la siembra a la cosecha, en el sitio se acumularon 866.7 mm de lluvia en 49 eventos; por su distribución se considera que una semana antes de la siembra y durante la etapa vegetativa se presentaron excesos de agua con encharcamientos de poca duración, sin embargo, se considera que el desarrollo del cultivo fue normal (Figura 1). De la floración a la madurez la cantidad de precipitación fue suficiente para cubrir las necesidades del maíz y en madurez se volvió a presentar exceso de humedad sin dañar el secado de grano, acelerándose éste con la dobla, de tal manera que la calidad del grano se considera no tuvo demérito por este factor. Los resultados del análisis de varianza de las variables altura de planta y de mazorca, relación grano-olote y rendimiento de grano, mostraron diferencia altamente significativa ($P > F = 0.000$) y coeficientes de variación entre 1.02% y 7.84% lo que implica que las diferencias detectadas no están ligadas a errores experimentales; el rendimiento medio del módulo fue de 6560 kg/ha, producción que demuestra la factibilidad de poder incrementar la media de producción Estatal y de obtener rendimientos económicamente rentables en el cultivo de maíz.

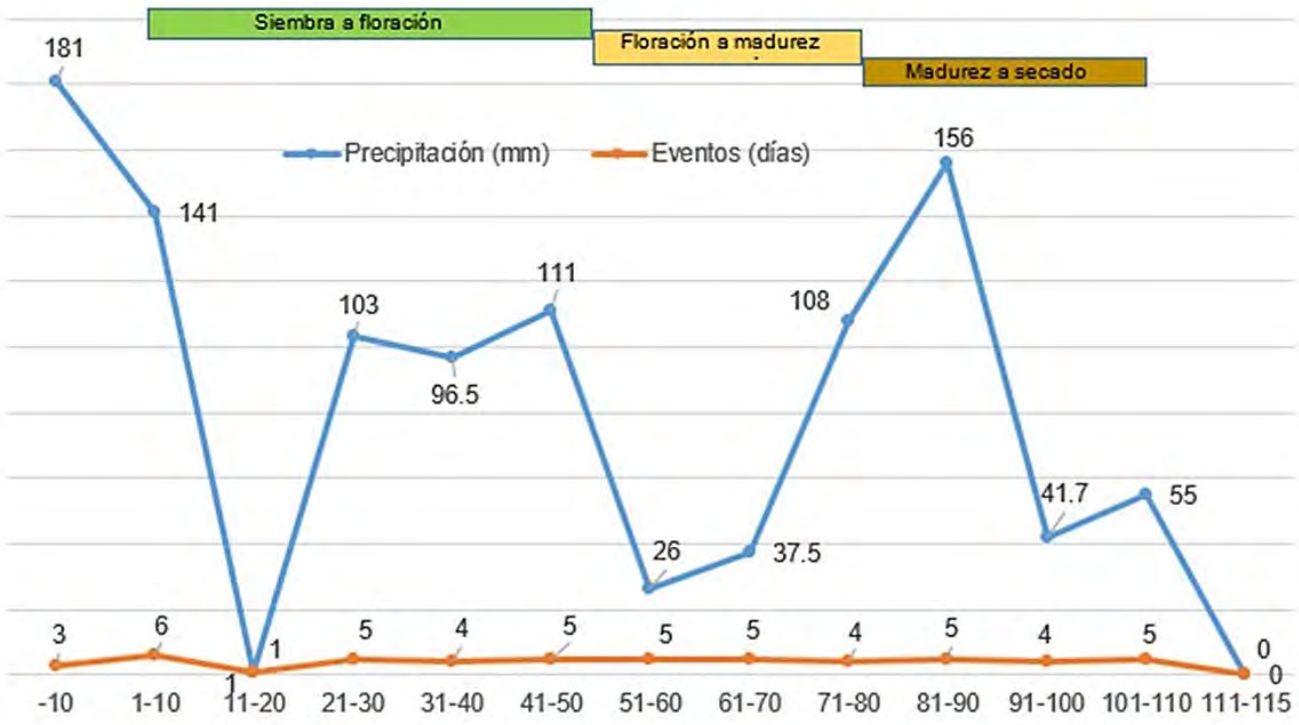


Figura 1. Precipitación acumulada y eventos de lluvia en decenas de la siembra a cosecha, en módulo demostrativo de variedades de maíz. Ciclo primavera-verano 2021/21. Campo Experimental Huimanguillo. CIRGOC. INIFAP.

En el Cuadro 1, se describe el comportamiento de cada uno de los genotipos evaluados, para el caso de los días a floración masculina y femenina se observa como la variedad V-537C con 48 días a floración es la que muestra mayor precocidad, mientras que el SINT-1A es el más tardío con 54 días en ambos tipos de floración; de hecho, para todos los casos la sincronía entre tipos de flor fue excelente lo que ayudó a un buen llenado de mazorca. Por los días a floración mostrados por los genotipos el grupo se puede clasificar como de ciclo intermedio-precoz a intermedio tardío.

En cuanto a la altura de planta y de mazorca, la media del grupo fue de 284 cm en planta y de 139 cm en mazorca y solo la variedad VS-536 de acuerdo a la prueba de medias de Dunette con 340 cm y 186 cm respectivamente, es diferente al testigo H-520; el resto de genotipos tienen un comportamiento similar a dicho testigo; por estas dos características se puede afirmar que a excepción de la VS-536 el grupo de materiales presentan porte intermedio, lo

cual para Tabasco es adecuado dadas las condiciones de alta precipitación y presencia de vientos a lo largo del ciclo de cultivo.

Cuadro 1. Características agronómicas de genotipos de maíz en el ciclo primavera-verano 2021/21. Campo Experimental Huimanguillo. CIRGOC. INIFAP.

Genotipo	Días a floración		Altura (cm)		Rel. Grano/olote	Rend. (kg/ha)
	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca		
H-567	53	53	258	125	0.85*	6464
HE-20B	53	53	283	145	0.85*	7302
HE-21B	52	52	288	143	0.84*	6961
HE-22B	50	50	290	152	0.87	7698
HE-23B	50	50	282	134	0.86	7277
HE-24B	50	50	305	150	0.85*	6922
HE-4B	51	51	255	107	0.84*	6304
HE-8B	52	52	280	130	0.83*	6728
H-520	48	48	284	138	0.88	6836
VS-536	53	53	340*	186*	0.84*	6206
V-537C	48	48	282	139	0.85*	6080
SINT-3B	53	53	272	125	0.80*	4557*
SINT-1A	54	54	283	148	0.83*	5886
HC-1	53	53	274	125	0.84*	6623
Media	**51.4**	**51.4**	**284**	**139**	**0.84**	**6560**

***** = Diferencia estadística respecto al testigo H-520 (Dunette, P=0.95).

La relación grano-olote, muestra la fracción de grano respecto al peso total de la mazorca, sus valores encontrados con una media de 0.84 son similares a los encontrados en evaluaciones anteriores y con frecuencia están relacionados positivamente con el rendimiento de grano, es decir a mayor relación, la producción es más alta. Los índices menores o iguales a 0.85 son diferentes estadísticamente a los mostrados por el testigo H-520, el sintético experimental SINT-3B además de tener la menor relación (0.80), también obtuvo el menor rendimiento de grano.

El rendimiento obtenido mediante un análisis de covarianza se ajustó a 63,750 plantas cosechadas por hectárea; así la media del módulo fue de 6560 kg/ha, contra 1760 kg/ha reportado por SIAP en 2019, destacan los genotipos HE-22B, HE-20B y HE-23B con

rendimientos de 7698, 7302 y 7277 kg/ha, respectivamente, sin embargo, dicha producción no es diferente estadísticamente a la obtenida por el testigo H-520 cuya producción fue de 6836 kg/ha, similar a la reportada por (Sierra *et al*., 2011); el sintético experimental SINT-3B con 4557 kg/ha, fue el de menor producción y diferente al testigo H-520 según la prueba de medias utilizada. En general se puede mencionar que dado el comportamiento descrito en las seis variables analizadas el grupo de genotipos es relativamente semejante y que del mismo existe material genético con potencial para su siembra en Tabasco.

Otras características se describen en el Cuadro 2, el porcentaje de plantas acamadas promedio fue de 0.4%, considerado bajo, la variedad VS-536 con 2.0% fue la que presentó mayor porcentaje, siete de los genotipos no se acamaron.

Cuadro 2. Características agronómicas de genotipos de maíz en el ciclo primavera-verano 2021/21. Campo Experimental Huimanguillo. CIRGOC. INIFAP.

Genotipo	Porcentaje				Sanidad			Calificación	
					Planta		Mzca.	Pta.	Mzca.
	Acame	Mala Cob.	Daño Pájaro	Mzca. Podrida	Roya	Tizón			
H-567	1.0	5.8	4.9	0.5	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0
HE-20B	0.0	14.1	4.9	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0
HE-21B	0.0	11.2	6.8	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	3.0
HE-22B	0.0	3.0	1.5	1.0	1.0	1.5	1.5	3.0	1.0
HE-23B	0.5	3.3	1.4	0.5	1.5	1.5	1.5	2.0	3.0
HE-24B	1.0	3.5	2.5	3.5	1.0	1.5	1.5	3.0	3.0
HE-4B	0.0	3.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	3.0
HE-8B	0.0	4.2	2.1	3.2	1.0	1.5	1.5	3.0	3.0
H-520	0.5	1.9	0.5	1.4	1.5	1.5	1.5	3.0	3.0
VS-536	2.0	1.7	1.7	2.8	1.5	2.0	1.5	3.0	2.0
V-537C	0.5	3.1	5.2	5.7	2.0	1.5	2.0	3.0	3.0
SINT-3B	0.0	7.4	8.0	3.7	1.0	1.5	2.0	2.0	4.0
SINT-1A	0.0	3.8	4.3	2.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
HC-1	0.0	7.8	4.1	2.8	1.0	1.5	1.5	2.0	3.0
Media	**0.4**	**5.3**	**3.5**	**2.3**	**1.3**	**1.6**	**1.6**	**2.0**	**2.6**

Una variable que los productores consideran importante al elegir una variedad mejorada, es la cobertura de mazorca ya que puede traer como consecuencia un mayor daño de aves y mayor

porcentaje de mazorca podrida, lo que provoca demérito en la calidad de grano, dificultando su comercialización al no cubrir los parámetros que una empresa comercializadora califica en sus compras, el promedio en mazorcas con mala cobertura fue de 5.3% y presentaron el mayor problema los genotipos HE-20B, HE-21B, HC-1 y SINT-3B con índices de 14.1, 11.2, 7.8, y 7.4% respectivamente, el resto de genotipos tiene una cobertura de mazorca aceptable.

El daño de aves o pájaros es otra variable que se mide dado que potencializa la presencia de hongos en el grano; su relación con la mala cobertura y la mazorca podrida lo hacen importante, la media en el porcentaje de mazorca dañada por aves fue de 3.5% y genotipos como SINT-3B con 8.0% y HE-21B con 6.8% son los de mayor ataque, muy por arriba del que ocurre con el testigo H-520 con 0.5%. El conteo de mazorca podrida en su totalidad, permitió encontrar que la media en el porcentaje fue de 2.3% y que la variedad V-537C con 5.7% fue la más afectada.

La calificación media de enfermedades asignada (Cuadro 2), fue de 1.3 para roya (*Puccinia polisora)* y 1.6 para tizón (*Helminthosporium maydis y (Helminthosporium turcicum*), indicadores que implican baja presencia de los patógenos, de tal forma que se considera que no redujeron el potencial de rendimiento de los genotipos evaluados pues su daño es bajo y sobre las hojas de mayor edad y ubicadas por debajo de la mazorca. Al evaluar la sanidad de mazorca, se determinó una media de 1.6 indicador de baja presencia de hongos, solo las variedades V-537C, SINT-1A y SINT-3A con una calificación de 2.0 presentaron una mayor incidencia, sin embargo, la calidad de grano por presencia de este tipo de patógenos en forma visual no se afectó.

El arquetipo de planta de planta de los genotipos experimentales es más uniforme que el de los materiales liberados como el testigo H-520, sus valores oscilan entre el 1.0 y el 3.0 y destaca el HE-20B por su uniformidad en altura, posición de hojas, altura de mazorca, grosor de tallo, color; mientras que, para el caso de la mazorca los valores asignados oscilan entre el 1.0 y el 4.0, éste último valor se asignó al HE-3B pues hay variación en tamaño de mazorca, definición de hileras y su llenado, pero genotipos como el HE-20B, HE-22B con una calificación de 1.0 en esta característica fueron los más sobresalientes, además de registrar los rendimientos más altos.

Conclusiones

1. Los genotipos HE-22B, HE-20B y HE-23B con rendimientos de 7698, 7302 y 7277 kg/ha, respectivamente son genotipos sobresalientes y con rendimientos estadísticamente iguales a los del testigo H-520. 2. El grupo de genotipos evaluados presentan ciclo de intermedio-precoz a intermedio y alturas de planta y mazorca consideradas de porte intermedio. 3. Existe tecnología de manejo y material genético mejorado de maíz adecuado para las condiciones agroclimáticas de la Chontalpa en Tabasco.

Literatura Citada

Barrón, F. S. y C. Rodríguez, M. 2021. Sistema de producción de maíz asociado a la producción de chihua en el Plan Balancán-Tenosique Tabasco. p. 12-19. *In*: XXXII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco y IX simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical 2021. Villahermosa, Tab., México.

CIMMYT (Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1985. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. Ciudad de México. 23p.

Eberhart, S. A. y W. A. Russell, 1966. Stability parameters for comparing varietis. Crop Sci. 6:36-40.

Gordón, M. R., B. I. Camargo, B. J. Franco, y S. A. González. 2006. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. Agronomía Mesoamericana. 17(2): 189-199.

Gordón, M. R. y F. H. Deras, 2017. Evaluación de híbridos de maíz en ambientes contrastantes de Meso América. p. 23. *In*: Conferencia en la LXII Reunión Anual del PCCMCA, San Salvador, El Salvador.

Ramírez, D. J. L., P. J. Wong, J., C. J. Ruiz, A. y M. Chuela, B. 2010. Cambio de fecha de siembra del maíz en Culiacán, Sinaloa, México. Rev. Fitotec. Mex. 33(1): 61-68.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ [consultado el 21 de mayo de 2022].

Sierra, M. M., C. A. Palafox, F. Rodríguez, M., A. Espinoza, C., G. Vázquez, C., N. Gómez, M. y S. Barrón F. 2011. H-564C, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Rev. Mex. Cienc. Agric. 2(1):71-84.

DESCRIPTORES MORFOLOGICOS DE *Dendrobium nobile* EN LA COLECCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL TEOCELO

Edgar Couttolenc Brenis[1]*, Marco Antonio Toral Juárez[1], Rosalio López Morgado[1], Jesús Parroquín Perez[1]

Resumen

En la colección de Orquídeas del Sitio Experimental Teocelo se cuenta con ejemplares de especies nativas de México e introducidas como la especie *Dendrobium nobile* originaria de Asia y Oceanía. Esta especie es de importancia económica por su uso como ornamental y en la industria farmacéutica. Por lo que es necesario contar con descriptores que permitan identificar los cultivares de los cuales no se tienen datos de origen. Con este fin se seleccionaron caracteres morfológicos vegetativos y florales que permitan identificar las diferencias entre individuos de esta especie. Las mediciones hechas a las accesiones de la colección mostraron que la mayoría plantas presentaron un menor en tallo (< 30 cm); y sépalos (>3 cm) y pétalos (>3 cm) de mayor tamaño que los estudiados en condiciones naturales. Los caracteres seleccionados permitieron agrupar en diferentes conglomerados, cinco para los caracteres vegetativos y tres para los caracteres florales, a las accesiones estudiadas. Por lo que, estos caracteres podrían ser utilizados para describir diferentes cultivares de *D. nobile.*

Palabras clave: accesiones, caracteres vegetativos, caracteres florales

Introducción

Dendrobium nobile es una orquídea de crecimiento simpodial que forma pseudobulbos, con tallos erectos de hasta 90 cm. de largo, las hojas están unidas al tallo de 7 a 11 cm. de largo y 1 a 3 cm. de ancho. Las inflorescencias se componen de una a tres flores de hasta 10 cm. de

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. C.E. Coataxtla/S.E. Teocelo. *couttolenc.edgar@inifap.gob.mx

diámetro. Los sépalos y pétalos el borde de color rosa a violeta, y el resto de la superficie es blanca (Adhikari *et al.*, 2020).

Esta especie es originaria las regiones tropicales y subtropicales de Asia. Ha sido utilizada dentro de la farmacopea tradicional china como un tónico para el tratamiento de malestares estomacales (Adhikari *et al.,* 2020; Tang y Eisenbrand, 1992), y recientemente se le ha estudiado por su acción antitumoral (Wang *et al*., 2010). También, algunos de los metabolitos secundarios que han sido identificados en los diferentes tejidos de *D. nobile* han mostrado actividad contra el virus del mosaico en cucurbitáceas (Li *et al.,* 2020). Además de la obtención de compuestos químicos, esta orquídea es apreciada por su belleza como planta de ornato por lo que es ampliamente cultivada en Asia, Europa y América (Ichinose *et al*., 2018).

En México, el género es ampliamente cultivado, siendo *D. nobile* de las especies con mayor distribución en los viveros. En la región de Coatepec, Veracruz se han cultivado algunas especies del género *Dendrobium* desde hace 30 años (Llarena, 2016). En algunos casos el cultivo se realiza sobre el estrato de sombreado de los cafetales, facilitando la propagación de esta especies con fines de comercialización (Toledo *et al*., 2013; Venturieri y Pickscius, 2013; Llarena, 2016). Sin embargo, hasta el momento no se tienen descriptores que permitan identificar los materiales de esta especie de los que no se tengan registros de su origen. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar algunos caracteres vegetativos y florales para ser utilizados como descriptores de la especie.

Materiales y Métodos

Las plantas de *D. nobile*, se encuentran en las instalaciones del Sitio Experimental Teocelo (SE Teocelo) del INIFAP (Figura 1). Las mediciones de los pseudobulbos (tallos), hojas y raíz se realizaron en las siete accesiones de *D. nobile* resguardadas en la colección de Orquídeas del SE Teocelo. De cada accesión se seleccionaron cinco hojas y cinco tallos y se midieron los siguientes caracteres cuantitativos: la longitud de longitud de hoja, ancho de hoja, grosor de la hoja, diámetro de tallo, longitud de tallo y longitud de raíz. En el caso de los caracteres florales, solo cinco accesiones presentaron flor, en estas se midieron la longitud del eje X de la flor, la longitud del eje y de la flor, longitud del sépalo, longitud del pétalo, longitud del labelo

y la longitud del pedúnculo floral. Para medir la longitud de longitud de hoja, ancho de hoja, diámetro de tallo, longitud de tallo, longitud de raíz y longitud de los elementos de la flor se utilizó un vernier digital marca Exrebon®. El grosor de se midió con un micrómetro digital marca DENPETEC®.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de conglomerados con la finalidad de validar los caracteres seleccionados como descriptores en la evaluación de las variaciones dentro de la especie. Este análisis se realizó con el programa estadístico INFOSTAT® (Di Rienzo *et al*., 2011). Como método de aglomeración se usó el encadenamiento promedio (UPGMA) y como índice de disimilitud se utilizó la distancia taxonómica media (Escobedo y Núñez, 2011). El número de conglomerados se definió haciendo un corte al 50% de la distancia taxonomica.



Figura 1. Accesiones de D. nobile de la colección en el S. E. Teocelo colocadas sobre fustes de árboles muertos. A) partes vengativas e inflorescencia. B) Detalle de una flor. C) Inflorescencia.

Resultado y Discusión

De las características morfológicas vegetativas de las plantas en la colección del SE Teocelo, los correspondientes a las hojas están entre los rangos que se han descrito para esta especie. (Cuadro 1). Sin embargo, en el caso de los tallos la mayoría de estos aún no han alcanzado su el tamaño promedio de los ejemplares que han sido colectados en sus áreas de distribución natural en Asia (Gogoi 2005).

Cuadro 1. Descriptores morfológicos cuantitativos de hoja, tallo y raíz de las accesiones de *Dendrobium nobile* de la colección del SE Teocelo.

	Hoja			Tallo	
	Longitud (cm)	**Ancho (mm)**	**Grosor (mm)**	**Longitud (cm)**	**Diámetro (mm)**
Media	10.38	25.8	0.02	32.6	11.23
D.E.	1.58	6.59	4.70E-03	10.02	2.08
E.E.	0.6	2.49	1.80E-03	3.79	0.79
CV	15.19	25.56	31.31	30.72	18.56
Mediana	10.46	23.02	0.01	35.9	11.28

Maitra *et al*. (2020) menciona que de la talla comercial mínima del tallo debe de ser 30 cm. De los 35 tallos que se evaluaron 19 estaban por debajo de ese rango y los 16 restantes se ubicaban en alguna de las categorías señaladas por estos autores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación comercial de las plantas de *D. nobile* por la longitud de sus tallos.

Rango de Longitud	Número de Plantas	Clasificación
< 30 cm	19	No comercial
30-40 cm	9	Pequeño
40-45 cm	1	Mediano
45-50 cm	1	Largo
> 50 cm	5	Extra Largo

En lo referente a los caracteres florales registrados muestran valores superiores en el tamaño de los sépalos y pétalos (Cuadro 3) al promedio (<=30 mm) a los descritos para esta especie en su zonas de distribución natural (Gogoi, 2005). Esto probablemente está relacionado con el

hecho que los materiales que se introdujeron a la región de Coatepec habían sido seleccionados por presentar flores de mayor tamaño para ser comercializados (Llarena-Hernández, 2016).

Cuadro 3. Descriptores morfológicos cuantitativos de la flor de los de los ejemplares de *Dendrobium nobile* de la colección del SE Teocelo.

	Diámetro (mm)	Sépalo (mm)	Pétalo (mm)	Labelo (mm)	Pedúnculo (mm)
Media	58.53	36.99	39.62	35.88	60.83
D.E.	4.76	1.8	1.41	2.11	3.24
E.E.	1.51	0.33	0.32	0.67	1.45
CV	8.14	4.86	3.57	5.89	5.32
Mediana	58.72	37.24	39.74	36.03	59.65

En la evaluación de los caracteres que se utilizaron como descriptores mediante el análisis de conglomerados se observó que en el caso de los caracteres vegetativos agrupaban las accesiones en cinco conglomerados (Figura 2).

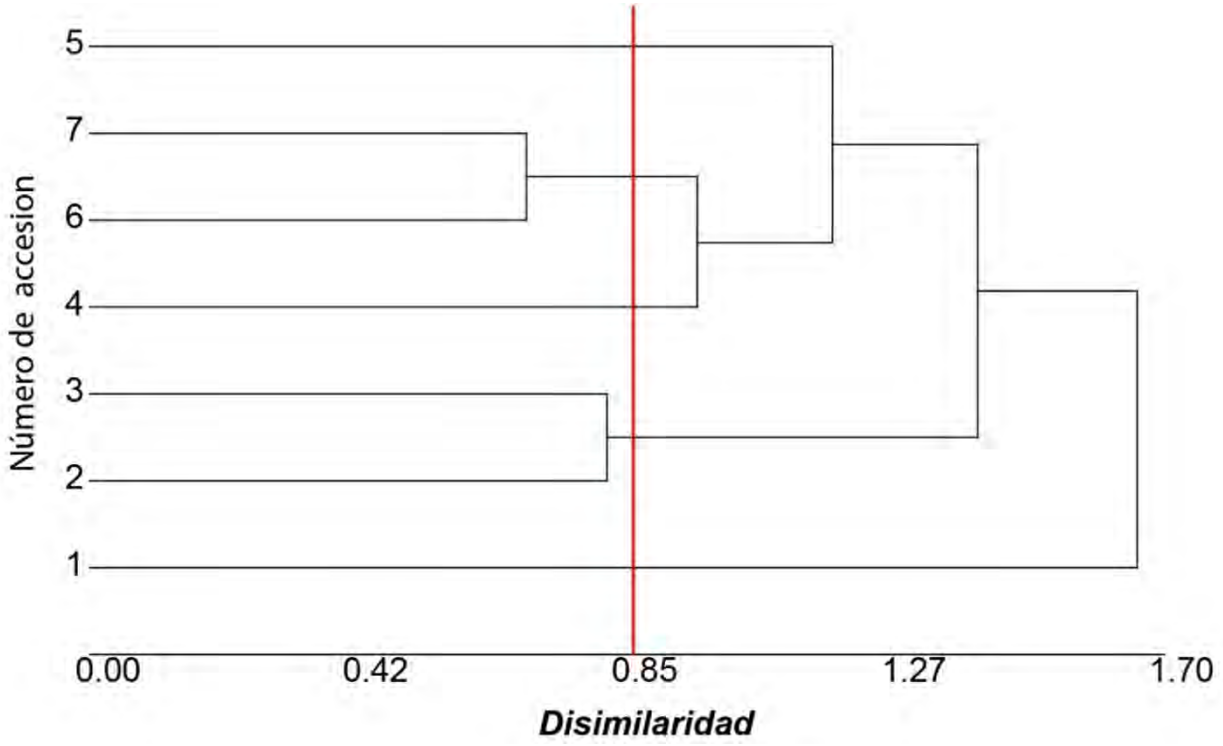


Figura 2. Agrupación en conglomerados de las accesiones de *D. nobile* de acuerdo a los caracteres vegetativos.

Recursos Genéticos y Mejoramiento

Las accesiones dos y tres formaron un conglomerado; las accesiones seis y siete formaron otro; y cada una de las accesiones uno, cuatro y cinco representa un conglomerado. Esto muestra que los caracteres vegetativos permiten identificar las variaciones fenotípicas entre los materiales y la posible formación de cultivares (Adams *et al*., 2006).

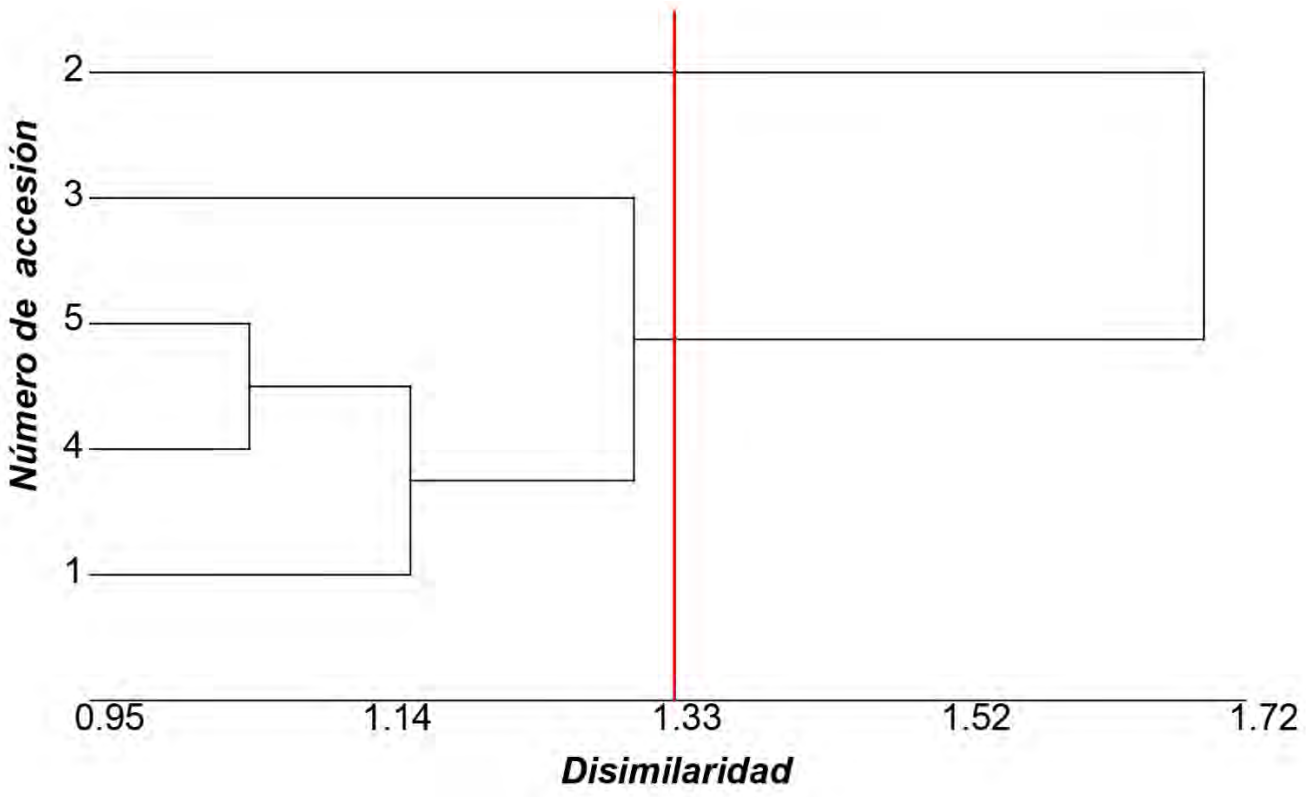


Figura 3. Agrupación en conglomerados de las accesiones de *D. nobile* de acuerdo a los caracteres florales.

Con los caracteres florales usados como descriptores también se logró agrupar las cinco accesiones evaluadas. En este caso solo se formaron dos conglomerados donde la accesión 2 es uno y el resto de accesiones el otro (Figura 3). Por lo que estos caracteres al igual que los vegetativos tienen pueden ser utilizados para agrupar los diferentes materiales de D. nobile (Adams *et al*., 2006).

Conclusiones

1. Lo caracteres vegetativos y florales utilizados mostraron capacidad para agrupar a los individuos evaluados. Por lo que se pueden usar como una herramienta en la identificación de nuevos fenotipos de interés. 2. Aunque no existe descriptores consensuados para *D. nobile*, los caracteres morfológicos seleccionados para evaluar las accesiones de la colección permiten identificar y clasificar los individuos de esta especie.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con los recursos del proyecto “Conservación de recursos genéticos de orquídeas”, financiado con fondos fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Literatura Citada

Adams, P.B., J.M Burke y S.D. Lawson. 2006. A review of the taxonomy and relationships of the Dendrobium speciosum complex (Orchidaceae), and recognition of two new taxa. Telopea 11(2):195-232.

Adhikari, Y.P., P. Bhattarai, K.P. Acharya, R.M. Kunwar, R.W. Bussmann, 2020. Dendrobium nobile Lindl. Orchidaceae (en línea). In Kunwar, RM; H. Sher, RW Bussmann. (eds.). Cham, Springer International Publishing, (Ethnobotany of Mountain Regions). p. 1-5 DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-45597-2_80-1

Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada, C. Robledo, 2011. InfoStat. s.l., Universidad Nacional de Córdoba.

Escobedo L. D. y C.A Núñez C. 2011. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal (en línea). Agronomía Mesoamericana 22(2):415-427.

Gogoi, K. 2005. The genus Dendrobium in Dibru-Saikhowa National Park and Biosphere Reserve. J. Orchid Soc. India 19(1-2):17-25.

Ichinose, J. G. D. S., C. Mantovani, R.B. Mazzini G., F.L. Pivetta, K., R.T. de Faria, R.L.V. Bôas y R.T. Hoshino. 2018. Plant development and nutrient uptake rate in Dendrobium nobile Lindl (en línea). Journal of Plant Nutrition 41(15):1937-1945.

Li, Z., J. Xiang, D. Hu y B. Song, 2020. Naturally potential antiviral agent polysaccharide from Dendrobium nobile Lindl. Pesticide Biochemistry and Physiology 167:104598. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104598

Llarena, H.R.C. 2016. Sistemas de producción de orquídeas (orquidaceae) en Veracruz, México. Agro Productividad 9(6).

Maitra, S., M. Sairam, T. Shankar y G. DJ. 2020. Growing of Dendrobium Orchids in Greenhouse. In Maitra, S y Galkwad, D (eds.). New Delhi Publishers, New Delhi, 270-277.

Tang, W. y G. Eisenbrand. 1992. Dendrobium nobile Lindl. p. 451-454. *In*: Tang, W, Eisenbrand, G (eds.). Berlin, Heidelberg, Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-73739-8_57

Toledo A. T., K. Mehltreter, J.G. García F., A. Hernández R., V.J. Sosa. 2013. Benefits and costs of epiphyte management in shade coffee plantations. Agriculture, Ecosystems & Environment 181:149-156. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.026

Venturieri, G.A. y F.J. Pickscius, 2013. Propagation of Noble Dendrobium (Dendrobium nobile Lindl.) by cutting. Acta Scientiarum. Agronomy 35:501-504. DOI: https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i4.15198

Wang, J.H., J.P. Luo, X.Q. Zha, B.J. Feng. 2010. Comparison of antitumor activities of different polysaccharide fractions from the stems of Dendrobium nobile Lindl. Carbohydrate Polymers 79(1):114-118. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.032

DETERMINACION DE FOSFATOS DE INOSITOL EN FRIJOL CULTIVADO EN VERACRUZ

María Stephanie Cid Gallegos[1,2], Armando González Jasso[1], Anaberta Cardador Martínez[3], Francisco Javier Ugalde Acosta[4], Xariss M. Sánchez Chino[5], Luis Jorge Corzo Ríos[2], Jorge Martínez Herrera[3] y Cristian Jiménez Martínez[1*]

Resumen

México es el principal centro de biodiversidad del frijol, encontrando gran diversidad de colores y composición química. Esta leguminosa, contiene además de una excelente proporción de carbohidratos (50-70%) y proteínas (20-30%), fibra, vitaminas y otros metabolitos secundarios que han sido clasificados como no nutricionales por su efecto adverso en la absorción de muchos de estos nutrientes. El ácido fítico es uno de ellos. Este compuesto representa la principal fuente de fósforo de las leguminosas, ya que es un compuesto formado por un inositol esterificado con 1-6 fosfatos (IP1, IP2, IP3, IP4, IP5 o IP6), cuya presencia da a esta molécula, la capacidad de unirse a minerales, carbohidratos o proteínas, disminuyendo su biodisponibilidad. En este trabajo, se cuantificó e identificó la presencia de IP6, IP5 e IP4 en frijoles cultivados en Veracruz, entre los que se incluyen variedades comerciales negras, peruanos, bayos y flor de mayo. Los resultados permitieron conservar la baja concentración de estos compuestos, siendo el IP4 e IP5 los mayoritarios en casi todas las muestras. De los frijoles analizados, el que presentó IP6 en mayor cantidad fue el Negro Veracruz, sin embargo, la concentración mostrada fue mejor a variedades de otros países.

Palabras clave: ácido fítico, leguminosas, frijol

[1] Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Wilfrido Massieu Esq. Cda. Miguel Stampa s/n, Delegación Gustavo A. Madero, México City, CdMx 07738, México; *crisjm_99@yahoo.com
[2] Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto s/n, Col. La laguna Ticomán, México City, México
[3] Departamento de Bioingenierías, tecnológico de Monterrey, Av. Epigmenio González No. 500, Fraccionamiento San Pablo, Querétaro 76130, México
[4] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México
[5] Catedra-CONACyT, Departamento de Salud, El Colegio de la Frontera Sur-Villahermosa, Tabasco, México

Introducción

El frijol como alimento representa una parte importante de la dieta de la población mexicana, por sus múltiples características nutricionales, su contenido energético, su gran cantidad de proteína (20-30%) y de carbohidratos complejos (50-70%), así como por su contenido de vitaminas como la tiamina, niacina y ácido fólico, además de minerales, y de ácidos grasos poliinsaturados. Esta leguminosa, es un producto básico y estratégico en el desarrollo rural y social del país. La mega diversidad del país ha permitido la generación de variedades de frijol de distintos colores y características morfológicas, en donde México ocupa un lugar privilegiado. En el ámbito mundial y comercial, México se encuentra entre los primeros cinco países de mayor producción (FAO, 2020). La importancia de la variación genética de la semilla de frijol radica también en las características químicas que presentan los granos, ya que se ha demostrado que, dependiendo del material genético, los componentes nutricionales y no nutricionales se encuentran en mayor o menor concentración. Por tal motivo es importante caracterizar las variedades comerciales que se producen en el país e impulsar el mejoramiento genético para el desarrollo de variedades con mejor calidad nutricional.

Sin embargo, este grupo de alimentos contiene diferentes compuestos de carácter no nutritivo que dificultan o inhiben la asimilación de sus nutrientes y producen efectos fisiológicos y bioquímicos adversos en humanos y animales, pudiendo llegar a presentar toxicidad en algunos casos. Es por ello, que a estos compuestos se les ha denominado tradicionalmente como factores antinutricionales (Los *et al*., 2018). Uno de estos compuestos es el ácido fítico, fosfato de inositol o mio-inositol hexakisfosfato o 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexakis fosfato dihidrogeno mio-inositol, también abreviado como InsP6 o IP6. Este compuesto es la principal forma de almacenamiento de fósforo en semillas de cereales, leguminosas y oleaginosas y representa entre el 65 a 85% del fósforo total de las semillas (Ojo, 2020).

En cuanto a su localización en las leguminosas, este compuesto está distribuido de manera uniforme en los cotiledones y eje embrionario (Feizollahi *et al*., 2021). Se forma a partir de la esterificación del fósforo en cada uno de los seis grupos hidroxilo de una molécula conocida como mioinositol. En la semilla los fosfátos de inositol se encuentra formando sales con varios cationes; la liberación de los iones H+ de los grupos fosfato permite a los iones Mg^{2+}, Fe^{2+}, Ca^{2+}, K^{+2} y Zn^{2+} formar sales, a los que en conjunto se conoce como fitina o en ocasiones

fitatos. La fitina casi siempre se une a proteínas en los cuerpos proteínicos (Ojo, 2020). Durante la germinación el fósforo y los cationes procedentes de la fitina, son liberados por el incremento de la actividad de una enzima denominada fitasa, por lo que quedan disponibles para ser utilizados durante el desarrollo de la plántula. La enzima fitasa (mio-inositol-hexaquisfosfato fosfohidrolasa), es capaz de hidrolizar secuencialmente el ácido fítico hasta mioinositol, dando lugar a los productos intermedios con un menor número de grupos ortofosfato (IP5, IP4, IP3, IP2, IP) y fosfato inorgánico (Sharma *et al*., 2021). Las semillas presentan fitasas constitutivas, así como enzimas fitasa que son sintetizadas ¨*de novo*¨ durante la germinación (Bloot *et al*., 2021).

Dentro de las funciones fisiológicas del ácido fítico en las plantas, se encuentra la de inhibidor del metabolismo, ya que, al unirse a cationes multivalentes necesarios para los procesos celulares, el metabolismo se hace lento, por lo que podría ser un inductor de la latencia de la semilla. Por otro lado, la capacidad antioxidante del ácido fítico hace que éste contribuya a aumentar el tiempo de latencia de la semilla, ya que previene la peroxidación de lípidos (Bloot *et al*., 2021). El ácido fítico además es una de las formas principales de almacenamiento de fósforo en las plantas, y sus sales conocidas como fitatos regulas diversas funciones celulares como, la reparación del DNA, la remodelación de la cromatina, la endocitosis, exportación nuclear del RNA mensajero, e importante en la señalización hormonal para el desarrollo de plantas y semillas (Wang *et al*., 2021). Las moléculas de mioinositol menos fosforiladas se encuentran de forma libre en la naturaleza, presentes en pequeñas cantidades, como intermediarios transitorios en reacciones bioquímicas. Los mioinositoles mono-, bi-, trifosfatos, son importantes componentes de un grupo de fosfolípidos, conocidos como fosfoinosítidos, que están presentes en muchas plantas y tejidos animales (Raboy, 2020). La concentración de este compuesto en las semillas es muy variable y depende de factores como la variedad, tipo de suelo, condiciones climáticas entre otras. Es por eso, por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración de ácido fítico (IP4, IP5 e IP6) en 20 variedades de frijol sembradas en dos zonas de Veracruz y dos años de cosecha.

Materiales y Métodos

Material biológico

Se utilizaron 20 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) de las clases comerciales negro, bayo, flor de mayo, peruanos y pintos (Figura 1), obtenidas de dos localidades, una en el municipio de Córdoba en el ciclo P-V 2017 de temporal a 1300 msnm y la otra en Medellín de Bravo en el ciclo 2017/18 cultivados a 13 msnm. Las semillas fueron seleccionadas eliminando restos de planta y semillas dañadas. Se molieron hasta obtener un polvo homogéneo y se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis.



Figura 1. Variedades de frijol cultivadas en el estado de Veracruz.

Cuantificación e identificación de fitatos

Para la identificación y cuantificación de fítatos (IP4, IP5 e IP6) por HPLC, se utilizó el método descrito por Graf and Dintzis, (1982), para esto, a una muestra de 0.5g de harina de frijol se le adicionan 10 mL de HCl 0.5 M, y se homogeneiza en Ultra-turrax durante 1 min, se centrifugó a 6000 rpm recuperando el sobrenadante. El procedimiento anterior se repitió dos veces más. Se utilizó una columna de intercambio aniónico SAX (Aguilent) desechando el filtrado. Los fítatos retenidos en la columna se eluyeron con 2 mL de HCl 2M y se secaron por evaporación a 45°C en condiciones de vacío durante 24 h. Los extractos fueron disueltos en agua desionizada y filtrados en membranas de 0.45um de diámetro de poro. Se colocaron alícuotas de 1 mL en viales, y se analizaron por HPLC (Agilent 1100). Para esto, se utilizó una columna C-18 de fase reversa (Agilent) y se utilizó una fase móvil compuesta por 515 mL de metanol, 485 de agua y 8 mL de hidróxido de tetrabutilamonio al 40%, 1 mL de ácido sulfúrico 5M, 0.5 mL de ácido fórmico al 91% y 0.2 mL de ácido fítico hidrolizado. El flujo utilizado fue de 1mL/min y el volumen de inyección de 20 uL. Se utilizaron estándares de inositol trifosfato y fitato de sodio. Una mezcla de fosfatos de inositol fue preparada hidrolizando una solución de fitato de sodio (6 mg/mL) en agua, la cual se llevó a 120°C por 1 h en Autoclave. La identificación de los fosfatos de inositol se realizó por comparación con los tiempos d retención de los picos detectados.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, y todas las determinaciones se realizaron al menos por triplicado. Se realizó un análisis de varianza unifactorial (ANOVA), prueba de rango múltiple de Duncan con una significancia nivel de $p \leq 0.05$, y análisis de varianza bifactorial (ANOVA) se realizaron con el software Statistica versión 10.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos sobre la cuantificación de Fosfatos de inositol se muestran en el Cuadro 1. Como se puede observar, en la mayoría de las muestras de frijol analizadas el IP6 es el que se encuentra en menor proporción, siendo la variedad Negro Veracruz la que presentó la mayor concentración de IP6 en ambos años de cosecha (6 y 12 mg/ 100 g en cosecha 2017 y 2018 respectivamente), mientras que IP4 e IP5, presentan la mayor

concentración en la mayoría de las muestras. En el caso de estos tres fosfatos de inositol, la concentración de IP6 en la mayoría de las variedades fue de 0.06-0.89 mg/g de muestra, en la cosecha 2017, mostrando solo el peruano 3 y el negro Veracruz las mayores concentraciones (1.18 y 6.26 mg/g, respectivamente). Mientras que en la cosecha 2018, esta proporción se vio ligeramente arriba de lo mostrado en el año anterior, presentando concentraciones entre 0.20-2.23 mg/g de muestra, y con el frijol Negro Veracruz como el de mayor concentración (12.02 mg/g). Estas concentraciones de IP6 encontradas en los frijoles cultivados en Veracruz son menores a los reportado por Ravoninjatovo *et al*. (2022) que encontraron concentraciones de 0.87-2.09% en frijoles de Madagascar. Mientras que Sangronis *et al*. (2006) reportó 0.47% en frijol negro de España. también se han reportado concentraciones de Fítatos totales muy variable en las leguminosas ya que pueden encontrarse entre desde el 0.2-2% (Ojo, 2020), En semillas de leguminosas, el fítato se distribuye uniformemente y se encuentra asociado con cuerpos proteicos (Sharma *et al*., 2021). Su contenido difiere entre especies y formas, teniendo las habas la más alto y lentejas el contenido más bajo (Bloot *et al*., 2021). El alto contenido de ácido fítico y en especial el de tipo IP6, disminuye la biodisponibilidad de minerales como el Zn, Ca y Fe entre otros, por lo que, si el consumidor está ingiriendo una dieta baja en minerales, el ácido fítico puede conducir a una deficiencia nutricional (Sharma *et al*., 2021). Sin embargo, este problema puede corregirse si el ácido fítico se hidroliza enzimáticamente por fitasas en inositol de fosfato con 5 (IP5), cuatro (IP4) tres (IP3) y posiblemente hasta di y mono fosfato, por el almacenamiento, fermentación, germinación o bien por la cocción.

Con respecto a los IP5 se puede observar (Cuadro 1) que la concentración es mayor que los IP6, siendo esta de 1.43-9.36 mg/g de muestra, mostrando la mayor proporción el frijol Negro Veracruz, esto para la cosecha 2017. Contrario al IP6, la proporción de IP5 en el 2018 disminuyó, mostrando un intervalo de 0.12-4.74 mg/g siendo los frijoles Negros Michigan y Veracruz, los que mayor concentración mostraron.

Finalmente, en cuanto al contenido de IP4, la concentración fue menor que en los otros dos fosfatos, siendo para la cosecha 2017 de 1.14-2.55 mg y solo el pinto zapata y el peruano 3, mostraron una concentración elevada (4.02 y 9 mg/g respectivamente). Mientras que en el caso de la cosecha 2018 las concentraciones de IP4 estuvieron entre 0.67-5.89 mg/ g de muestra.

Cuadro 1. Contenido de fosfatos de inositol (IP 4, IP5 e IP6) en variedades de frijol del estado de Veracruz (mg/ g de muestra).

	2017			2018		
	IP4	IP5	IP6	IP4	IP5	IP6
Bayo INIFAP	2.31±0.03	6.38±0.55	0.06±0.04	0.67±0.01	2.35±0.20	0.84±0.06
Ejotero León	5.83±0.07	2.44±0.12	0.66±0.01	0.90±0.01	1.99±0.11	0.83±0.07
Flor de Mayo Dolores	2.42±0.02	5.76±0.53	0.53±0.05	2.21±0.09	0.12±0.01	0.72±0.03
Negro 80-25	2.39±0.13	4.12±0.07	0.82±0.02	2.79±0.16	2.07±0.00	0.68±0.20
Negro CIAT 103-25	2.14±0.04	2.55±0.25	0.44±0.02	0.91±0.03	0.68±0.07	2.00±0.07
Negro Comapa	1.95±0.04	4.73±0.11	0.39±0.00	0.96±0.02	1.36±0.03	1.32±0.01
Negro Cotaxtla	1.48±0.07	5.65±0.25	0.38±0.03	1.19±0.06	3.06±0.01	1.04±0.08
Negro Dor448	2.44±0.02	6.07±1.88	0.37±0.06	1.70±0.01	2.44±0.08	0.33±0.05
Negro ELS 15-55	2.55±0.00	1.57±0.26	0.35±0.09	8.35±0.02	0.87±0.00	0.49±0.10
Negro Huasteco	2.40±0.00	5.74±0.90	0.24±0.03	4.13±0.01	2.33±0.11	0.84±0.10
Negro INIFAP	1.62±0.03	4.98±0.23	0.13±0.00	4.13±0.01	2.33±0.11	0.84±0.10
Negro Jamapa	1.26±0.00	7.41±0.57	0.56±0.04	1.02±0.02	2.00±0.09	0.20±0.00
Negro Medellin	2.34±0.02	7.12±0.27	0.21±0.06	0.85±0.00	2.50±0.11	1.01±0.07
Negro Michigan	1.14±0.02	1.81±0.72	0.59±0.01	7.39±0.06	4.74±0.02	0.42±0.12
Negro Papaloapan	1.84±0.05	2.40±0.00	0.17±0.00	4.38±0.13	1.08±0.00	0.32±0.01
Negro Veracruz	1.20±0.03	9.36±0.14	6.26±0.05	0.70±0.02	4.48±0.07	12.02±0.09
Pinto Saltillo	1.29±0.02	6.01±0.18	0.48±0.01	1.60±0.03	1.23±0.04	2.23±0.06
Pinto Zapata	4.02±0.03	7.37±0.13	0.89±0.00	5.70±0.04	3.55±0.06	2.21±0.00
Peruano 1	1.21±0.05	3.46±0.01	0.31±0.01	4.81±0.07	4.03±0.01	0.58±0.03
Peruano 3	9.00±0.03	1.43±0.03	1.18±0.02	5.89±0.02	0.29±0.01	6.53±0.09

Los resultados representan la media de tres determinaciones independientes± DE

Conclusiones

La diversidad de especies de frijol encontradas en México ha permitido la generación de variedades con características físicas y nutricionales que compiten con las de otros países. La presencia de compuestos no nutricionales como el Acido fítico, y sobre todo el IP6, disminuye la absorción de nutrientes, sin embargo, se ha mostrado que, en el caso de las aquí analizadas, las concentraciones son menores a las mostradas por variedades de otros países, esto permite mostrar que, con el consumo de frijol, se pueden obtener los beneficios nutricionales y funcionales de esta leguminosa.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ingeniero Francisco J. Ugalde, del INIFAP-campo Cotaxtla Veracruz, por las muestras de frijol.

Fuente financiadora

Los autores agradecemos al IPN por el apoyo otorgado a través del proyecto SIP2020

Literatura Citada

Bloot, A. P. M., D. L. Kalschne, J. A. S. Amaral, I. J. Baraldi, y C. Canan. 2021. A review of phytic acid sources, obtention, and applications. Food Reviews International, 1-20.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2020. FAOSTAT statistical database. https://www.fao.org/faost at/en/#data/QCL

Feizollahi, E., R. S. Mirmahdi, A. Zoghi, R. T. Zijlstra, M. S. Roopesh, y T. Vasanthan, 2021. Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products. Food Research International, 143: 110284.

Graf, E y F. R. Dintzis. 1982. Determination of phytic acid in foods by high-performance liquid chromatography. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 30(6): 1094-1097.

Los, F. G. B., A. A. F. Zielinski, J. P. Wojeicchowski, A. Nogueira, y I. M. Demiate. 2018. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. Current Opinion in Food Science. 19, 63-71.

Ojo, M. A. 2020. Phytic acid in legumes: A review of nutritional importance and hydrothermal processing effect on underutilised species. Food Res, *5*, 22-28.

Raboy, V. 2020. Low phytic acid crops: Observations based on four decades of research. Plants, 9(2), 140.

Ravoninjatovo, M., C. Ralison, A. Servent, G. Morel, N. Achir, H. Andriamazaoro, y M. Dornier. 2022. Effects of soaking and thermal treatment on nutritional quality of three varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Madagascar. Legume Science. 2022, 1–16.

Sangronis, E., A. Torres, y N. Sanabria. 2006. α-Galactósidos y fitatos en semillas germinadas de *Phaseolus vulgaris* y de *Vigna sinensis.* Agronomía Tropical, 56(4), 523-529.

Sharma, S., L. H. D. AnandKumar, A. Tyagi, M. Muthumilarasan, K. Kumar, y K. Gaikwad. 2021. An insight into phytic acid biosynthesis and its reduction strategies to improve mineral bioavailability. The Nucleus, 65: 255–267.

Wang, R., y S. Guo, S. 2021. Phytic acid and its interactions: Contributions to protein functionality, food processing, and safety. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(2): 2081-2105.

COMPORTAMIENTO FENOLÓGICO Y PRODUCTIVO DE VARIEDADES DE FRIJOL NEGRO EN EL NORTE DE VERACRUZ

José Raúl Rodríguez Rodríguez[1*], Oscar Hugo Tosquy Valle[2] y Francisco Javier Ibarra Pérez[2]

Resumen

La siembra de variedades mejoradas puede asegurar un buen rendimiento de frijol y mayor certeza en la cosecha. La influencia del clima también es fundamental para lograr una alta producción, por lo que se pueden seleccionar genotipos que se adapten a una determinada región, con condiciones meteorológicas específicas, que sean favorables para el desarrollo de la planta. En el Programa de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para el sureste de México, se han generado variedades de alto potencial de rendimiento, amplia adaptación y tolerancia a los principales factores bióticos y abióticos, que reducen el rendimiento de grano y limitan la producción de frijol, con la finalidad de que éstas sean una alternativa para aumentar la producción y la superficie sembrada. En octubre de 2021 se estableció un ensayo en el Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP, en el norte del estado de Veracruz, con el objetivo de evaluar un grupo de variedades de frijol liberadas para el sureste del país, para determinar su comportamiento fenológico y productivo e identificar las que muestren mayor rendimiento que el cultivar Negro Michigan, de siembra y consumo común en esta región. La siembra del ensayo se realizó en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Durante la conducción del experimento se registró la precipitación pluvial, se cuantificaron los días a la floración media y a la madurez fisiológica; al final de la etapa de maduración se cosecharon cuatro muestras de 1 m^2 en cada parcela, y se determinó el rendimiento por planta, por hectárea y sus componentes. La variedad Verdín fue la más precoz, tanto en su floración, como en madurez fisiológica; todos los genotipos mejorados fueron similares en rendimiento, y superaron al testigo Negro Michigan; el cultivar Verdín

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro.Campo Experimental Ixtacuaco. rodriguez.jose@inifap.gob.mx
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla.

también obtuvo el mayor rendimiento por planta y por hectárea; a pesar de que produjo la menor cantidad de vainas por planta y de granos por vaina; lo anterior obedece en gran parte, a que sus granos son genéticamente superiores en grosor y longitud, lo que le permite tener mayor peso de grano y más rendimiento.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris,* floración, madurez, rendimiento

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano más importante en el mundo, es la principal fuente de proteína vegetal y la más barata (Duran *et al*., 2014). En México el consumo *per cápita* es de alrededor de 9 kg por persona por año, con una tendencia a la baja. En el año 2021 en México se sembraron 1’410,548 ha con un rendimiento promedio de 580 kg/ha; este mismo año se sembraron en el estado de Veracruz 35,085 ha con un promedio de 730 kg ha^{-1} (SIAP, 2022). Factores tanto bióticos (plagas, enfermedades, etc.), como abióticos (sequía, baja fertilidad de suelo, etc.), hacen que sea muy bajo el promedio de rendimiento (López *et al*., 2012; Singh y Schwartz, 2010).

El frijol se siembra en diversas condiciones ambientales, y algunos genotipos se adaptan mejor a determinadas circunstancias de desarrollo de algunas áreas de producción (Schwartz, 1980); derivado de lo anterior en el trópico húmedo mexicano son de alta demanda los frijoles de grano negro, opacos y pequeños (cuyo peso es menor a 25 g por cada 100 semillas) (Voysest, 2000; Rosales *et al*., 2003). El mejor rendimiento y la mayor seguridad en la cosecha se pueden lograr al utilizar para la siembra variedades mejoradas. El clima a también es fundamental para lograr una alta producción, por lo que es conveniente seleccionar variedades que se adapten a una determinada región, con cierto clima específico y medio ambiente favorable para el desarrollo de la planta (Kohashi, 1990). En el Programa de Mejoramiento de Frijol del INIFAP para el trópico húmedo de México, con sede en el Campo Experimental Cotaxtla, en Veracruz, se han generado variedades de alto potencial de rendimiento, amplia adaptación y tolerancia a los principales factores bióticos y abióticos limitantes de la producción, con la finalidad de que éstas sean una alternativa viable y económica, que contribuya a solucionar la problemática

indicada, y, que incremente la superficie sembrada y el rendimiento por hectárea, para que la siembra de este cultivo sea rentable (López *et al*., 2015; Anaya *et al*., 2021). En el sureste del país y específicamente en el estado de Veracruz, existen diversas enfermedades que afectan al frijol, las cuales son causadas principalmente por virus y hongos, y otros factores que reducen la producción y productividad del cultivo. Las variedades de frijol que se han desarrollado son resistentes a las enfermedades virales: mosaico común del frijol y mosaico amarillo dorado del frijol y algunos de ellos han mostrado resistencia o tolerancia a las enfermedades fungosas: mancha angular, roya y antracnosis, así como a la sequía terminal (Tosquy *et al*., 2016; Ibarra *et al*., 2021; Garrido *et al*., 2021). Los avances en el mejoramiento genético han hecho del frijol un nuevo cultivo con variedades de ciclo corto, arbustivas y uniformes. Las nuevas variedades muestran resistencia múltiple a enfermedades y son de alto potencial de rendimiento (Rosales *et al*., 2004; Cruz *et al*., 2021).

En la zona norte de Veracruz, el frijol es un cultivo de subsistencia y de autoconsumo, que es sembrado principalmente por agricultores tradicionales, con bajo uso de insumos, que reducen aún más su baja rentabilidad; por lo que, para obtener altos rendimientos de grano, es necesario utilizar semilla de variedades mejoradas, y realizar un adecuado manejo agronómico del cultivo (Rodríguez *et al*., 2016). Por ello, en los programas de investigación es conveniente desarrollar tecnologías apropiadas para las condiciones de los productores, quienes deben ser los principales beneficiarios de la investigación. El objetivo de este trabajo fue evaluar un grupo de cinco variedades de frijol, para determinar su comportamiento fenológico y productivo e identificar las que muestren mayor rendimiento que el cultivar Negro Michigan, el cual se siembra y se consume normalmente en la región, y se utilizó como testigo.

Materiales y Métodos

El ensayo se condujo durante el ciclo de otoño-invierno (octubre de 2021 a febrero de 2022), en condiciones de humedad residual, en un terreno del Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP, ubicado en el municipio de Tlapacoyan, en el norte del estado de Veracruz, a 20° 02’ de latitud norte y 97° 05’ de longitud oeste, y una altitud de 88 m. El clima de la localidad es

cálido húmedo Af(m)(e), con precipitación pluvial anual de 1743 mm y temperatura media anual de 24°C (García, 1987; Díaz *et al*., 2006).

Se sembraron las variedades comerciales: Negro Tacaná, Negro Comapa, Verdín, Rubí y Negro Jamapa recomendadas para el sureste de México, las cuales son tolerantes a la principales enfermedades que inciden en la región (Tosquy *et al*., 2016; Ibarra *et al*., 2021), excepto Negro Jamapa, cultivar con buen comportamiento productivo en condiciones favorables, pero muy susceptible a condiciones adversas de sequía y enfermedades (Rosales *et al*., 2004; López *et al*., 2006; Tosquy *et al*., 2014), junto con un genotipo denominado Negro Michigan, utilizado como testigo, que comúnmente se siembra en la zona de estudio. Todos los genotipos utilizados en el ensayo son de hábito de crecimiento indeterminado, de grano negro opaco y pequeño, con un peso <25 g por 100 granos (SNICS, 2017).

La siembra se realizó en bloques completos al azar con cuatro repeticiones; cada parcela experimental estuvo conformada por dos surcos de 5 m de longitud, separados a 0.60 m, de la cual se cosecharon cuatro muestras o repeticiones de 1 m^2 cada una. Durante la fase vegetativa del cultivo se realizó fertilización mineral al suelo con la fórmula 40N-40P-00K recomendada por el INIFAP (López *et al*., 2017), utilizando como fuentes nutrimentales Urea (46% de N) y Fosfato Diamónico grado 18-46-0; esta fertilización se complementó con una fertilización foliar a base de N-P-K y elementos menores a razón de 2 L/ha de producto comercial. También se realizaron dos escardas con azadón para mantener el cultivo libre de maleza; y se aplicó cipermetrina en dosis de 200 mL/ha de producto comercial, para controlar plagas insectiles como doradillas (*Diabrótica* sp.) y chicharritas (*Empoasca kraemeri*). Durante todo el desarrollo del cultivo, no hubo condiciones ambientales (humedad y temperatura) que favorecieran la presencia de patógenos causantes de enfermedades.

En el transcurso del ciclo se registró la precipitación pluvial (mm) directa del sitio del experimento y se cuantificaron las variables: 1. Días a la floración media, dato registrado cuando el 50% del total de las plantas de cada genotipo presentaban por lo menos una flor abierta (Fernández *et al*., 1985); 2. Días a la madurez fisiológica, cuando en el 50% de las plantas de cada genotipo, empezaron a cambiar de color sus vainas, de verde a amarillo (Fernández *et al*., 1985); 3. Número de vainas producidas por planta, obtenido del promedio de vainas de 10 plantas en cada muestreo; 4. Número de granos por vaina, promedio de granos de 20 vainas en cada muestreo; 5. Rendimiento de grano promedio por planta, que se obtuvo

al dividir el peso en gramos de los granos de cada muestra entre el número de plantas cosechadas por muestra y 6. Rendimiento de grano en kilogramos por hectárea al 14% de humedad. Se determinó la normalidad de los datos registrados mediante el Test de Shapiro-Wilk, (Shapiro y Wilk., 1965), y la igualdad de las varianzas para cada característica evaluada, utilizando la prueba de Levene (Brown y Forsythe, 1974); posteriormente se realizó análisis de varianza (ANOVA) de una vía, y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α=0.05).

Resultados y Discusión

Durante el ciclo del cultivo se tuvo una precipitación pluvial total de 358.7 mm, de los cuales, 176.1 mm se recibieron en la fase vegetativa y el resto durante la fase reproductiva; esta humedad fue suficiente para obtener un rendimiento de grano aceptable en todos los genotipos de frijol, el cual fue superior a la media regional (SIAP, 2022); la cantidad de lluvia, coincide con lo que señalan Rosas (2003) y Ruíz *et al*. (2013), los cuales indican que son necesarios de 300 a 500 mm de agua, bien distribuidos durante el ciclo del cultivo, para un adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas de frijol.

En los análisis de varianza, se detectaron diferencias significativas entre genotipos de frijol en el número de días después de la siembra en que llegaron a las etapas de floración media y madurez fisiológica. En el Cuadro 1 se muestra, que Verdín fue el genotipo más precoz en florecer, estadísticamente similar a la variedad Rubí y al cultivar Negro Michigan (Tosquy *et al*., 2016; Ibarra *et al*., 2021) y significativamente menos días que el resto de los cultivares. Este genotipo también llegó a la etapa de madurez fisiológica en un tiempo significativamente inferior al de los otros cinco cultivares (Cuadro 1). La característica de precocidad de Verdín ya ha sido reportada con anterioridad (Rodríguez *et al*., 2014; Tosquy *et al*., 2016), la cual es importante porque permite a las plantas de frijol escapar de la sequía terminal, o bien, minimizar el daño por este factor ambiental, que comúnmente se presenta en las siembras de humedad residual de los ciclos de otoño-invierno e invierno-primavera en el estado de Veracruz (Tosquy *et al*., 2018).

Cuadro 1. Días a la floración y a la madurez fisiológica de genotipos de frijol evaluados en el norte de Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2021-22.

Genotipos	Floración media (d)	Madurez fisiológica (d)
Verdín	37 a	69 a
Rubí	39 ab	74 b
N. Michigan	39 ab	75 b
N. Tacaná	40 b	79 c
N. Comapa	40 b	79 c
Jamapa	40 b	81 c

Medias con letras iguales en cada columna, son estadísticamente similares, según Tukey (0.05).

Referente a los componentes de rendimiento, en el Cuadro 2 se muestra que, aunque la variedad Verdín produjo una cantidad promedio de vainas por planta significativamente menor a las del resto de los genotipos, así como un menor número de granos por vaina, obtuvo el mayor rendimiento de grano por planta y por hectárea, el cual fue estadísticamente similar al de las variedades: Negro Tacaná, Rubí, Negro Jamapa y Negro Comapa, pero fue significativamente superior al de Negro Michigan, que fue el genotipo con menor rendimiento. Lo anterior obedece en gran parte, a que los granos de la variedad Verdín son genéticamente de mayor grosor y longitud, lo que favorece un mayor peso de grano y por ende, un mayor rendimiento de frijol (López *et al.*, 2012; Rodríguez *et al*., 2021); por otro lado, White (1991) menciona que en el frijol existe un fenómeno denominado compensación de los componentes del rendimiento, y debido a esto, al disminuir alguno de ellos, los otros aumentan, ya que la planta tiende a mantener estabilidad en su producción.

Cuadro 2. Rendimiento y componentes de seis genotipos de frijol, evaluados en el norte de Veracruz. Ciclo otoño-invierno 2021-22.

Genotipos	Vainas por planta	Granos por vaina	Rendimiento (g/planta)	Rendimiento (kg/ha)
Verdín	15.57 a	4.72 a	15.32 b	952.00 b
Negro Tacaná	18.35 bc	5.81 b	13.40 ab	934.50 b
Rubí	20.82 cd	4.90 ab	14.20 ab	926.75 b
Negro Jamapa	18.32 b	5.20 ab	14.92 ab	923.00 b
Negro Comapa	16.15 ab	5.75 ab	13.35 ab	897.75 ab
Negro Michigan	21.05 d	5.71 ab	12.60 a	758.00 a

Medias con letras iguales en cada columna, son estadísticamente similares, según Tukey (0.05).

Conclusiones

1. Verdín fue la variedad más precoz, tanto en floración como en madurez fisiológica, así como la más productiva, cuyo rendimiento de grano por planta y por hectárea fue significativamente superior al del testigo Negro Michigan. 2. Las variedades Negro Tacaná, Rubí, Negro Jamapa y Negro Comapa, tuvieron un rendimiento aceptable, similar a Verdín.

Literatura Citada

Anaya, J. L., F. J. Ibarra P., F. Rodríguez C., P. Ortega M., E. Chiquito A., J. A. Acosta G. 2021. Leguminosas de grano en México: variedades mejoradas de frijol y garbanzo desarrolladas por el INIFAP. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 25 (Publicación Especial): 63-75.

Brown, M., and A. Forsythe. 1974. Robust tests for the equality of variances. Journal of the American Statistical Association 69:364-367.

Cruz E., J. A. Acosta G., L. Reyes M. y J. A. Cueto W. 2021. Variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) del INIFAP. Libro Técnico No 2. INIFAP. Ciudad de México, México. 98 p.

Díaz, P. G., J. A. Ruiz C., M. A. Cano G., V. Serrano A. y G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). Libro Técnico No. 13. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 292 p.

Durán T. L. y R. Velázquez. 2014. Evaluación de genotipos mejorados de frijol negro *Phaseolus vulgaris* en Barinas y Monagas, Venezuela. Revista de Ciencias Agrícolas 31(2):63–75.

Fernández, F., P. Gepts y M. López. 1985. Etapas de Desarrollo de la planta de frijol. p. 61-78. *In*: López M., F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds.). Frijol: Investigación y Producción. Programa Nacional de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.

Garrido, R. E. R., O. H. Tosquy V., F. J. Ibarra P., V. A. Esqueda E. y J. R. Rodríguez R. 2021. Reacción de genotipos de frijol a la inoculación de los patógenos de Antracnosis y Roya. p. 341-355. *In*: Zetina, L. R., O. Tosquy V., A. L. del Ángel P., A. Ríos U. y V. A. Esqueda E. (eds.). Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano: Retos y oportunidades. 1ra. ed. en formato electrónico (internet). INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Paso del Toro, Medellín, Ver., México.

García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. UNAM. Méx. D.F. 130 p.

Ibarra, P. F.J., O. H. Tosquy V., J. R. Rodríguez R., J. L. Anaya L. y J.A. Acosta G. 2021. Caracterización agronómica y validación de la variedad de frijol Rubí en Veracruz y Chiapas, México. 2021. p. 85-98. *In*: Zetina, L. R., O. Tosquy V., A. L. del Ángel P., Á. Ríos U. y V. A. Esqueda E. (eds.). Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano: Retos y oportunidades. 1ra. ed. en formato electrónico (internet). INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Paso del Toro, Medellín, Ver., México.

Kohashi, S. J. 1990. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su relación con el rendimiento. Centro de botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 44 p.

López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S, E. N. Becerra L, F. J. Ugalde A. y J. Cumpián G. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. Rev. Fitotec. Mex. 29(1):33-39.

López, S. E., O. H. Tosquy V., J. R. Rodríguez R. y B. Villar S. 2012. Informe técnico anual de actividades de mejoramiento genético de frijol negro opaco Mesoamericano en Veracruz y Chiapas. Proyecto desarrollo de variedades de frijol de alto rendimiento, tolerantes a sequía, resistentes a patógenos y con la calidad que demanda el consumidor. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz. 12 p.

López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S., J. A. Acosta G., J. R. Rodríguez R. y P. A. Meza. 2015. Rendimiento y estabilidad de líneas mejoradas de frijol negro en Veracruz y Chiapas, México. Rev. Fitotec. Mex. 38(2):173-181.

López, S. E., O. H. Tosquy V. y F. J. Ibarra P. 2017. Frijol. p. 33-36. *In*: Zetina, L. R. y S. Uribe G. (comps.). Agenda Técnica Agrícola Veracruz. SAGARPA. INIFAP. COFUPRO. México, D. F.

Rodríguez, R. J. R., O. H. Tosquy V. y E. López S. 2014. Genotipos de frijol negro y su tolerancia a la sequía terminal en Veracruz, México. p. 79-88. *In*: Tercer Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas. Ciencias Biológicas y Agronómicas. Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Rodríguez, R. J. R., E. López S. y O. H Tosquy V. 2016. Rendimiento y reacción a la Mustia hilachosa de genotipos de frijol en el norte de Veracruz. p. 19-23. *In*: Memorias de la XXVIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco y V Simposio Internacional de Producción Agroalimentaria Tropical. Villahermosa, Tabasco.

Rodríguez, R. J. R. y O. H. Tosquy V. 2021. Producción de grano y de materia seca de genotipos de frijol negro en Tlapacoyan, Veracruz. p. 41-46. *In*: XXXII Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2021, y IX Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Villahermosa, Tabasco, México.

Rosales, S. R., J.A. Acosta G., R. Durán, H. Guillén, P. Pérez, G. Esquivel, *et al*. 2003. Diversidad genética de germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Agric. Téc. Méx. 29(1):11-24.

Rosales, S. R., J. A. Acosta, J. S. Muruaga, J. S., G. Hernández, G., y P. Pérez. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 6. Chapingo Edo. de Méx., México. Campo Experimental Valle de México. CIRCE. INIFAP. SAGARPA. 149 p.

Rosas J. C. 2003. El cultivo de frijol común en América Tropical. Carrera de Ciencia y Producción, Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano. 2ª ed. Tegucigalpa, Honduras. 57 p.

Ruiz, C. J., G. Medina, I. González, H. Flores, G. Ramírez, C. Ortiz *et al*. 2013. Requerimientos Agroecológicos de los Cultivos. Libro Técnico No. 3. INIFAP. CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal., México. 564 p.

Schwartz H. F. 1980. Problemas misceláneos. p. 327-340. *In*: Problemas de Producción del Frijol: Enfermedades, Insectos, Limitaciones Edáficas y Climáticas de *Phaseolus vulgaris* L. H. F. Schwartz y G. E. Gálvez (Eds.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.

Shapiro, S. and M. Wilk. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika. 52(3-4): 591-611.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Avance de siembras y cosechas. https/:nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ [consultado el 24 de marzo 2022].

Singh, S. P. y H. F. Schwartz. 2010. Common bean for resistance to diseases. A review. Crop Science Society of America 50(6): 2199-2223.

SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2017. Guía técnica para la descripción varietal. Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). 2a ed. SAGARPA. SNICS. Coyoacán, Cd. de Méx., México. 36 p.

Tosquy, V. O. H., E. López S., N. Francisco N., J. A. Acosta G. y B. Villar S. 2014. Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5(7):1205-1217. https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.866

Tosquy, V. O. H., E. López S., B. Villar S., J. A. Acosta G. y J. R. Rodríguez R. 2016. Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7(7):1775-1780.

Tosquy, V. O. H., E. López S., F. J. Ibarra P., B. Villar S., J. R. Rodríguez R., J. A. Acosta G. y S. Beebe. 2018. Registration of 'Verdín', an early-season, opaque black-seeded bean cultivar. Journal of Plant Registrations 1(12):13-18. http://10.3198/jpr2016.11.0068crc

Voysest, O. 2000. Mejoramiento genético del fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 195 p.

White, J. 1991. Conceptos básicos de la fisiología de frijol. p. 43-56. *In*: Frijol: Investigación y producción. López, M., F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.

HV1, HV2 Y HV3, NUEVOS HÍBRIDOS VARIETALES DE MAÍZ PROSPECTOS PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

Mauro Sierra Macías[1*], Clara Ríos Isidro[1], Noel Orlando Gómez Montiel[1], Sabel Barrón Freyre[1], Pablo Andrés Meza[1], Alejandro Espinosa Calderón[1] y Margarita Tadeo Robledo[1]

Resumen

Los híbridos varietales representan una alternativa en la producción comercial de maíz híbrido debido a la heterosis que resulta de cruzar dos variedades de polinización libre con buena aptitud combinatoria específica. Así, con el objetivo de conocer el rendimiento, características agronómicas y adaptabilidad de híbridos varietales de maíz, durante los ciclos primavera verano 2016, 2017 y 2018 se evaluaron en Veracruz y Tabasco 20 cruzas varietales de maíz, 5 sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520 utilizado como testigo. Dichos experimentos se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm en una densidad de 62,500 pl/ha. Del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano, se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para Genotipos (G), para Ambientes (A) y para la interacción GxA. De acuerdo con los parámetros de estabilidad, los 28 genotipos fueron caracterizados como estables; Los híbridos varietales sobresalientes en rendimiento al 0.01 de probabilidad fueron: SINT-2BxVS-536 (HV1), SINT-4BxVS-536 (HV2), SINT-4BxSINT-2B (HV3), SINT-5BxVS-537C, VS-536xV-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-2BxVS-537C, SINT-5BxVS-536, SINT-1BQxVS-536, SINT-5BxSINT-1BQ con rendimiento de grano de 6.45 a 7.21 t/ha, mismos que superaron al testigo comercial H-520 de 1 a 13%; Así también, los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor fueron: 19.76, 13.46, 11.29, 8.54, 16.9, 5.46, 7.64, 6.24, 6.07 y 5.91%, para cada híbrido, respectivamente; De las comparaciones y pruebas de t, las cruzas varietales registraron un rendimiento promedio de 6.39 t/ha, significativamente mayor en 8% en relación con el de los progenitores. En cuanto a

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Cotaxtla. *Correspondencia: sierra.mauro@inifap.gob.mx

las características agronómicas, los híbridos sobresalientes son de planta y mazorca baja con una relación altura de mazorca altura de planta de 0.50, registraron buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, con buena cobertura de la mazorca, tolerantes al acame y no presentan pudriciones de mazorca.

Palabras clave: *Zea mays* L., heterosis, híbridos varietales

Introducción

En México, el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada y generar el 36% del valor de la producción agrícola. El uso principal es el consumo directo en sus diferentes formas en la alimentación humana. La superficie nacional en 2018 fue de 7.95 millones de hectáreas, de las cuales 7.345 millones fueron para grano, con un rendimiento medio de 3.748 t/ha y una producción de 26.67 millones de toneladas, de las cuales se utilizan para el consumo directo 12.6 millones de toneladas; de estas, el 35% es a través de la industria harinera y 65% a través de la industria de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización. Sin embargo, durante 2018 se importaron 17.095 millones de toneladas de grano amarillo para la industria de alimentos balanceados, lo que genera un consumo *per cápita* aparente de 345.6 kg (SAGARPA, 2018).

En la región tropical del país se siembran 2.8 millones de hectáreas de maíz, de las cuales, un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 91 mil hectáreas son sembradas bajo condiciones de riego (Espinosa *et al.,* 2019), en esta superficie, es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas ya que estos presentan buen potencial de rendimiento bajo condiciones favorables de clima suelo y manejo por parte de los agricultores (Sierra *et al*., 2019).

En la formación de híbridos es importante identificar progenitores con buena aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), buen rendimiento *per se*, tolerancia a estrés biótico y abiótico, facilidad y rentabilidad en la producción comercial de semilla (Tadeo *et al*., 2015a; Tadeo *et al*., 2015b; Trachsel *et al*., 2016; Gómez *et al*., 2017; Sierra *et al*., 2018; Ramírez *et al*., 2019; López *et al*., 2021; Tadeo *et al*., 2021).

En cuanto al uso de semilla híbrida, se aprovecha la varianza genética desviación de aditividad y las ventajas que ofrece la heterósis en la producción comercial de maíz, dada por la heterocigocis al cruzar progenitores de maíz con relativa divergencia genética (Reyes, 1985; Esquivel *et al*., 2011; Sierra *et al*., 2018; Sierra *et al*., 2019). Chuquija y Huanuqueño (2015), de un estudio sobre el comportamiento de ocho poblaciones de maíz amarillo, encontraron que las poblaciones 28 y 24 resultaron ser buenos progenitores, en virtud de que sus descendientes resultaron ser más rendidores, de menor altura de planta y más precoces que el probador. Velasco *et al.* (2019), de un estudio con germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos, encontraron que la cruza F1p9*P8 presentó el valor más alto de heterosis (26.19%).

Reyes (1971), usó en la formación de los híbridos H-503 y H-507 el patrón heterótico Trópico húmedo x Trópico seco. Córdova *et al*. (2007), reportan la cruza CML247xCML254, misma que ha sido utilizada como testigo en varios experimentos en los programas nacionales en Latino América y en los que ha expresado buen rendimiento y características agronómicas favorables; Así también, ha sido utilizado por varias empresas productoras de semillas. Sierra *et al*. (2004), usaron como probadores líneas endogámicas de buena aptitud combinatoria específica (ACE), LT154, LT155, CML247 y CML254, las cuales permitieron identificar líneas avanzadas y separar grupos heteróticos. Cruz *et al*. (2010), de un estudio sobre heterosis y aptitud combinatoria en poblaciones de maíz tropical, encontraron efectos aditivos en la expresión del rendimiento de grano. Gómez *et al*. (2015), en cruzamientos de variedades locales de clima templado con variedades adaptadas del trópico encontraron cruzas de la raza Chalqueño con Tepecintle con valores altos de heterosis.

Los híbridos varietales representan una alternativa en la producción comercial de maíz debido a la heterosis que resulta de cruzar dos progenitores variedades de polinización libre. Así también, solamente hay que mantener dos progenitores, por lo tanto, es más fácil y rentable la producción comercial de semilla (Espinosa *et al*., 2012; Sierra *et al.*, 2014; Cervantes *et al*., 2016; Sierra *et al*., 2016; Tadeo *et al*., 2016; Virgen *et al*., 2016; Sierra *et al*., 2018).

Por su parte, Tadeo *et al*. (2015b), mencionan que si bien las variedades V-54A y V-55A, representan una buena opción para los productores de secano en los Valles altos de México, la cruza 156xV-54A, superó en 38.1% el rendimiento de la variedad V-54A, misma que puede representar ventajas en las siembras comerciales. Palemón *et al*. (2012), de acuerdo con los valores de Heterosis, ACG y ACE para rendimiento seleccionaron las cruzas varietales VS-

529*VE1 y VS-529*VE3 para su promoción masiva en la región semicálida del estado de Guerrero.

La adaptabilidad de los genotipos permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico, (Eberhart y Russell, 1966). La interacción genotipo ambiente es el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos a través de diferentes ambientes (Reyes 1990; Andrés *et al.,* 2017; Sierra *et al.,* 2018). El modelo de Eberhart y Russell (1966), utiliza el coeficiente de regresión para medir la respuesta de una variedad a distintos ambientes y la desviación de regresión que mide la consistencia de dicha respuesta. Se requiere seleccionar genotipos que interaccionen lo menos posible con el ambiente. Variedad estable es aquella con coeficiente de variación igual a 1 y desviación de regresión igual a 0.

El modelo estadístico es: $\bar{Y}ij = \mu i + \beta i I_j + \delta_{ij}$, donde,

$\bar{Y}_{ij}$ = Media de la variedad i en el ambiente j

μ_i= Media de la variedad i en todos los ambientes

β_i=Coeficiente de regresión

I_j= Índice ambiental

δ_{ij}=Desviación de regresión

Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron conocer el rendimiento, adaptabilidad y las características agronómicas de híbridos varietales de maíz a través de ambientes en los estados de Veracruz y Tabasco y determinar la heterosis con respecto al mejor progenitor.

Materiales y Métodos

Localización

La formación de cruzas varietales de maíz, se llevó a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al INIFAP, ubicado en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, localizado a los 18° 56’ Latitud Norte y 96° 11’ Longitud Oeste y una altitud de 15 msnm; el clima de acuerdo a la clasificación de köppen modificada por García (2004), con área de influencia en el trópico húmedo de México, engloba, el grupo climático A (Aw, Am y Af), cálido húmedo y subhúmedo

con temperatura media de 25°C y precipitación anual de 1400 mm, distribuidos de junio a noviembre. El suelo es de origen aluvial, profundo, con textura media a través de todo el perfil, pendiente menor de 1%, buen drenaje y pH ligeramente ácido (6.6). Las localidades de evaluación de las cruzas varietales fueron: Campo Experimental Cotaxtla, CBTA 84 del municipio de Carlos A. Carrillo en Veracruz y Huimanguillo en el estado de Tabasco con clima Aw1, Aw2 y Am para cada localidad, respectivamente.

Germoplasma utilizado

El germoplasma de maíz utilizado en la presente investigación es material experimental en diverso grado de avance en el mejoramiento genético, particularmente son cruzas varietales de maíz formadas con variedades sintéticas experimentales pertenecientes a la raza Tuxpeño; Se evaluaron 28 genotipos, de los cuales, 20 son cruzas varietales, 5 sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520, utilizado como testigo (Sierra *et al*., 2019).

Descripción de los experimentos

Durante los ciclos primavera verano 2016, 2017 y 2018 se evaluaron 20 cruzas varietales de maíz, 5 sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520 utilizado como testigo, mismas que se distribuyeron bajo un diseño bloques completos al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm en una densidad de 62,500 pl/ha, para el control de malezas se aplicó Atrazina en forma preemergente. Se fertilizó con la fórmula 161-46-00, usando Urea como fuente nitrogenada y se controlaron plagas del follaje durante el desarrollo del cultivo.

V**ariables y registro de datos**

Por su importancia económica y reducción en los riesgos en la producción, las principales variables agronómicas registradas en experimentos fueron: días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, calificación de aspecto y sanidad de planta y de mazorca, número de plantas total, porcentaje de plantas acamadas, porcentaje de mazorcas con mala cobertura; a la cosecha se registraron las variables de rendimiento de grano, número de mazorcas total, porcentaje de mazorcas podridas y porcentaje de materia seca en el grano.

Métodos estadísticos

Los diseños utilizados fueron bloques al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de dos surcos de 5 m de largo separados a 80 cm en densidad de 62,500 pl/ha. Se

realizó un análisis individual para cada experimento y un análisis combinado de las cruzas varietales en los seis ambientes de evaluación (Reyes, 1990). Para la separación de medias se aplicó la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 0.05 y 0.01 de probabilidad (Reyes, 1990). Se hizo un análisis de parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966). Se hicieron comparaciones y pruebas de t al 0.05 y 0.01 de probabilidad para cruzas varietales y sus progenitores, así también, se calcularon los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor (Reyes, 1985), de la siguiente manera:

$$\%\ de\ Heterosis = \frac{\text{F1} - \text{Mejor progenitor}}{\text{Mejor progenitor}}\ x\ 100$$

Resultados y Discusión

Rendimiento de grano

Del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano en las cruzas varietales (Cuadro 1), se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para Genotipos (G), para Ambientes (A) y para la interacción GxA; La significancia para la interacción sugiere que los genotipos sobresalientes en un ambiente, no necesariamente lo son en otros ambientes. Del Cuadro 1, puede observarse que fue más importante la varianza debida al factor ambiente, lo que significa que el ambiente es importante en la expresión de los cruzamientos varietales. Así también, el coeficiente de variación registrado fue de 13.97% valor relativamente bajo, que sugiere que el manejo de los experimentos y los datos obtenidos son confiables (Reyes, 1990).

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado para rendimiento de grano de híbridos varietales de maíz en seis ambientes de Veracruz y Tabasco (2016 a 2018).

Fuente Variación	GL	SC	CM
Genotipos (G)	27	65.27	2.42**
Ambiente (A)	5	341.54	68.31**
Interacción GxA	135	677.07	5.02**
Error	324		0.7697
CV (%)			13.97

GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; Fcalc= F calculada; Ft0.05= Valor de F de tablas al 0.05 de probabilidad; Ft0.01= Valor de F de tablas al 0.01 de probabilidad; CV= Coeficiente de variación

Los híbridos varietales sobresalientes en rendimiento al 0.01 de probabilidad, fueron: SINT-2BxVS-536 (HV1), SINT-4BxVS-536 (HV2), SINT-4BxSINT-2B (HV3, SINT-5BxVS-537C, VS-536xV-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-2BxVS-537C, SINT-5BxVS-536, SINT-1BQxVS-536, SINT-5BxSINT-1BQ con rendimiento de grano de 6.45 a 7.21 t/ha (Cuadro 2). Así también, este grupo de híbridos varietales fueron superiores en rendimiento de 1 a 13% más en relación con el testigo comercial H-520.

Cuadro 2. Rendimiento de cruzas varietales de maíz Veracruz y Tabasco (2016 a 2018).

Trat	Genealogía	Cot 2016B	Huim 2016B	Carr 2016B	Cot 2017B	Huim 2018B	Cot 2018B	Promedio	% Rel	% Het	Descripción
1	SINT2BxVS-536 (HV1)	7.99	6.34	9.16	6.28	6.55	6.91	7.21*	113	19.76	E
14	SINT4BxVS-536 (HV2)	8.67	6.05	6.90	6.86	5.47	6.48	6.74*	105	13.46	E
17	SINT4BxSINT2B (HV3)	7.64	5.83	8.11	6.09	5.42	7.1	6.70*	105	11.29	E
9	SINT-5B X V-537C	7.25	5.79	8.30	6.61	5.42	6.32	6.61**	103	8.54	E
20	VS-536 X VS-537C	7.14	5.23	8.13	5.85	5.69	7.36	6.57**	103	16.90	E
18	SINT-3BxSINT-1BQ	7.73	6.01	7.97	3.71	6.36	7.56	6.56**	102	5.46	E
19	SINT-2BxVS-537C	7.75	5.13	6.89	6.51	5.58	7.05	6.48**	101	7.64	E
16	SINT-5B X VS-536	7.03	4.86	8.17	7.65	5.23	5.88	6.47**	101	6.24	E
13	SINT-1BQxVS-536	6.77	5.39	7.34	6.79	6.15	6.33	6.46**	101	6.07	E
15	SINT-5BxSINT-1BQ	7.01	4.57	8.54	6.82	5.13	6.62	6.45**	101	5.91	E
6	SINT-3BxVS-537C	6.69	5.42	7.41	6.42	5.24	7.36	6.42	100	3.22	E
28	H-520	7.42	5.92	6.74	6.4	5.16	6.77	6.40	100		E
12	SINT-4B X SINT-3B	7.34	5.02	8.60	6.64	5.43	5.17	6.37	99	2.41	E
3	SINT-5B X SINT-4B	7.10	5.12	7.60	6.32	4.92	6.86	6.32	99	3.78	E
11	SINT-3B X SINT-2B	7.73	6.06	6.06	4.47	6.59	6.87	6.30	98	1.29	E
2	SINT-5B X SINT-2B	7.55	5.71	6.08	6.99	4.35	7.07	6.29	98	3.28	E
23	SINT-3B	7.02	4.36	8.47	6.22	5.76	5.5	6.22	97		E
5	SINT-4BxVS-537C	7.17	5.03	4.97	6.59	5.87	6.99	6.10	95	2.69	E
21	SINT-1BQ	8.18	4.57	7.04	6.09	6.28	4.37	6.09	95		E
8	SINT-4BxSINT-1BQ	7.51	5.03	8.10	4.18	4.66	7.05	6.09	95	0	E
25	SINT-5B	7.00	4.14	6.07	6.09	6.22	7	6.09	95		E
7	SINT-5B X SINT-3B	7.34	4.91	7.37	6.61	4.51	5.7	6.07	95	-2.41	E
4	V-537C X VS-536	7.12	5.69	4.46	5.85	5.69	7.36	6.03	94	7.29	E
22	SINT-2B	7.35	4.76	6.26	6.02	5.62	6.1	6.02	94		E
24	SINT-4B	6.22	4.56	7.69	5.94	4.94	6.26	5.94	93		E
26	VS-536	6.95	4.62	6.51	5.38	4.65	5.63	5.62	88		E

Continúa Cuadro 2…

Trat	Genealogía	Cot 2016B	Huim 2016B	Carr 2016B	Cot 2017B	Huim 2018B	Cot 2018B	Promedio	% Rel	% Het	Descripción
27	V-537 C	5.22	4.22	8.92	5.08	4.94	5.04	5.57	87		E
10	SINT-2BxSINT-1BQ	7.78	4.82	6.16	4.36	3.49	6.61	5.53	86	-9.19	E
	PROMEDIO	7.27	5.18	7.29	6.03	5.40	6.48	6.28			
	CV (%)							13.97			
	CME							0.7697			
	DMS 0.05							0.5732			
	DMS 0.01							0.7545			

*/= Significancia de los tratamientos al 0.05 de probabilidad; **/= Significancia de los tratamientos al 0.01 de probabilidad; Trat= Tratamiento; Cot= Campo Cotaxtla, Ver.; Carr= Carlos A. Carrillo, Ver.; Huim= Huimanguillo, Tab.; % Rel= % Relativo con relación al testigo; % Het= % de heterosis con respecto al mejor progenitor; E= Genotipo caracterizado como estable.

Estos híbridos varietales tienen la ventaja adicional desde el punto de vista del mantenimiento de solamente dos progenitores, los cuales son variedades de polinización libre con mayor rentabilidad y facilidad en la producción comercial de semilla (Espinosa *et al*., 2012; Sierra *et al*., 2014; Tadeo *et al*., 2015a; Tadeo *et al*., 2015b; Cervantes *et al*., 2016; Sierra *et al*., 2016; Tadeo *et al*., 2016; Virgen *et al*., 2016; Gómez *et al*., 2017; Sierra *et al*., 2018; Ramírez *et al*., 2019; López *et al*., 2021; Tadeo *et al*., 2021).

En los mejores híbridos varietales se observa la presencia de VS-536, variedad de mayor uso en el sureste de México (Sierra *et al*., 2016). Así también, los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor fueron: 19.76, 13.46, 11.29, 8.54, 16.9, 5.46, 7.64, 6.24, 6.07, y 5.91%, para cada híbrido respectivamente (Cuadro 2 y Figura 1), (Reyes, 1971; Reyes, 1985; Sierra *et al*., 2004; Córdova *et al*., 2007; Cruz *et al*., 2010; Esquivel, *et al*., 2011; Palemón *et al*., 2012; Chuquija y Huanuqueño 2015; Gómez *et al*., 2015; Velasco *et al*., 2019).

En la interacción genotipo ambiente y de acuerdo con los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966), los 28 genotipos fueron caracterizados como estables (Reyes 1990; Andrés *et al*., 2017; Sierra *et al*., 2018).

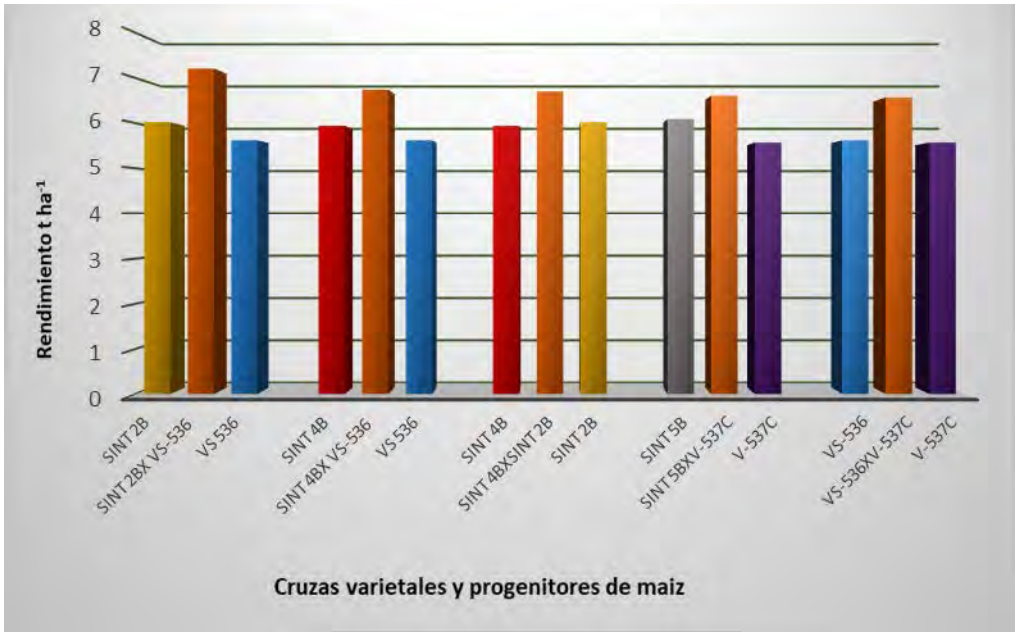


Figura 1. Heterosis en híbridos varietales de maíz Veracruz y Tabasco (2016-2018).

Índices ambientales

Con relación a los índices ambientales, de acuerdo con Eberhart y Russell (1966), los ambientes de Carlos A. Carrillo, Ver. En 2016B y Cotaxtla, Ver., en 2016B, registraron rendimientos promedio significativamente más altos con 7.29** y 7.27** t/ha, y valores positivos en los índices ambientales con 1.01 y 0.99 para cada ambiente respectivamente, mientras que Cotaxtla en 2017B y localidad de Huimanguillo Tabasco en 2018 y 2016B registraron los rendimientos medios más bajos con índices ambientales negativos de -0.25, -0.88 y -1.1 para cada ambiente respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices ambientales de híbridos varietales de maíz. CIRGOC 2016B-2018B.

Ambiente	Rend t/ha	Índices
Carlos A. Carrillo, Ver. 2016B	7.29**	1.01
Cotaxtla, Ver 2016B	7.27**	0.99
Cotaxtla, Ver., 2018B	6.48	0.20
Cotaxtla, Ver., 2017B	6.03	-0.25
Huimanguillo 2018B	5.40	-0.88
Huimanguillo, Tab 2016B	5.18	-1.1
Promedio	6.28	

Rend t/ha= Rendimiento de grano en toneladas por hectárea; B= Ciclo agrícola primavera verano.

Características agronómicas

Por lo que se refiere a las características agronómicas (Cuadro 4), estas cruzas varietales registraron ciclo biológico intermedio con 51 a 53 días a floración masculina, altura de planta y mazorca baja con 217 a 255 cm y de 108 a 132 cm para altura de planta y mazorca, respectivamente. Estos cruzamientos presentan buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, son tolerantes al acame, con buena cobertura de mazorca, presentan bajo porcentaje de mazorcas podridas y con una relación altura de mazorca/altura de planta entre 0.49 y 0.58, es decir, posición de la mazorca a la mitad de la altura de planta lo que se refleja en su tolerancia al acame (Tadeo *et al*., 2015a; Trachsel *et al*., 2016; Gómez *et al*., 2017;).

Cuadro 4. Características agronómicas de cruzas varietales de maíz. Cotaxtla 2016B.

Trat	Genealogía	Días a flor	Alt pl	Alt mz	Asp pl	Asp mz	San pl	San mz	% acame	% cob	% Pod	Alt mz/ Alt pl
1	SINT2BxVS-536 (HV1)	51	238	130	1.7	2.3	1.8	2.2	7.43	0.79	3.73	0.55
2	SINT-5BxSINT-2B	52	225	117	2.3	2.2	2.5	2.2	8.12	9.41	2.81	0.52
3	SINT-5B X SINT-4B	53	237	128	2.7	2.7	2.3	2.3	12.26	9.15	4.61	0.54
4	V-537C X VS-536	51	227	122	2.2	2.8	2.3	2.3	16.5	2.98	6.39	0.54
5	SINT-4B X VS-537C	51	223	110	2.5	2.5	2.2	2.5	8	4.14	4.59	0.49
6	SINT-3B X VS-537C	52	245	120	2.5	2.5	2.5	2.7	5.03	4.45	4.35	0.49
7	SINT-5B X SINT-3B	52	227	117	2.3	2.7	2.3	2.2	7.05	6.03	5.89	0.52
8	SINT-4B X SINT-1BQ	52	235	118	2	2.2	2	2.2	3.34	0.67	1.33	0.5
9	SINT-5B X VS-537C	51	225	113	2.3	2.2	2.3	2.2	5.9	5.02	3.56	0.5
10	SINT-2BxSINT-1BQ	52	222	112	2.2	2.2	2.3	2.2	5.79	2.9	4.36	0.5
11	SINT-3BxSINT-2B	52	225	132	2.5	2.3	2.2	2.3	1.99	1.39	2.75	0.58
12	SINT-4B X SINT-3B	52	223	117	1.8	2.5	2.2	2.3	5.09	3.35	2.99	0.52
13	SINT-1BQ X VS-536	53	238	130	2.3	2.5	2.5	2.2	37.95	2.54	3.38	0.54
14	SINT4BxVS-536 (HV2)	51	228	123	2.3	2.2	2.2	2.3	11.36	5	1.74	0.54
15	SINT-5B X SINT-1BQ	52	217	108	2.2	2.3	2.2	2.3	7.79	2.18	3	0.5
16	SINT-5B X VS-536	51	235	132	2.3	2.3	2.2	2.2	20.15	3.69	4.07	0.56
17	SINT4BxSINT2B (HV3)	52	227	115	2.2	2.7	2.3	2.7	13.58	3.29	5.67	0.51
18	SINT-3BxSINT-1BQ	51	230	112	2.3	2.5	2.3	2.3	1.39	2.56	3.89	0.49
19	SINT-2B X VS-537C	51	255	140	2.2	2.2	2.7	2.2	15.26	8.99	4.56	0.55
20	VS-536xVS-537C	52	253	142	2.2	2.8	2.2	2.7	24.66	2.66	5.77	0.56
21	SINT-1BQ	51	220	112	2.3	2.2	2.7	2.2	0	3.27	4.53	0.51
22	SINT-2B	52	212	115	2.7	2.3	2.3	2.3	4.94	1.95	2.53	0.54

Continúa Cuadro 4…

Trat	Genealogía	Días a flor	Alt pl	Alt mz	Asp pl	Asp mz	San pl	San mz	% acame	% cob	% Pod	Alt mz/ Alt pl
23	SINT-3B	51	242	137	2.5	2.8	2.5	2.3	4.77	8.82	4.2	0.55
24	SINT-4B	52	225	118	2.3	2.5	2.3	2.3	2.07	2.38	5.14	0.53
25	SINT-5B	52	223	127	2	2.3	2.3	2	3.98	8.83	2.17	0.57
26	VS-536	52	232	132	2.5	2.7	1.7	2.7	24.83	4.78	3.98	0.57
27	V-537 C	52	225	115	2.3	2.8	2.5	2.5	13.53	5.87	6.98	0.51
28	H-520	51	228	122	2.2	2.3	2	2.2	14.76	4.11	4.04	0.53
	Promedio	51.7	230.07	122	2.28	2.45	2.28	2.32	10.27	4.33	4.04	0.53
	CME	0.97	687.3	589.1	0.27	0.30	0.30	0.25	204.7	42.45	11.8	50.3
	CV (%)	1.91	11.39	19.89	22.79	22.35	24.02	21.5	139.3	150.47	85.03	13.38

Trat= Tratamiento; Alt pl= Altura de planta; Alt mz= Altura de mazorca; Asp pl= Aspecto de planta; Asp mz= Aspecto de mazorca; San pl= Sanidad de planta; San mz= Sanidad de mazorca; % Cob= Porcentaje de mazorcas con mala cobertura; % Pod= Porcentaje de mazorcas podridas.

Los híbridos varietales SINT-2BxVS-536 (HV1), SINT-4BxVS-536 (HV2), SINT-4BxSINT-2B (HV3), SINT-5BxVS-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-5BxSINT-1BQ sobresalientes en rendimiento y características agronómicas, pueden ser una alternativa en la producción comercial de maíz en virtud de que se adaptan a las condiciones de clima, suelo y manejo por parte de los agricultores en el Sureste de México (Espinosa *et al*., 2019; Sierra *et al*., 2019).

De las comparaciones y pruebas de t al 0.05 y 0.01 de probabilidad (Cuadro 5), se encontró que las cruzas varietales registraron un rendimiento promedio de 6.39 t/ha, significativamente mayor en 8% en relación con el rendimiento promedio de los progenitores, con un valor de t calculada de 5.07**, así también, se registró ventaja en las calificaciones de aspecto de planta y de mazorca, sin embargo, no hubo significancia estadística. (Reyes, 1990).

Cuadro 5. Comparaciones y pruebas de t para híbridos varietales y sus progenitores. CIRGOC (2016-2018).

Comparación	Rend t/ha	% Rel	t Calc	Alt pl	% Rel	t Calc	Asp pl [2/]	% Rel	t Calc	Asp mz[2/]	% Rel	t Calc
Cruzas	6.39	108	5.07**	231.75	103	0.93NS	2.25	100	0.92NS	2.43	100	0.57NS
Progenitores	5.93	100		225.57	100		2.37	105		2.51	103	

t0.05 (54 GL) = 2.00; t0.01 (54 GL) =2.66. Rend= Rendimiento de grano; % Rel= Porcentaje relativo en la comparación; t Calc= t calculada para la comparación; Alt pl= Altura de planta; Asp pl= Aspecto de planta; Asp mz= Aspecto de mazorca; [2/]= Escala de calificación de 1 a 5 donde 1 es lo mejor y 5 es lo peor.

Conclusiones

Los híbridos varietales sobresalientes fueron: SINT-2BxVS-536 (HV1), SINT-4BxVS-536 (HV2), SINT-4BxSINT-2B (HV3), SINT-5BxVS-537C, VS-536xV-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-2BxVS-537C, SINT-5BxVS-536, SINT1BQxVS-536, SINT-5BxSINT-1BQ con rendimiento de grano de 6.45 a 7.21 t/ha y fueron superiores al testigo comercial H-520. Los porcentajes de Heterosis con respecto al mejor progenitor en las cruzas varietales sobresalientes fueron: 19.76, 13.46, 11.29, 8.54, 16.9, 5.46, 7.64, 6.24, 6.07, y 5.91%, para cada híbrido varietal respectivamente.

Las cruzas registraron un rendimiento promedio de 6.39 t/ha, 8% más en relación con los progenitores, así también, mejor calificación de aspecto de planta y de mazorca. Los híbridos registraron planta y mazorca baja, buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, tolerantes al acame, buena cobertura de mazorca, bajo porcentaje de mazorcas podridas. En las cruzas sobresalientes participa la variedad VS-536, de mayor uso comercial y adaptada a la región tropical en el sureste de México. Los híbridos varietales representan una ventaja importante desde el punto de vista del mantenimiento de los dos progenitores, variedades de polinización libre con mayor rentabilidad y facilidad en la producción comercial de semilla.

Literatura Citada

Andrés M. P., M.G. Vásquez C., M. Sierra M., J. A. Mejia C., J.D. Molina G., A. Espinosa-C., A. y M. Cebada M. 2017. Genotype environment interaction on productivity and protein quality of synthetic tropical maize (*Zea Mays* L.) varieties. Interciencia 42 (9): 578-585.

Cervantes O. F., J. Hernandez E., J. A. Rangel L., E. Andrio E., M. Mendoza E., G. Rodríguez P. *et al*. 2016. Aptitud combinatoria general y especifica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. Revista Fitotecnia Mexicana 39 (3): 259-268.

Chuquija J. C. y E. H. Huanuqueño C. 2015. Comportamiento de ocho poblaciones de maíz amarillo (*Zea mays* L.) en cruzas con un probador. Anales Científicos 76 (1): 78-86.

Córdova O. H., S. Trifunovic, A. Ramírez y M. Sierra M. 2007. CIMMYT Maize Hybrids for Latin América. Head to Head analysis and probability of outperforming the best check. Maydica 52: 471-476.

Cruz L., E., G. Castañón N., N. P. Brito M., A. Gómez V., V. Robledo T., A. J. Lozano D.R. 2010. Heterosis y aptitud combinatoria en poblaciones de maíz tropical. Revista Phyton 79: 11-17.

Eberhart S. A. y W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6 (1): 36-40

Espinosa C. A., M. Tadeo R., J. Virgen V., I. Rojas M., N. Gómez M., M. Sierra M. *et al*. 2012. H-51AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos Centrales de México. Revista Fitotecnia Mexicana 35 (4): 347-349.

Espinosa C. A., M. Tadeo R., A. Turrent F., B. Zamudio G., R. Valdivia B., M. Sierra M., *et al*. 2019. Producción de maíz y soberanía alimentaria en el contexto del deterioro ambiental de México. En: Economía política de la devastación ambiental y conflictos socioambientales en México. Coord. Barreda M. A., Enriquez V. L. y Espinoza H.R. p. 323-380.

Esquivel E. G., F. Castillo G., J.M. Hernández C., A. Santacruz V., G. García S., J.A. Acosta *et al*. 2011. Heterosis en maíz del altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2 (3): 331-344.

García M. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México DF México 246 p.

Gómez E., A.L.; Molina G., J.D.; García Z., J.J.; Mendoza C., M.C.; De la Rosa L., A. 2015. Poblaciones exóticas originales y adaptadas de maíz. I. Variedades locales de clima templado x variedades tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 38 (1): 57-66.

Gómez M. N., M. A. Cantú A., G. Vásquez C., C. A. Hernández G., A. Espinosa C., M. Sierra M. *et al*. 2017. Híbrido de maíz H-568: Nueva opción para las áreas de alta productividad del trópico bajo de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8 (5): 1213-1218.

López L. C., M. Tadeo R., J. J. García Z., A. Espinosa C. y A. Mejía C. 2021. Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas 12 (4): 699-711.

Palemón A. F., N. O. Gómez M., F. Castillo G., P. Ramírez V., J. D. Molina G. y S. Miranda C. 2012. Potencial productivo de cruzas intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas 3 (1): 157-171.

Ramírez D. J. L., V. Vidal M., I. Alemán T., A. Ledesma M., N. Gómez M., Y. Salinas M. *et al*. 2019. Selección de líneas y cruzas de maíz combinando las puebas de mestizos y cruzas dialélicas. Revista Fitotecnia mexicana 42 (4): 335-346.

Reyes C. P. 1971. Genotecnia del maíz para tierra caliente. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. División de ciencias agropecuarias y marítimas. Departamento de agronomía. Monterrey, N.L. 138 p.

Reyes C. P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor S.A. México. 460p.

Reyes C. P. 1990. Diseño de experimentos aplicados. Ed. Trillas 3ª Ed. 348p.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y programas Producción agrícola. http://www.gob.mx/siap/acciones y programas de producción agrícola. [Consultado el 22 de noviembre del 2020].

Sierra M. M., F. Márquez S., R. Valdivia B., H. Córdoba O., R. Lezama G. y A. Pescador R. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Agricultura Técnica en México 30 (2): 169-181.

Sierra M. M., F. A. Rodríguez M., A. Palafox C., N. Gómez M. y A. Espinosa C. 2014. Impacto del H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Revista Biológico y Agropecuario Tuxpan 2 (1): 277-282.

Sierra M. M., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., P. Andrés M., N. Gómez M. *et al*. 2016. Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520 en el trópico de México. Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo 13 (1): 19-32.

Sierra M. M., F. A. Rodríguez M., A. Palafox C. y A. Espinosa C. 2016. Adopción e impacto de la variedad VS-536 en la región tropical del sureste de México. Revista de Desarrollo Económico 3 (9): 32-40.

Sierra M. M., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C., P. Andrés M. 2018. Adaptabilidad de híbridos trilineales de maíz en el área tropical de los estados de Veracruz y Tabasco, México. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales (11): 15-19.

Sierra M. M., F. A. Rodríguez M., N. Gómez M., A. Espinosa C., F. J. Ugalde A. y P. Andrés M. 2019. Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. En: Avances en Investigación agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TECNM, Medellín, Ver. p. 482-499.

Tadeo R. M., A. Espinosa C., J. J. García Z., R. Lobato O., N. Gómez, M., M. Sierra, M. *et al*. 2015a. Productividad de híbridos androestériles y fértiles de maíz en cuatro Ambientes de evaluación. Revista Mexicana de las Ciencias Agrícolas 6 (8): 1857-1866.

Tadeo R. M., A. Espinosa C., R. Guzmán M., A. Turrent F., J. Zaragoza E. y J. Virgen V. 2015b. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. Agronomía mesoamericana 26 (1): 65-72.

Tadeo R. M., A. Espinosa C., J. J. García Z., R. Lobato O., N. Gómez M., M. Sierra M. *et al*. 2016. Tsiri Puma, híbrido de maíz para Valles altos de México, con esquema de androesterilidad para producción de semillas. Revista Fitotecnia Mexicana 39 (3): 331-333.

Tadeo R. M., A. Espinosa C., J. Zaragoza E., C. López L., E. I. Canales I., B. Zamudio G., *et al*. 2021. Tlaoli Puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. Revista Fitotecnia Mexicana 44 (2): 265-267.

Trachsel S., M. Leyva, M. López, E. A. Suarez, A. Mendoza, N. Gómez M., *et al*. 2016. Identification of Tropical Maize Germplasm with tolerance to Drought, Nitrogen Deficiency, and combined Heat and Drought Stresses. Crop Science 56 (6): 3031-3045.

Velasco G. A.M., J. J. García Z., J. Sahagún C., R. Lobato O., C. Sanchez A. y I.M. Marín M. 2019. Rendimiento, componentes del rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. Revista Fitotecnia Mexicana 42 (4): 367-374.

Virgen V. J., R. Zepeda B., M. A. Avila P., A. Espinosa C., J. L. Arellano V. y A. J. Gámez V. 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en Valles altos de México. Agronomía mesoamericana 27 (1): 191-206.

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA PRESENTE EN CHILCUAGUE [*Heliopsis longipes* (A. Gray) S.F. Blake, Asteraceae]

Ixchel Parola Contreras[1], Mario Martín González Chavira[2]*, Luis Felipe Guzmán Rodríguez[3], Blanca Amalia Amaro González[3], José Luis Pons Hernández[2], Brenda Zulema Guerrero Aguilar[2] y Ramón Gerardo Guevara González[1]

Resumen

Heliopsis longipes conocido como "chilcuague", es una especie micro endémica de la sierra de Álvarez y Sierra Gorda en los estados de San Luis Potosí, Guanajuato y Querétaro; es la especie con mayor importancia económica de su género. El objetivo de este trabajo fue estimar la variabilidad genética de 29 individuos de *H. longipes* originarios de tres comunidades de Querétaro y Guanajuato, mediante marcadores AFLP (polimorfismos en la longitud de los fragmentos amplificados). Los resultados indican una tendencia de agrupamiento, que corresponde a un patrón geográfico y una diversidad genética promedio de 0.21, la cual ubica a esta especie en el rango de diversidad genética de especies en peligro de extinción, por lo que trabajos de conservación y medidas de protección, deben de considerarse como urgentes para evitar la desaparición de la especie.

Palabras clave: marcadores moleculares, AFLP, especie en peligro de extinción

Introducción

Heliopsis es un género de la tribu Heliantheae de la familia *Asteraceae*, es endémico al continente americano, donde se distribuye desde Canadá, el centro-este de los Estados Unidos Americanos hasta Venezuela y el norte de Bolivia (Rzedowski y Calderón, 2008).

[1] Universidad Autónoma de Querétaro, El Marques, Querétaro, México.
[2] INIFAP-CIRCE-Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., gonzalez.mario@inifap.gob.mx
[3] INIFAP- CNRG Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Heliopsis longipes conocido como: “chilcuague”, “pelitre”, “raíz de oro” y “raíz azteca” (Cilia-López *et al*., 2008), es una especie micro endémica de la sierra de Álvarez y sierra Gorda en los estados de San Luis Potosí, Guanajuato y Querétaro (Rzedowski y Calderón, 2008); es la especie con mayor importancia económica de su género ya que su raíz tiene usos tradicionales como condimento, medicina e insecticida (Cilia-López *et al*., 2008).

A pesar de su importancia no existen estudios a nivel molecular que cuantifiquen su diversidad genética. Por carecer de estos estudios se desconoce el impacto que han tenido sobre su diversidad, el uso tradicional de este recurso, ya que, al ser la raíz la parte más utilizada, su aprovechamiento implica la destrucción total de la planta, por lo que las poblaciones de esta especie han disminuido e incluso desaparecido en algunas zonas (García-Chavez *et al*., 2004).

El desconocimiento de la diversidad existente en esta especie es importante, si se considera que el conocimiento de los patrones de diversidad y características genéticas de un recurso vegetal, representan prerrequisitos trascendentales para su uso, conservación y restauración, también son considerados como parámetros importantes para determinar la prioridad de la protección de la especie en peligro de extinción.

En las últimas décadas, el uso de marcadores de ADN comenzó a ser rutinario para cuantificar la diversidad genética de plantas. Las técnicas que se han desarrollado otorgan mayor precisión y rapidez, y son más económicas para la evaluación de la variación genética, revelando sitios de variación natural a nivel de secuencia de ADN. En organismos no modelo como el chilcuague en los que no se tiene información de sus secuencias genómicas, la detección del polimorfismo en la longitud de fragmentos amplificados (AFLP: Amplified Fragment Length Polymorphism) es una técnica que se puede utilizar para estudios de diversidad genética, debido a que permite detectar simultáneamente un gran número de polimorfismos en diferentes regiones del genoma en estudio (Vos *et al*., 1995). A pesar de que no hay reportes en chilcuague, en la familia Asteraceae se han realizado varios estudios de diversidad genética empleando marcadores de tipo AFLP, lo que refuerza el concepto de que es una metodología adecuada para estos fines (Tremetsberger, 2006; Mulatu, 2008).

Con base en estos antecedentes, se plantea este trabajo que tiene como objetivo realizar el primer análisis de la diversidad genética presente en poblaciones silvestres de chilcuague originarias de Guanajuato y Querétaro, mediante el uso de marcadores moleculares del tipo AFLP.

Materiales y Métodos

Material vegetal. Plantas silvestres de *H. longipes* con altura homogénea fueron seleccionadas al azar y colectadas durante la primavera (abril de 2017 y mayo de 2018) en tres localidades de la "Sierra Gorda", en el centro de México: Conca y San Juan Buenaventura (SJB) ubicado en el municipio de Arroyo Seco del Estado de Querétaro y Beltrán ubicado en el municipio de Xichú del Estado de Guanajuato. De estas colectas, se trasplantaron 9 plantas de Conca, 10 de San Juan Buenaventura y 10 de Beltrán en macetas de plástico de tres litros, con sustrato estéril (Sunshine® Mix #3). De estas plantas mantenidas bajo condiciones de invernadero en el INIFAP-CEBAJ, se tomó el tejido foliar que fue utilizado para el análisis de diversidad.

Extracción de ADN. Para la extracción del ADN se usaron 100 mg de tejido foliar fresco obtenidos de hojas sanas y jóvenes de las plantas colectadas. Se utilizó el protocolo descrito por Doyle y Doyle en 1990, con modificaciones reportadas por Bermúdez-Guzmán *et al*. (2016), que incluyen el uso de proteinasa K y polivinilpirrolidona (PVP) en el buffer de lisis, extracción con fenol-cloroformo y el uso de ARNasa A en la resuspensión final del DNA en buffer TE.

Evaluación de la calidad del ADN extraído. Se midió la concentración de ADN y la pureza en un espectrofotómetro (NanoDrop-8000 marca Thermo Cientific) y se complementó con una cuantificación visual por electroforesis en un gel de agarosa a 1,5%. Para comprobar que el ADN no tiene inhibidores de la técnica de PCR, después de uniformizar las concentraciones a 120 ng/µl de ADN, se amplificó utilizando las condiciones y los cebadores F: GCTCACGTTCCCTATTGGTG y R: CGTGGCCTATCGATCCTTTA para el 26S publicados por Montero-Tavera *et al*., en 2017.

Protocolo para AFLP. Los marcadores AFLP se llevaron a cabo con la metodología reportada por Vos *et al*., (1995). Las amplificaciones se realizaron con 24 combinaciones de iniciadores que contenían tres nucleótidos selectivos adicionales. El iniciador EcoRI+AGC fue marcado con el fluoróforo FAM y los iniciadores EcoRI-AAG y EcoRI-ACA fueron marcados con el fluoróforo VIC.

La detección de los marcadores AFLP's se llevó a cabo en un equipo de electroforesis capilar automatizado Genetic Analyzer ABI 3500xL (Applied Biosystems, USA). Se incluyeron en el

análisis los picos en el rango entre 50 y 500 pb. Para que un pico fuera considerado en el análisis, se eligió como umbral un valor mínimo de fluorescencia de 200. Cada pico único en el cromatograma se interpretó como un locus genético independiente, no se consideraron los loci representado por picos sobrepuestos. Se consideró a los picos polimórficos como aquellos que diferían en la presencia o ausencia de la amplificación correspondiente, en al menos dos muestras de la localidad. Los resultados se procesaron y visualizaron con el programa GeneMapper v4.1 (Applied Biosystems, USA). Finalmente, se generó la matriz de datos binarios con el programa Microsoft Excel.

Análisis de datos. Los archivos de datos binarios fueron analizados con el programa NTSYS-pc versión 2.1 (Numerical Taxonomy Multivariate Analysis System) (Rohlf, 2000), para generar una matriz de similitud basada en el coeficiente DICE (Dice, 1945), el cual considera para determinar la semejanza entre dos genotipos solo las coincidencias. A partir de la matriz de similitud, se determinaron las relaciones genéticas entre el germoplasma estudiado, utilizando un dendrograma generado por un análisis de agrupamientos aplicando el método UPGMA (Unweighted Pair Group Method Arithmetic Average).

Resultados y Discusión

La cuantificación y pureza de cada ADN nos da como resultado en promedio una concentración de 386.95 ng/µl y la pureza de las muestras varia de 1.8 a 2.14 con un promedio de Abs_{260}/Abs_{280} de 2.03, este valor nos indica que probablemente se tenga cierto grado de contaminación con ARN ya que su presencia hace aumentar el valor de la relación. En cuanto a la cantidad y calidad del ADN, el análisis electroforético de este ácido nucleico genómico, da como resultados bandas nítidas, sin “barridos”. Además, los buenos resultados del PCR de prueba, indican que los ADN, son de buena calidad en cuanto a cantidad, integridad y pureza. El número de marcadores AFLP´s amplificados en las 29 muestras de chilcuague fue de 5115, los cuales estuvieron en el rango de 50 a 421 pb. En las muestras provenientes de Conca se detectó la mayor cantidad de polimorfismos. La media general de la similitud genética obtenida entre las 29 colectas de chilcuague fue de 0.79, con un rango que varió desde 0.44 a 0.95. En las relaciones genéticas encontradas, se puede apreciar en el dendrograma (Figura 1), que a

pesar de que el promedio general de similitud entre el total de las colectas fue alto, la población se estructuró claramente en dos grupos (A y B) y un tercer grupo con cinco colectas que no se agrupan con las anteriores.

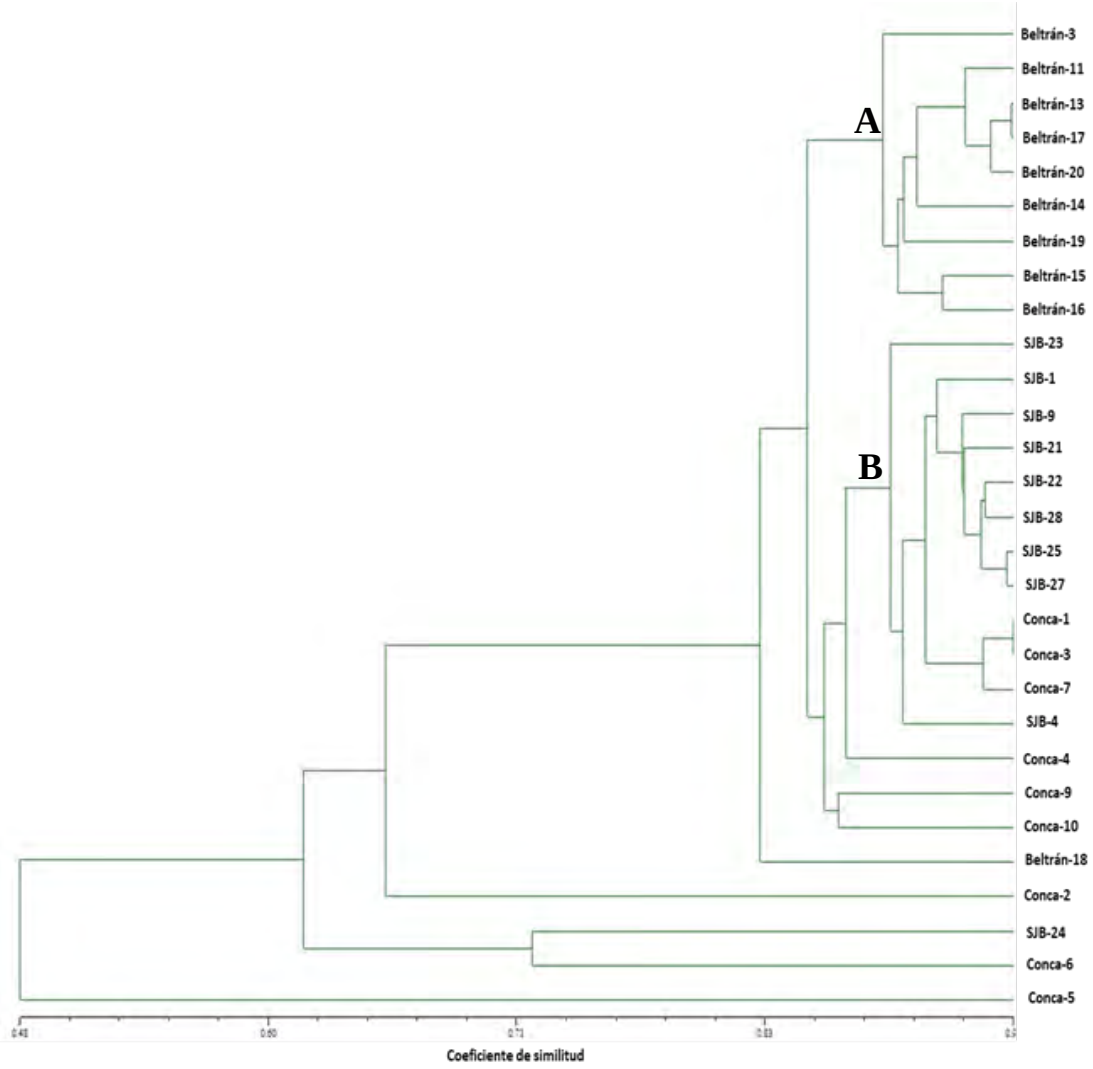


Figura 1. Dendrograma de las relaciones genéticas existentes entre veintinueve colectas de chilcuague (*Heliopsis longipes*), basado en el coeficiente DICE calculado con veinticuatro combinaciones AFLP.

El grupo A formado por las colectas de Beltrán excepto Beltrán-18 con un coeficiente promedio de similitud de 0.90; el B con una mezcla de catorce genotipos de Conca y SJB con una similitud promedio entre ellas de 0.78.y el tercer grupo también formado por colectas de Conca y SJB con una similitud de 0.63. La conformación de tres grupos en esta población de colectas

Recursos Genéticos y Mejoramiento

de chilcuague podría señalar la presencia de diferentes fuentes de diversidad en este germoplasma. Este agrupamiento, que corresponde a un patrón geográfico, al separarse las colectas de Beltrán de las de SJB-Conca, indica un alto flujo genético entre las poblaciones de SJB y Conca, lo cual era de esperarse al pertenecer al mismo municipio de Arroyo Seco en Querétaro, con una distancia entre ellos de 15 km en línea recta. En contraste existe una baja diseminación o flujo genético entre las colectas de Beltrán de Guanajuato y la de SJB-Conca de Querétaro, una de las causas puede ser el aislamiento geográfico al estar físicamente más alejadas, ya que hay 60 km de distancia en línea recta entre estas dos zonas de colecta. Otra causa de la separación de las colectas de Beltrán, puede ser porque la domesticación de la especie es mucho más marcada en Beltrán que en la zona de SJB-Conca, lo que aumentaría la presión de selección y por consecuencia la deriva genética. Esto ya había sido notado por García-Chávez *et al*., (2004), que reportan que el contenido total de alcamidas es prácticamente el doble para los ejemplares de Guanajuato comparados con los de Querétaro, concluyendo que la causa puede deberse a los diferentes niveles de domesticación y una presión de selección en este sentido; resultado que es corroborado en los estudios de Parola-Contreras *et al*. (2021), los cuales señalan que existen mayores contenidos de polifenoles, flavonoides y taninos, en las colectas originarias de Beltrán que en las de SJB y Conca, aunque ellos principalmente se lo atribuyen a condiciones ambientales.

El tener una similitud promedio de 0.79, da como resultado que la media general de la diversidad genética promedio obtenida entre las 29 colectas de chilcuague, fuera de 0.21. Si se compara este dato con la información obtenida por Mandel, *et al*., en el 2011 en girasol (*Helianthus annuus* L.), que es una de las especies de la familia Asteraceae más estudiadas usando marcadores de ADN, ellos reportan en un análisis poblacional del acervo genético primario de girasol usando marcadores del tipo EST-SSRs, en una muestra de 433 accesiones cultivadas originarias de América del Norte y Europa y en una colección de amplio rango de 24 muestras de poblaciones silvestres, encontraron que la diversidad genética entre los cultivares fue de 0,47, en comparación con 0,70 en los silvestres. Al hacer la comparación, se tendría que concluir que la diversidad genética de 0.21 encontrada en las colectas de chilcuague, es alarmantemente baja comparativamente con la del girasol. Si ampliamos esta comparación incluyendo los resultados de diversidad genética en especies de *Helianthus* consideradas en riesgo o en peligro de extinción, tenemos valores de diversidad en colectas

silvestres de *H. verticillatus* en niveles que van de 0.36 a 0.59 con una media de 0.5 (Edwards, *et al*. 2020). En el caso de *H. niveus* spp. *tephrodes* originaria de Sur de California y México considerada rara y en peligro de extinción, Mandel *et al*. (2013), informaron niveles de diversidad genética de 0,31. Siguiendo la comparación, pero ahora con la diversidad genética reportada en otras especies endémicas de México de la familia de las Asteráceas, obtenida usando marcadores moleculares de ADN y en colectas originarias del país, se tienen reportes en *Brickellia veronicifolia* de una diversidad genética general de 0.23 (Pacheco-Hernández *et al*., 2021). En *Flourensia cernua*, se encontraron niveles de diversidad genética entre 0.4 y 0.59 (Ferrer *et al*., 2004). Si se considera el rango de los valores publicados de diversidad genética de especies en riesgo o en peligro de extinción, se encuentra que independientemente del tipo de marcador de ADN usado o el tamaño de muestra analizado, el resultado obtenido de 0.21 de diversidad genética en chilcuague, esta consistentemente en los rangos bajos de valores de diversidad genética de especies en riesgo o en peligro de extinción reportadas a nivel mundial, lo cual es alarmante.

Conclusiones

Se estableció un protocolo eficiente para la extracción de ADN y AFLP en chilcuague, que pueden ser utilizados en *H. longipes* de forma confiable.

Las colectas analizadas se agrupan de acuerdo a su origen, lo cual puede ser debido al aislamiento geográfico o a diferentes niveles de domesticación.

La variación genética promedio de las colectas es de 0.21 la cual es considerada muy baja, quedando en el rango de las especies en peligro de extinción, por lo que se deben de tomar medidas urgentes de protección y conservación del chilcuague.

Agradecimientos y fuente financiadora

Se agradece a la Universidad Autónoma de Querétaro por el financiamiento a través del proyecto FOPER #0930-2019.

Literatura Citada

Bermúdez-Guzmán, M. J., S. Guzmán-González, M. Orozco-Santos, J. J. Velázquez-Monreal, M. T. Buenrostro-Nava, y C. Y. Michel-López. 2016. Optimización de un protocolo para aislamiento de DNA de hojas de *Saccharum officinarum*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(4), 897-910.

Cilia-López, V. G., R. J. R. Aguirre, A. J. A. Reyes, y F. B. I. Juárez. 2008. Etnobotánica de *Heliopsis longipes* (Asteraceae: Heliantheae). Boletín de la Sociedad Botánica de México, 83, 83–89.

Dice, L.R. 1945. Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species. Ecology 26: 297 – 302. https://doi.org/10.2307/1932409

Edwards. T. P, R. N. Trigiano, B. H. Ownley, A. S. Windham, C. R. Wyman, P. A. Wadl and D. Hadziabdic. 2020. Genetic Diversity and Conservation Status of *Helianthus verticillatus*, an Endangered Sunflower of the Southern United States. Front. Genet. 11:410. doi: 10.3389/fgene.2020.00410

Ferrer, M. M., L. E. Eguiarte and C. Montaña. 2004. Genetic structure and outcrossing rates in *Flourensia cernua* (Asteraceae) growing at different densities in the South-western Chihuahuan Desert. Annals of Botany 94: 419–426. doi:10.1093/aob/mch159

García-Chávez A, E. Ramírez-Chávez, J. Molina-Torres. 2004. El género *Heliopsis* (Heliantheae; Asteraceae) en México y las alcamidas presentes en sus raíces. Acta Botánica Mexicana 69: 115-131. DOI: https://doi.org/10.21829/abm69.2004.983

Mandel, J. R., J. M. Dechaine, L. F. Marek, J. M. Burke. 2011. Genetic diversity and population structure in cultivated sunflower and a comparison to its wild progenitor, *Helianthus annuus* L. Theoretical and Applied Genetics 123:693–704.DOI:10.1007/s00122-011-1619-3

Mandel, J., E. Milton, L. Donovan, S. Knapp, and J. Burke. 2013. Genetic diversity and population structure in the rare Algodones sunflower (*Helianthus niveus* ssp. tephrodes). Conserv. Genet. 14, 31–40. doi: 10.1007/s10592-012-0421-3

Montero-Tavera, V., M. A. Escobedo-Landín, J. A. Acosta-Gallegos, J. L. Anaya-López and J. E. Ruiz-Nieto. 2017. 26S: Novel reference gene from leaves and roots of common bean for biotic stress expression studies based on PCR. Legume Research, 40 (3): 429-433. DOI: 10.18805/lr.v0iOF.7859

Mulatu, G., T. Bryngelsson, B. Endashaw, D. Kifle. 2008. Assessment of genetic diversity of *Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass. (Asteraceae) from Ethiopia using amplified fragment length Polymorphism. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization. 6(1): 41–51.

Pacheco-Hernández, Y., N. Villa-Ruano, E. Lozoya-Gloria, C.A. Barrales-Cortés, F.E. Jiménez-Montejo, M.d.C. Cruz-López. 2021. Influence of Environmental Factors on the Genetic and Chemical Diversity of *Brickellia veronicifolia* Populations Growing in Fragmented Shrublands from Mexico. Plants 2021, 10, 325. https://doi.org/10.3390/plants10020325

Parola-Contreras, I., R. G. Guevara-González, A. A. Feregrino-Pérez, R. Reynoso-Camacho, I. F. Pérez-Ramírez, R. V. Ocampo-Velázquez, *et al*. 2021. Phenolic compounds and antioxidant activity of methanolic extracts from Leaves and flowers of chilcuague (*Heliopsis longipes*, Asteraceae). Botanical Sciences, 99 (1): 149-160. 2021. DOI: 10.17129/botsci.2671

Rzedowski, J., y de R. G. Calderón. 2008. “Familia Compositae, tribu Heliantheae (*Acmella a Jefea*)”. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, 157:1-344.

Tremetsberger, K., F. Tod, G. K. Stuessy, E. Urtubey, C. M. Baeza, S. G. Beck, *et al*. 2006. AFLP Phylogeny of South American Species of *Hypochaeris* (Asteraceae, Lactuceae). Systematic Botany. 31(3): 610–626.

Vos, P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. Van de Lee, M. Hornes, *et al.* 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Research 23(21): 44074414. doi: 10.1093/nar/23.21.4407.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CINCO CLONES DE LIMÓN PERSA INJERTADOS EN *Citrumelo swingle* DESARROLLADOS EN TLAPACOYAN, VERACRUZ

Sergio Alberto Curti-Díaz[1]*, Cynthia Guadalupe Rodríguez-Quibrera[2], Santiago Domínguez Monge[2], Carlos Hernández Guerra[3] y José Alfredo Sandoval Rincon[4]

Resumen

Con el objetivo de caracterizar cinco clones de limón persa, (Chino, Arbolito, Peruano, Doble Persa y Pera común), obtenidos de huertas comerciales de productores, se determinó su desarrollo del tronco y copa, rendimiento, eficiencia productiva y su calidad comercial de fruta, durante 2021. Los clones se establecieron en julio de 2017, en un suelo profundo, franco arenoso y de pH 7.2, a distancia de 7 m x 5 m en un diseño de bloques al azar y se usaron 18 repeticiones, considerando un árbol como unidad experimental. Los resultados más relevantes fueron: 1. El desarrollo vegetativo del clon Peruano superó por el diámetro de su tronco (12.10 cm) a Chino (10.37 cm) y Arbolito (10.58 cm) y su diámetro y volumen de copa (3.73 m y 11.44 m^{-3}) superó a los correspondiente de Chino (3.33 m y 9.39 m^{-3}) y de Doble Persa (3.36 m y 8.88 m^{-3}), 2. Los clones Arbolito (70.1 kg) y Persa común (67.1 kg) tuvieron mayor rendimiento en kilogramos de fruta por árbol que el Chino (50.6 kg); sin embargo, Persa común produce menor porcentaje de fruta de Primera (70.2%) y más de tercera (16.6%), que el resto de los clones, que superan el 82.5% de fruta de primera y tienen menos del 8.5% de fruta de tercera, 3. Los árboles del clon Arbolito produjeron mayor cantidad de frutos (716.2 frutos por árbol) que Chino (449) y Peruano (532), pero su peso fue menor (97.6 g) que los frutos de dichos clones y de los producidos por Doble Persa, que pesaron más de 104.5 g y 4. No hubo diferencia en la eficiencia productiva entre los cinco clones, estimada con base al área transversal del clon, ni volumen de copa total y efectiva. La comparación de resultados con otros estudios sugiere que el comportamiento agronómico de los clones puede variar en

[1] 1 Campo Experimental Cotaxtla- INIFAP-CIR Golfo Centro, *curti.sergio@inifap.gob.mx
[2] Campo Experimental Ixtacuaco-INIFAP-CIR Golfo Centro.
[3] Campo Experimental Ixtacuaco hasta 2015.
[4] Campo Experimental Ixtacuaco hasta 2011.

función del patrón y distancias de plantación usadas y las condiciones ambientales donde se desarrollen (suelo y disponibilidad de agua por precipitación pluvial o régimen de humedad).

Palabras clave: eficiencia productiva, calidad comercial, volumen de copa

Introducción

La producción de cítricos agrios, limas y limones, en México se ha posicionado como una de las actividades principales a nivel global, manteniendo al país entre los cincos principales productores en el periodo 2015 – 2019 (FAOSTAT, 2020). El cultivo de limón Persa ha venido creciendo constantemente desde su aparición en Veracruz, en los 1970´s, hasta convertirse en la actualidad en un centro de agronegocios muy importante en el país y es el cítrico que más se exporta. La exportación de limón Persa es una de las actividades económicas más relevantes para el sector agrícola nacional, por lo que México es un país líder en producción y exportación de este frutal; Estados Unidos de Norteamérica es el principal receptor del producto, seguido de Japón (Ruiz *et al.,* 2016). El estado de Veracruz destacó como el principal productor de limón Persa en 2020, con 787,842.83 ton producidas (53.38% de la producción nacional) y un valor de la producción de $4,920,603.18 (SIAP, 2021). El desarrollo de la agroindustria y la creación de nuevos cultivares de cítricos, dependen de los recursos genéticos existentes; mientras mayor sea la diversidad y riqueza de los materiales disponibles, mayor posibilidad de contar con cultivares con mayor potencial productivo y calidad de fruta y que se adapten a nuevas áreas agroecológicas. En México, se cultivaba un solo clon o variedad (“Persa” común), pero hace algunas décadas, aparecieron otros, aunque en poca superficie, comparada con el Persa común. Dichos clones fueron colectados en huertas comerciales de la región citrícola de Veracruz y forman parte del Banco de Germoplasma del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) del INIFAP y se llaman, por designación de los productores: “Chino”, “Doble persa”, “Arbolito” y “Peruano” los cuales no se han caracterizado morfológica, ni agronómicamente en las condiciones agroecológicas de Veracruz, ni de México. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue comparar el desarrollo del árbol, así como

su rendimiento, eficiencia productiva y calidad comercial de la fruta de estos cuatro clones, teniendo al Persa común, como clon de referencia (Testigo).

Materiales y Métodos

Los cinco clones (Arbolito, Peruano, Chino, doble Persa y Persa común), fueron injertados en el patrón *Citrumelo swingle*, y establecidos en julio del 2017 en un suelo profundo, franco arenoso y ligeramente alcalino (pH 7.2), a 7 m x 5 m de distancia. El experimento está ubicado en el CEIXTA, en el Municipio de Tlapacoyan, Veracruz, donde la temperatura media anual es de 24°C, su altitud de 137 msnm y su precipitación pluvial en 2021, fue de 1765.9 mm. Las variables de estudio fueron:

Dimensiones del árbol. a) Diámetro del tronco del portainjerto y del limón persa. Con una cinta flexible se midió la circunferencia del tronco 10 cm arriba y debajo de la unión patrón-injerto y se dividió entre Pi (3.1416), y se expresó en cm; b) Relación tronco portainjerto/tronco limón persa, se dividió el diámetro del primero entre el del segundo, c) Altura total, real e inferior de la copa. Se registró la altura total del árbol y la altura (m) donde iniciaban las primeras ramas (altura inferior) partiendo en ambos casos desde el suelo; la altura real se obtiene de restar a la altura total, la altura inferior, e) Diámetro de copa. Se obtuvo promediando el diámetro del árbol (m) registrado en dos direcciones (E-O y N-S), medidos a 1 m de altura del suelo y siguiendo la forma normal de la copa; es decir, sin considerar las ramas largas, si las hubo, que sobresalían de la misma, f) Índice de conformación de la copa (ICC). Se determinó dividiendo la altura total del árbol entre su diámetro, g) Volumen de copa total (VCT). Se usó la fórmula propuesta por Mendel (1956, citada por Stenzel *et al*., 2005): $V = 2/3\pi R^2 H$, donde V representa el volumen (m^3), π es el valor de Pi (3.1416), R es el radio de la copa (m) y H es la altura real del árbol (m); se expresó en metros cúbicos, h) Volumen de copa improductiva (VCI). Dado que la mayoría de los frutos cítricos se producen en los primeros 90 cm exteriores de la copa, donde la luz que recibe es adecuada para formar las yemas florales, mientras que la parte interna es ocupada por estructura de soporte, espacio desperdiciado para la fructificación (Shertz y Brown, 1966, citados por Phillips, 1978), se calculó el VCI usando la fórmula de Mendel, restando previamente 90 cm al radio y a la altura de la copa de la manera

siguiente: VCE = 2/3π (R-0.9 m)^2 (H-0.9 m); se expresó en metros cúbicos, i) Volumen de copa efectiva (VCE). Se obtuvo restando el Volumen de la Copa Improductiva (VCI) al Volumen de la Copa Total (VCT); se expresó en metros cúbicos.

Rendimiento. a) Número de frutos. Se contaron todos los frutos cosechados en cada árbol (Frutos por árbol), b) Kilogramos de fruta. El total de fruta cosechada por árbol se pesó en una báscula de plataforma marca Oken, con capacidad de 120 kg (Kg de fruta por árbol), c) Peso medio del fruto. Se dividió el rendimiento total del árbol (kg de fruta) entre el número total de frutos cosechados del árbol (se expresó en gramos).

Eficiencia productiva. Se determinó mediante dos índices (Wheaton *et al.,* 1978; Westwood y Roberts 1970; Curti-Díaz *et al*., 2012): a) dividiendo el número de kilogramos de fruta por árbol, entre el área transversal del tallo de la especie injertada, a 10 cm arriba de la unión patrón – injerto; se reportó en kg·cm^{-2} y b) dividiendo el número de kilogramos de fruta por árbol, entre el volumen total de la copa; se reportó en kg·m^{-3}.

Calidad comercial de la fruta. Se clasificó el total de la fruta cosechado por árbol, de manera visual, en tres categorías que se manejan regionalmente en la región de Martínez de la Torre, Ver., y, en general, en todo Veracruz, que son: a) Calidad primera. Son los frutos que se exportan, principalmente a Estados Unidos, y deben tener 70% o más de su superficie de color verde, con menos de 10% de daños, no deben estar sobre madurados y deben tener una turgencia y, preferentemente, una rugosidad, fácilmente visibles, b) Calidad segunda. Con 50% o más de su superficie de color verde, con menos de 20% de daños, y no deben estar sobre madurados y c) Calidad tercera. Generalmente frutos verdes amarillentos, o con daños mayores al 20%, y pueden estar sobre madurados (sin turgencia, lisos).

Diseño experimental y análisis de varianza. Se usó un diseño de bloques al azar, con cinco tratamientos (clones), 18 repeticiones y se usó un árbol como unidad experimental. Los datos registrados se analizaron con el programa Statistical Analysis System, versión 9.4, y para la separación de medias se usó la Prueba de Tukey, a una probabilidad de error del 5%.

Resultados y Discusión

Dimensiones del tronco. El diámetro del tronco del patrón, *Citrumelo swingle,* fue igual estadísticamente para los cinco clones en estudio. Mientras que el diámetro de los diferentes clones de limón Persa, fue mayor en el Peruano comparado con el correspondiente a diámetro del tronco de Chino y Arbolito, y fue igual al resto de ellos (Cuadro 1). No hubo diferencia en la relación obtenida de dividir el diámetro del patrón entre el diámetro de los clones de limón Persa, respectivamente injertados en el árbol (Cuadro 1).

Cuadro 1. Dimensiones del tronco de cinco clones de limón Persa injertados en *Citrumelo swingle*. Campo Experimental Ixtacuaco. 2021[z].

Clon	Diámetro del tronco (cm)				Relación DTP / DTCLP	
	Patrón		Clon de limón			
Persa común	14.72	a	11.82	ab	1.25	A
Chino	13.63	a	10.71	b	1.28	A
Peruano	14.40	a	12.10	a	1.20	A
Arbolito	13.48	a	10.58	b	1.28	A
Doble Persa	14.10	a	11.40	ab	1.24	A
Media	14.042		11.300		1.252	
DMS	1.26		1.343		0.094	
CV (%)	9.487		12.532		7.932	

[z] Medias con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; DTP: Diámetro tronco patrón; DTCLP: Diámetro tronco clon limón Persa.

Dimensiones de la copa. La altura superior de la copa del clon persa común fue estadísticamente superior a la del Doble Persa e igual al correspondiente a la del resto de clones (Cuadro 2). Mientras que el diámetro de la copa de Peruano, superó estadísticamente al diámetro de copa de Chino y Doble Persa. Aun cuando apenas tienen cuatro años de edad, se empieza a diferenciar el desarrollo de la copa, en estas dos variables y en el Índice de Conformación de Copa (ICC), el cual sería de 1, si la copa fuera redonda (altura y diámetro iguales); en este estudio, los cinco clones tienen copas son achatadas (más anchas que altas), sobre todo el Peruano, cuya ICC es menor estadísticamente que el de Persa Común, e igual al ICC del resto de los clones. El volumen de copa, total y efectiva, fue mayor en Peruano que

en Chino y Doble Persa e igual al volumen del resto de los clones (Arbolito y Persa común (Cuadro 2).

Cuadro 2. Dimensiones de la copa del árbol de cinco clones de limón Persa injertados en *Citrumelo swingle*. Campo Experimental Ixtacuaco. 2021[z].

Clon	Diámetro de la copa (m)				Índice de conformación de copa		Volumen total de copa (m^3)		Volumen Efectiva de copa (m^3)	
	Altura		Diámetro							
Persa común	2.31	a	3.42	ab	0.68	a	11.28	ab	9.97	ab
Chino	2.17	ab	3.33	b	0.66	ab	10.62	b	9.39	b
Peruano	2.17	ab	3.75	a	0.59	b	13.22	a	11.44	a
Arbolito	2.12	ab	3.45	ab	0.62	ab	10.82	ab	9.61	ab
Doble Persa	2.09	b	3.36	b	0.63	ab	9.87	b	8.88	b
Media	2.169		3.466		0.633		11.175		9.866	
DMS	0.189		0.374		0.073		2.530		1.992	
CV (%)	9.198		11.382		12.276		23.810		21.276	

[z] Medias con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una probabilidad ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

Rendimiento del árbol

Kilogramos de fruta por árbol. Se registró la producción de marzo a diciembre de 2021, cuando prácticamente se obtuvo la segunda cosecha de los árboles, con un rendimiento promedio de los cinco que fluctúa entre 50 y 70 kg por árbol, con una media de los clones en estudio de 61.3 kg (Cuadro 3), los cuales son muy aceptables, considerando que un buen rendimiento promedio de árboles en plena producción, a los ocho años de edad, es de 100 kg por árbol.

A pesar de que las producciones mensuales son aún pequeñas, hay diferencias en la capacidad productiva de los clones en estudio, por lo que la producción anual muestra que Arbolito y Persa común superan al rendimiento que se obtuvo con el clon Chino; mientras que el rendimiento del Peruano y Doble Persa, no difieren con el del resto de los clones en estudio.

Cuadro 3. Kilogramos de fruta producida en cinco clones de limón Persa injertados en *Citrumelo swingle* durante 2021 y plantados en julio de 2017. Campo Experimental Ixtacuaco 2021[z].

Clon	Rendimiento (kg por árbol) [z]																					
	Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic		Total	
Persa común	6.39	a	4.04	ab	10.1	a	10.5	a	10.61	ab	4.53	ab	4.53	a	5.53	a	5.48	a	1.42	a	67.10	a
Chino	4.24	a	3.55	b	10.1	a	6.13	b	8.40	b	2.96	b	4.58	a	4.64	a	4.73	a	1.32	a	50.62	b
Peruano	5.00	a	4.25	ab	9.29	a	9.52	ab	9.08	ab	3.23	ab	4.33	a	4.45	a	5.54	a	1.00	a	55.72	ab
Arbolito	6.82	a	6.13	a	12.5	a	9.87	ab	13.50	a	4.83	ab	4.51	a	4.67	a	5.44	a	1.76	a	70.06	a
Doble Persa	7.24	a	3.41	b	12.2	a	7.71	ab	12.22	ab	2.93	b	4.75	a	5.46	a	5.52	a	1.58	a	62.68	ab
Media	5.627		4.498		10.725		8.507		10.041		3.616		4.070		4.650		4.805		1.395		61.285	
DMS	3.219		2.342		4.786		4.069		4.984		1.824		2.329		2.514		2.147		1.108		15.563	
CV (%)	62.060		55.625		47.619		50.661		53.883		61.653		60.518		53.180		45.365		81.721		26.926	

[z] Medias con la misma letra. dentro de columnas. son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Número de frutos por árbol. El comportamiento de los cinco clones de limón Persa, con base al número de frutos producidos por árbol, obviamente es muy similar al encontrado en la variable de rendimiento con base al peso. Prácticamente son los mismos meses, con excepción de mayo, en que existen diferencias estadísticas en las dos variables (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de frutos producidos por árbol en cinco clones de limón Persa injertados en *Citrumelo swingle* durante 2021 y plantados en julio de 2017. Campo Experimental Ixtacuaco 2021[z].

Clon	Rendimiento (Número de frutos por árbol)										
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Persa común	63.1 a	41.9 b	130 a	101 a	109.02 ab	50.44 ab	49.63 a	54.81 a	56.94 a	12.63 a	669.46 ab
Chino	38.3 a	33.5 b	90.8 ab	55.2 b	84.22 b	31.67 b	48.34 a	46.28 a	47.83 a	12.50 a	488.67 c
Peruano	43.4 a	39.6 b	82.7 b	84.2 ab	92.11 ab	33.72 b	45.78 a	44.06 a	54.40 a	10.11 a	532.09 c
Arbolito	63.9 a	65.7 a	127 ab	97.1 a	137.55 a	55.77 a	47.85 a	47.85 a	55.45 a	18.15 a	716.22 a
Doble Persa	67.4 a	33.4 b	110 ab	62.2 ab	113.88 ab	30.77 b	49.71 a	54.81 a	48.71 a	14.41 a	585.29 abc
Media	51.636	44.636	101.105	76.886	98.09	39.73	43.61	46.21	48.48	13.43	599.54
DMS	32.010	22.643	45.141	38.606	52.604	20.948	24.563	24.918	22.891	11.263	155.950
CV (%)	62.695	54.220	50.261	52.874	56.256	63.542	62.374	46.351	48.434	84.487	27.582

[z] Medias con la misma letra. dentro de columnas. son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Pero, la suma total de frutos al año, fue mayor en Arbolito, pero igual al Persa común y doble Persa. La diferencia en comportamiento con respecto a la variable kilogramos de fruta se debe al peso promedio del fruto, como más adelante se informará.

Cuadro 5. Eficiencia productiva de cinco clones de limón Persa injertados en *Citrumelo swingle.* Campo Experimental Ixtacuaco. 2021[z].

Clon	Índice de eficiencia productiva (IEP)					
	ATTI (Kg·cm^2)		VTC		IEP VEC	
Persa común	0.57	a	5.48	a	6.15	a
Chino	0.73	a	7.02	a	7.63	a
Peruano	0.51	a	4.51	a	5.19	a
Arbolito	0.80	a	6.20	a	9.95	a
Doble Persa	0.65	a	6.54	a	7.23	a
Media	0.655		5.950		6.623	
DMS	0.290		2.623		2.698	
CV (%)	46.654		46.454		42.884	

[z] Medias con la misma letra. dentro de columnas. son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Índice de eficiencia productiva (IEP). Esta variable es más justa para determinar la capacidad productiva de un árbol, pues se hace con una unidad de medida que es igual para los árboles que se comparan; a diferencia que cuando se hace sólo con el peso o número de frutos por árbol; pues de esta manera, aparentemente los árboles de mayor porte serían los más eficientes. Sin embargo, en este estudio y estimando el IEP con base a los tres criterios mostrados en el Cuadro 5, no hubo diferencias entre los cinco clones de limón Persa.

Calidad de la fruta. Con base a las categorías comerciales que se manejan en la región limonera de Martínez de la Torre. Ver., se clasificó la fruta cosechada de los cinco clones en estudio; resultados que se mencionan a continuación:

Importancia relativa de las calidades de fruta. El mayor porcentaje de la fruta producida por los cinco clones fue la correspondiente a calidad conocida como “Primera” con promedio de 80.65% (Cuadro 6), mientras que la “segunda” y “tercera” fueron de 10.36% y 9%, respectivamente. Existen marcadas diferencias en las tres calidades entre los cinco clones. El porcentaje de la Primera, correspondiente a Chino, Peruano, Arbolito y Doble Persa es igual

entre ellos pero superan estadísticamente al correspondiente del Persa Común; esta característica es muy importante ya que la fruta de primera es la que se exporta principalmente a Estados Unidos. La situación para la calidad tercera es inversa a la de la calidad primera, pues el porcentaje de fruta con esta calidad es estadísticamente mayor en Persa común, que el en el resto de los clones en estudio.

Cuadro 6. Importancia relativa de la aportación de cada calidad de fruta al volumen total de producción por árbol de cinco clones de limón Persa. Campo Experimental Ixtacuaco. 2021 [z].

Clon	Importancia relativa de fruta aportada por calidad (%)					
	Primera		Segunda		Tercera	
Persa común	70.20	b	13.23	a	16.57	a
Chino	82.48	a	9.07	b	8.45	b
Peruano	83.09	a	9.09	b	7.82	b
Arbolito	82.85	a	11.24	ab	5.91	b
Doble Persa	83.40	a	9.31	b	7.3	b
Media	80.654		10.355		8.991	
DMS	7.419		3.023		6.204	
CV (%)	9.754		30.959		73.165	

[z] Medias con la misma letra. dentro de columnas. son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Kilogramos de fruta según su calidad comercial. Aunque existen diferencias estadísticas para las tres calidades entre los cinco clones (Cuadro 7), es conveniente resaltar dos aspectos: a) El rendimiento en kilogramos de fruta por árbol de calidad Primera, que es la que le interesa al productor por estar mejor cotizada en el mercado, fue mayor en Arbolito que en Chino e igual al resto de los clones y b) Persa común produjo definitivamente más fruta de calidad Tercera.

Número de frutos según su calidad comercial. El comportamiento de esta variable (Cuadro 8) fue igual al del rendimiento con base a kilogramos de fruta producida (Cuadro 9).

Cuadro 7. Kilogramos de fruta producida por árbol. según calidades de mercado. de cinco clones de limón persa injertados en *Citrumelo swingle* y plantados en julio de 2017. Campo Experimental Ixtacuaco. 2021[z].

Clon	Kilogramos de fruta por árbol por año			
	Primera	Segunda	Tercera	Total
Persa común	47.55 ab	8.91 a	10.64 a	67.10 a
Chino	41.87 b	4.41 b	4.12 b	50.62 b
Peruano	46.02 ab	5.19 b	4.52 b	55.72 ab
Arbolito	58.14 a	7.81 a	4.12 b	70.06 a
Doble Persa	52.54 ab	5.71 b	4.42 b	62.68 ab
Media	49.420	6.388	5.474	61.285
DMS	14.059	2.007	3.579	15.610
CV (%)	30.162	33.318	69.328	27.008

[z] Medias con la misma letra. dentro de columnas. son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Cuadro 8. Número de frutos producidos por árbol según calidades de mercado de cinco clones de limón Persa injertados en *Citrumelo swingle* y plantados en julio de 2017. Campo Experimental Ixtacuaco. 2021 [z]

Clon	Número de frutos por árbol por año			
	Primera	Segunda	Tercera	Total
Persa común	491.94 ab	87.38 a	90.14 a	669.46 ab
Chino	405.72 b	43.61 c	39.33 b	488.67 c
Peruano	435.53 b	51.61 c	45.06 b	532.09 bc
Arbolito	600.85 a	74.72 ab	40.65 b	716.22 a
Doble Persa	485.53 ab	56.94 bc	42.82 b	585.29 abc
Media	486.320	62.630	50.580	599.540
DMS	141.730	18.923	27.669	157.150
CV (%)	30.903	32.036	58.000	27.793

[z] Medias con la misma letra. dentro de columnas. son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Peso medio del fruto. Aun cuando el peso del fruto no es un factor determinante para definir la calidad de fruta pues todos los mercados, incluyendo al asiático, admiten tamaños de diferente calibre, si es importante indicar, que los frutos muy pequeños (“canicas”) o muy grandes**,** se desechan del mercado de fruta en fresco y se van a la industria o alcanzan precios muy bajos. En general**,** se considera que el peso del fruto de limón Persa**,** sin problemas de

comercialización anda alrededor de los 100 gramos (90-110 gramos); y aunque en este estudio se muestran los promedios del peso, con la seguridad de que hubo frutos de menor y mayor peso, es una buena referencia para conocer el comportamiento de los cinco clones que se estudia. Con base a ello, el peso promedio del fruto, para las tres calidades de fruta indicada, es similar (no analizado estadísticamente); pues en las tres, sus frutos tienen un peso ligeramente mayor a los 100 gramos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Peso promedio de fruto. según categorías de calidad de mercado regional. en cinco clones de limón persa injertados en *Citrumelo swingle*. Campo Experimental Ixtacuaco. 2021[z].

Clon	Peso promedio de fruto (gramos)			
	Primera	Segunda	Tercera	Total
Persa común	96.63 b	101.61 a	115.36 a	100.42 bc
Chino	104.34 a	100.82 a	98.19 a	104.46 ab
Peruano	106.97 a	100.53 a	96.88 a	105.72 ab
Arbolito	96.50 b	104.61 a	99.23 a	97.59 c
Doble Persa	108.92 a	100.27 a	99.57 a	107.97 a
Media	102.602	101.599	101.509	103.113
DMS	7.235	7.232	20.037	6.325
CV (%)	7.477	7.547	20.930	6.504

[z] Medias con la misma letra. dentro de columnas. son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Sin embargo, los resultados arrojan datos que ayudan a caracterizar y diferenciar el comportamiento agronómico de los clones en estudio, específicamente en la fruta de calidad Primera; en ese sentido, el Persa común (96.6 g) y Arbolito (96.5 g) son los clones que producen los frutos de menor peso comparados con Chino, Peruano y doble Persa. Esta es la explicación por la cual Arbolito tiene el mismo rendimiento en kilogramos que Peruano, por poner un ejemplo (Cuadro 3), pero lo supera estadísticamente en la variable número de frutos (Cuadro 4). No hubo diferencia en el peso de las frutas de calidades segunda y tercera.

Recursos Genéticos y Mejoramiento

Son contados los estudios similares al presente, en cuanto a la combinación patrón – injerto, la edad del árbol cuando se realizó la evaluación, condiciones del suelo, manejo de la huerta, entre otros factores, condición deseable para comparar sus resultados. Se discutió con relación al limón "Persa común" que es el clon mayormente usado en las huertas limoneras de Veracruz (más del 80%). Resulta interesante comparar con el estudio de Curti-Díaz *et al*. (2017), donde se evaluaron los mismos cinco clones, pero injertados en limón Volkameriana, de tres años de edad y desarrollados en un suelo arcilloso de pH 8.2. En éste, el Persa común/Volkameriana tuvo el mayor diámetro del patrón y del tronco del limón Persa, así como la altura y volumen de copa, que con los otros cuatro clones, en el mismo patrón; mientras que en el presente estudio, los dos diámetros del tronco de la combinación Persa común/Swingle, así como su volumen su copa, no difieren estadísticamente del resto de los tratamientos y sólo la altura de copa del Persa común supera a la del clon Doble Persa; esta diferencia sugiere que existe efecto del suelo (arcilloso contra arenoso) o, preferentemente, del patrón usado (Volkameriana contra Swingle), lo cual ayuda a caracterizar el comportamiento agronómico de los clones.

Comparado con el mismo estudio (Curti-Díaz *et al.,* 2017), el Índice de Conformación de Copa (ICC), tuvo un valor medio para los cinco clones con Volkameriana de 0.906, mientras que con Swingle fue de 0.633; es decir, la copa con Swingle fue más achatada, mientras que con Volkameriana tendió a ser erecta. Cabe comentar que, en el presente estudio las dimensiones del árbol se hicieron en diciembre de 2021, cuando la carga de fruta en el árbol era baja, por lo que no puede atribuirse su menor porte, al peso de la fruta. La diferencia se debe al efecto del patrón usado, lo que se irá confirmando con futuros estudios. Otro aspecto importante es que el ICC de Arbolito/Volkameriana fue de 1.01, que corresponde a una copa redondeada, de ahí el nombre de "arbolito", pero con Swingle el ICC fue de 0.62 (copa achatada).

Y, aunque los rendimientos no son comparables, pues los clones injertados en Volkameriana, tenían una edad de tres años, mientras que con Swingle en el presente estudio, fue de cuatro años, si cabe mencionar que en ambos estudios el clon Chino tuvo menor cantidad de frutos por árbol que Persa Común y Arbolito (189, 345 y 224, respectivamente con Volkameriana y 489, 669 y 716, en el mismo orden con Swingle).

Otros estudios comparables con el presente, son los de Machado *et al*. (2017) y Silva (2022): los primeros, evaluaron 12 patrones con limón Persa, plantados a 8 m x 5 m, en un suelo latosol, franco arenoso de Jaíba, Minas Gerais, Brasil, con temperatura media anual de 24.2°C

y 787 mm de precipitación pluvial, pero con riego por goteo; mientras que Silva (2022) evaluó 26 patrones con limón Persa, plantados a 5 m x 2 m, en un suelo latosol de textura franca de Bebedouro, Sao Paulo, Brasil, donde la temperatura media anual es de 22.9°C y la precipitación anual media de 1070 mm, en régimen de temporal. Ambos estudios incluyeron al Swingle como patrón y la evaluación se hizo a los cuatro y cinco años, respectivamente.

La altura, diámetro y volumen total de copa en el estudio de Machado *et al.* (2017) fueron de 3.34 m, 3.34 m y 28.78 m^{-3}, respectivamente; mientras que los resultados del estudio de Silva (2020) fueron de 2.36 m, 2.06 m y 5.51 m^{-3}, respectivamente. Los mismos datos para el presente estudio fueron: 2.17 m, 3.47 m y 11.18 m^{-3}, promedio de los cinco clones, respectivamente, que comparados con los obtenidos por Machado *et al.* (2017) fueron menores en altura y volumen total de copa, lo cual sugiere que el riego por goteo, promovió mayor crecimiento, sin tener una limitante en la distancia de plantación; mientras que el diámetro y volumen de copa fueron mayores que los obtenidos por Silva (2022), a pesar de que contar con cuatro años de edad, en comparación con los cinco del estudio de Silva (2022). Ello se explica debido a que en el estudio de Silva (2022) los árboles tuvieron menor humedad (1,070 mm de precipitación pluvial y régimen de temporal) y menor espacio para desarrollar la copa (5 m x 2 m) en comparación con las condiciones del presente estudio.

Todo lo anterior sugiere que el comportamiento agronómico de los clones puede variar en función del patrón, distancias de plantación usados y condiciones del ambiente (suelo y humedad disponible, principalmente).

Conclusiones

El desarrollo vegetativo del clon Peruano superó en el diámetro de su tronco a Chino y Arbolito y en diámetro y volumen de copa a Chino y Doble Persa.

Los clones Arbolito, doble Persa y Persa común tuvieron mayor rendimiento, en cuanto a kilogramos y número de frutos por árbol, que el Chino; sin embargo, Persa común produce menor porcentaje de fruta de Primera y más de tercera, que el resto de los clones.

No hubo diferencia en la eficiencia productiva entre los cinco clones, estimada con base al área transversal del clon, volumen de copa total y volumen de copa efectiva.

Los árboles del clon Arbolito produjeron mayor cantidad de frutos que Chino y Peruano, pero su peso fue menor que los frutos de dichos clones y de los producidos por Doble Persa.

Literatura Citada

Curti-Díaz, S. A., Hernández-Guerra, C., y Loredo-Salazar, R. X. 2012. Productividad del limón 'Persa' injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, *18* (3), 291-305.

Curti-Díaz, S. A., C. Hernández-Guerra, J. A. Sandoval-Rincón y R. X. Loredo-Salazar. 2017. Caracterización agronómica de cinco clones de limón Persa (*Citrus latifolia*) injertados en limón

Volkameriana (*Citrus volkameriana*). *In*: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., A. Ríos U., M. V. Vázquez H. y C. Perdomo M. (comps.). 2017. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP. CP. UV. UACH. AVC. ITBOCA. ITUG. ITSH. UPH. Medellín, Ver., México. Año 1, Núm. 1, 2622 p. pp: 2393-2400.

FAOSTAT, 2020. Crops and livestock products. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL (Consultado el 21 de Agosto de 2021).

Machado, D. L., Siqueira, D. L. D., Salomão, L. C. C., Cecon, P. R., and Silva, D. F. P. D. 2017. Evaluation of rootstocks for 'Tahiti' acid lime in northern state of Minas Gerais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *39*.

Phillips, R. L. 1978. Hedging and topping citrus in high-density plantings. *In*: *Proc. Fla. State Hort. Soc.* (Vol. 91, pp. 43-46).

Pio, R. M., O. Figueiredo J., S. Stuchi E., and A. B. Cardoso S. 2005. Variedades de Copas de Citros. *In*: Mattos Junior, D., Pio, R.M., De Negri, J. D., Pompeu Junior, J. (Ed.). Citros. Campinas: Instituto Agronômico e FUNDAG. p 929.

Ruiz, R. R.; Vela, H. G. V. y Moreno, L. R. G. 2016. Exportación de cítricos mexicanos, alternativas para el mercado de exportación. Horizontes de la Contaduría en las Ciencias Sociales (México). 3(6):77-85.

SIAP. 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ (Consultado el 21 de Agosto de 2021).

Silva, L. N. 2022. Desempenho inicial e tolerância à seca de limeira ácida 'Tahiti' BRS Ponta Firme enxertada em 26 porta-enxertos. Universidade Estadual Paulista – UNESP Câmpus de Jaboticabal.

Stenzel, N. M. C., Neves, C. S. V. J., Scholz, M. B. D. S., and Gomes, J. C. 2005. Comportamento da laranjera 'Folha Murcha' em sete porta-enxertos no noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27:408-411.

Westwood, M. N., and Roberts, A. N. 1970. The relationship between trunk cross-sectional area and weight of apple trees. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, *95*, 28-30.

Wheaton, T. A., Castle, W. S., Tucker, D. P. H., and Whitney, J. D. 1978. Higher density plantings for Florida citrus concepts. *In Proc. Fla. State Hort. Soc.* 91: 27-33.

CARACTERIZACIÓN DE LÍNEAS SOBRESALIENTES DE FRIJOL NEGRO EN DOS AMBIENTES DEL ESTADO DE VERACRUZ

José Raúl Rodríguez Rodríguez[1], Oscar Hugo Tosquy Valle[2]* y Francisco Javier Ibarra Pérez[2]

Resumen

Los diferentes cultivares de frijol tienen expresiones fenotípicas y genotípicas que permiten su identificación y las hacen diferentes del resto. El objetivo de este trabajo fue caracterizar cualitativa y cuantitativamente dos líneas promisorias de frijol negro, junto con dos variedades de referencia, para identificar caracteres que permitan diferenciarlas y facilitar su identidad, así como mantener su pureza genética. La caracterización se realizó durante el ciclo otoño-invierno de 2021-2022, en condiciones de humedad residual, en el Ejido Providencia, municipio de Medellín, en centro del estado de Veracruz y en el Campo Experimental Ixtacuaco, municipio de Tlapacoyan, en el norte de la misma entidad. Sin diseño experimental, se sembraron las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, y las variedades Negro Jamapa y Negro INIFAP, en parcelas de siete surcos de 12 m de longitud, a una densidad de 250,000 plantas ha-1. En cada genotipo se cuantificaron 23 características cualitativas y 27 cuantitativas en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, de acuerdo a las guías metodológicas de la UPOV y el SNICS. Se identificaron seis caracteres cualitativos y nueve cuantitativos, en los cuales difirieron los genotipos; en los primeros, los más notorios fueron: la presencia de un color secundario (manchas de color violeta) en las vainas de las dos líneas y la variedad Negro Jamapa, mientras que, las vainas de la variedad Negro INIFAP no presentaron un color secundario y la forma en sección transversal de la semilla, que en las dos variedades y en la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 es elíptica estrecha, mientras que, en la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 es elíptica media. En los cuantitativos sobresalieron: la pigmentación antociánica del hipocótilo en estado de plántula, que en las dos líneas y la

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Ixtacuaco. rodriguez.jose@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. tosquy.oscar@inifap.gob.mx

variedad Negro Jamapa es de intensidad media (valor de 5), en tanto que, en la variedad Negro INIFAP es de intensidad débil (valor de 3) y la longitud del ápice del foliolo terminal, que en la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 es de tamaño medio (valor de 2), mientras que, en los demás genotipos es largo (valor de 3)

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., genotipos, descripción varietal

Introducción

En el Programa de Frijol del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se realiza investigación en mejoramiento genético con el objetivo primordial de desarrollar variedades mejoradas de amplia adaptación a las áreas tropicales y subtropicales del sureste de México, resistentes o tolerantes a las principales enfermedades fungosas y virales que comúnmente se presentan en la región (Villar *et al*., 2003; Tosquy *et al*., 2012), que muestren buena respuesta en el rendimiento en condiciones adversas de sequía y acidez edáfica (López *et al*., 2011; Tosquy *et al*., 2020) y ser de grano negro opaco, de tamaño pequeño, tipo Jamapa, que es el de mayor demanda comercial en el sureste de México (FIRA, 2016).

Para el desarrollo de estas variedades, primeramente se evalúan líneas o poblaciones segregantes (generadas en el Programa Nacional de Frijol del INIFAP, o bien, provenientes de otros programas de mejoramiento de frijol de otros países como: Colombia, Puerto Rico y Estados Unidos) en viveros de observación, para determinar su adaptación, y el material seleccionado posteriormente se evalúa en ensayos preliminares y uniformes de rendimiento que se conducen en diferentes ambientes, para establecer su comportamiento agronómico, productivo y de adaptación, e identificar las mejores líneas que en el corto plazo puedan liberarse como nuevas variedades, para su uso comercial (Acosta *et al*., 2004).

Para lo anterior, se requiere que estas líneas sobresalientes sean caracterizadas, para proponer su registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) como nuevas variedades (SNICS, 2017). El objetivo de este trabajo de investigación fue caracterizar cualitativa y cuantitativamente dos

líneas promisorias de frijol negro, seleccionadas por su buen comportamiento productivo y adaptación en las áreas tropicales y subtropicales de los estados de Veracruz y Chiapas, junto con dos variedades de referencia, para identificar caracteres que permitan diferenciarlas y facilitar su identidad, así como mantener su pureza genética.

Materiales y Métodos

Durante el ciclo otoño-invierno de 2021-2022, las líneas: Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, seleccionadas de un ensayo élite de rendimiento que se condujo durante 2019 y 2020 en siete ambientes de Veracruz y Chiapas, se caracterizaron en el centro y norte del estado de Veracruz.

Un lote de caracterización se ubicó en la localidad Ejido Providencia, municipio de Medellín de Bravo, en la zona centro de Veracruz, localizado a 18° 56’ 29” de latitud norte (LN) y 96° 11’ 40” de longitud oeste (LO), a una altitud de 19 m. El clima que prevalece en la localidad es clima cálido sub-húmedo Aw_0 (w)(g), que corresponde a los subtipos menos húmedos de los cálidos subhúmedos (García, 1987), con una temperatura media anual de 25.4°C y una precipitación pluvial anual de 1,336.8 mm. El otro lote se ubicó en un terreno del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA), municipio de Tlapacoyan, en la zona norte de la misma entidad, localizado a 20° 02’ 45” LN y 97° 05’ 45” LO, a una altitud de 88 m; el clima de esta localidad es cálido húmedo Af(m) (e), con una temperatura media anual y precipitación pluvial anual de 24°C y 1,743.4 mm, respectivamente (García, 1987).

Los lotes de caracterización se establecieron los días 19 y 27 de octubre de 2021, en el Ejido Providencia y en el CEIXTA, respectivamente. Se sembraron las dos líneas promisorias, junto con las variedades Negro Jamapa y Negro INIFAP, generadas por el INIFAP para el trópico húmedo de Veracruz y Chiapas (Villar y López, 1993; Rosales *et al*., 2004), las cuales se utilizaron como testigos de referencia.

Cada genotipo se sembró en parcelas de siete surcos de 12 m de longitud, a una densidad de 250,000 plantas ha^{-1}, los cuales se desarrollaron con la humedad almacenada en el suelo y el agua de las últimas lluvias del ciclo de temporal. La fertilización, el control de malezas y de

plagas se realizaron de acuerdo con las recomendaciones para frijol que hace el INIFAP para el estado de Veracruz (López *et al*., 2017).

En el Cuadro 1 se muestran las características cualitativas y cuantitativas, así como su etapa de registro. En las mediciones cualitativas se realizó evaluación visual mediante observación de un grupo de plantas o partes de ellas, mientras que, las mediciones cuantitativas se efectuaron sobre una muestra de 20 plantas con competencia completa o partes de cada una de las 20 plantas, de acuerdo a la guía metodológica de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2012) y guía técnica para la descripción varietal de frijol del SNICS (SNICS, 2017).

Cuadro 1. Características cualitativas y cuantitativas, y su etapa de registro, de cuatro genotipos de frijol negro. Ciclo otoño-invierno de 2021 2022.

Característica	Tipo	Etapa de registro
Plántula: Pigmentación antociánica del hipocótilo	Cualitativa	V2
Plántula: intensidad de la pigmentación antociánica del hipocótilo	Cuantitativa	V2
Hoja primaria: textura	Cualitativa	V2
Época de floración (50% de las plantas con al menos una flor) (días)	Cuantitativa	R6
Planta: hábito de crecimiento	Cualitativa	R6
Planta: tipo	Cualitativa	R6
Planta: altura (cm)	Cuantitativa	R6
Inflorescencias: ubicación	Cualitativa	R6
Foliolo terminal: intensidad del color verde	Cuantitativa	R6
Foliolo terminal: intensidad de la rugosidad	Cuantitativa	R6
Foliolo terminal: tamaño (cm)	Cuantitativa	R6
Foliolo terminal: forma	Cualitativa	R6
Foliolo terminal: longitud del ápice	Cuantitativa	R6
Flor: color del estandarte	Cualitativa	R6
Flor: color del ala	Cualitativa	R6
Flor: tamaño de las brácteas	Cuantitativa	R6
Vaina: longitud (cm)	Cuantitativa	R7
Vaina: anchura (mm)	Cuantitativa	R7
Vaina: espesor (mm)	Cuantitativa	R7
Vaina: relación anchura/espesor	Cuantitativa	R7
Vaina: color base	Cualitativa	R7

Continúa Cuadro 1…

Característica	Tipo	Etapa de registro
Vaina: intensidad del color base	Cuantitativa	R7
Vaina: grado de curvatura	Cuantitativa	R7
Vaina: forma de la curvatura	Cualitativa	R7
Vaina: textura de la superficie	Cuantitativa	R7
Vaina: forma de la parte distal (excluido el ápice)	Cualitativa	R7
Vaina: longitud del ápice (mm)	Cuantitativa	R7
Vaina: orientación del ápice	Cualitativa	R7
Vaina: curvatura del ápice	Cuantitativa	R7
Vaina: forma en sección transversal (a nivel de una semilla)	Cualitativa	R7
Vaina: presencia de un color secundario	Cualitativa	R8
Vaina: color secundario	Cualitativa	R8
Vaina: densidad de las manchas del color secundario	Cuantitativa	R8
Vaina: color base	Cualitativa	R9
Vaina: intensidad del color base	Cuantitativa	R9
Tiempo a la maduración en días (cambio de color en por lo menos una vaina en el 50% de las plantas)	Cuantitativa	R9
Vaina: estrangulamiento (estado de vaina seca)	Cuantitativa	R9
Vaina: apergaminamiento (estado de vaina seca)	Cuantitativa	R9
Vaina: número de semillas	Cuantitativa	R9
Semilla: peso de 100 semillas cosechadas y secas (g)	Cuantitativa	SCS
Semilla: forma en la sección longitudinal	Cualitativa	SCS
Semilla: longitud (cm)	Cuantitativa	SCS
Semilla: anchura en sección transversal (mm)	Cuantitativa	SCS
Semilla: forma en sección transversal	Cualitativa	SCS
Semilla: tipo	Cualitativa	SCS
Semilla: número de colores	Cualitativa	SCS
Semilla: color principal	Cualitativa	SCS
Semilla: intensidad del color	Cuantitativa	SCS
Semilla: brillo de la testa	Cualitativa	SCS
Semilla: color de la corona del hilio	Cualitativa	SCS

V2 = Etapa de hojas primarias desplegadas. R6 = Etapa de floración. R7 = Etapa de formación de vainas. R8 = Etapa de llenado de vainas. R9 = Etapa de maduración. SCS = En semilla cosechada y seca.

Resultados y Discusión

Durante el proceso de caracterización se identificaron diferencias en seis características cualitativas (Cuadro 2): 1. En el tipo de planta, ya que, aunque las plantas de los cuatro genotipos son arbustivas y de crecimiento indeterminado (Singh, 1982), la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 desarrolla guías medianas, mientras que, la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 y las variedades Negro Jamapa y Negro INIFAP desarrollan guías cortas; 2. En la ubicación de la inflorescencia, que en las dos líneas sobresalientes y la variedad Negro INIFAP es predominantemente en el follaje, mientras que, en la variedad Negro Jamapa es intermedia; 3. En la forma de la parte distal de la vaina, que también en las dos líneas y la variedad Negro INIFAP, tiende a ser truncada, en tanto que, en Negro Jamapa, de aguda a truncada; 4. Presencia de un color secundario en las vainas en la etapa de llenado de éstas, ya que en las dos líneas sobresalientes y en la variedad Negro Jamapa, hay presencia de manchas de color violeta, mientras que, las vainas de la variedad Negro INIFAP no presentan un color secundario (Figura 1); 5. En el color base de la vaina en la etapa R9, que en las dos líneas y la variedad Negro Jamapa, es amarillo, mientras que, en la variedad Negro INIFAP es púrpura. Cabe indicar que el color de las vainas es una característica de alta heredabilidad, que está determinado por cada variedad (Yuste-Lisbona *et al*., 2014) y 6. En la forma en sección transversal de la semilla, que en las dos variedades de referencia y en la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 es elíptica estrecha, mientras que, en la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 es elíptica media (Figura 2).

Cuadro 2. Descripción de 23 características cualitativas de dos líneas de frijol negro y dos variedades de referencia, en dos ambientes de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

Característica	Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	Negro Jamapa	Negro INIFAP
Planta				
Pigmentación antociánica del hipocótilo	Presente	Presente	Presente	Presente
Hábito de crecimiento	Trepador	Trepador	Trepador	Trepador
Tipo	AI Tipo II (guía mediana)	AI Tipo II (guía corta)	AI Tipo II (guía corta)	AI Tipo II (guía corta)

Recursos Genéticos y Mejoramiento

Continúa Cuadro 1…

Característica	Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	Negro Jamapa	Negro INIFAP
Hoja				
Hoja primaria: textura	L a MLR	L a MLR	L a MLR	L a MLR
Foliolo terminal: forma	Rómbica	Rómbica	Rómbica	Rómbica
Inflorescencia y flor				
Ubicación de inflorescencias	En el follaje	En el follaje	Intermedia	En el follaje
Color del estandarte de la flor	Violeta	Violeta	Violeta	Violeta
Color del ala de la flor	Violeta	Violeta	Violeta	Violeta
Vaina				
Color base en R7	Verde	Verde	Verde	Verde
Forma de la curvatura	Cóncava	Cóncava	Cóncava	Cóncava
Forma de la parte distal (excluido el ápice)	Truncada	Truncada	Aguda a truncada	Truncada
Orientación del ápice	Recto	Recto	Recto	Recto
Forma en sección transversal (una semilla)	Oval	Oval	Oval	Oval
Presencia de un color secundario	Presente	Presente	Presente	Ausente
Color secundario	Violeta	Violeta	Violeta	No aplica
Color base en R9	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Púrpura
Semilla				
Forma en la sección longitudinal	Circular a elíptica	Circular a elíptica	Circular a elíptica	Circular a elíptica
Forma en sección transversal	Elíptica media	Elíptica estrecha	Elíptica estrecha	Elíptica estrecha
Tipo	Negro	Negro	Negro	Negro
Número de colores	Uno	Uno	Uno	Uno
Color principal	Negro	Negro	Negro	Negro
Brillo de la testa	Ausente o muy poco	Ausente o muy poco	Ausente o muy poco	Ausente o muy poco
Color de la corona del hilio	Del mismo color que la testa	Del mismo color que la testa	Del mismo color que la testa	Del mismo color que la testa

AI = Arbustivo indeterminado. L a MLR = Lisa a muy ligeramente rugosa.



Figura 1. Presencia de un color secundario (manchas de color violeta) en las vainas de las dos líneas sobresalientes y la variedad Negro Jamapa.



Figura 2. La forma en sección transversal de la semilla de la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 es elíptica media, mientras que, en los otros tres genotipos es elíptica estrecha.

Con respecto a las variables cuantitativas, se observaron diferencias en nueve características: dos en planta, dos en hoja, dos en flor y tres en vaina (Cuadro 3). En planta, la pigmentación antociánica del hipocótilo en estado de plántula en las dos líneas y la variedad Negro Jamapa se observó de intensidad media (valor de 5), mientras que, en la variedad Negro INIFAP de intensidad débil (valor de 3) (Figura 3). Asimismo, las plantas de esos tres genotipos alcanzaron una altura promedio de entre 43.5 y 46.2 cm, clasificada como intermedia, en tanto

que, las de la variedad Negro INIFAP se clasificaron como altas, ya que alcanzaron una altura mayor a 50 cm (UPOV, 2012; SNICS, 2017). En hoja, el color verde del foliolo terminal en las dos líneas y la variedad Negro INIFAP se observó de intensidad media (valor de 5), mientras que, en la variedad Negro Jamapa, de intensidad fuerte (valor de 7). El comportamiento en la intensidad del color verde del foliolo terminal en las variedades Negro Jamapa y Negro INIFAP ya ha sido reportado en otro estudio de caracterización de líneas de frijol negro (Ibarra *et al*., 2021). La longitud del ápice del foliolo terminal en la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 se observó de tamaño medio (valor de 2), mientras que, los demás genotipos mostraron un ápice más largo (valor de 3) (Figura 4). Esta misma línea tuvo un comportamiento muy precoz en alcanzar su floración media, la cual ocurrió en promedio a los 39 días después de la siembra, mientras que los otros tres genotipos llegaron a la floración media entre los 42 y 43 días, clasificándose como precoces (SNICS, 2017). En flor, el tamaño de las brácteas en las dos líneas sobresalientes y en la variedad Negro INIFAP tuvo un valor de 3, clasificadas como pequeñas (SNICS, 2017), mientras que, a las de la variedad Negro Jamapa se les asignó un valor de 5, clasificadas como de tamaño mediano, y en vaina, estos tres genotipos presentaron ausencia o muy débil curvatura del ápice (valor de 1), en tanto que, la variedad Negro Jamapa mostró vainas con una curvatura del ápice débil (valor de 3) (SNICS, 2017), así mismo, la intensidad del color base de la vaina en la etapa R9, que en las dos líneas y en la variedad Negro Jamapa, es débil (valor de 3), mientras que, en la variedad Negro INIFAP, se le asignó un valor de 7, que indica que es de intensidad fuerte (SNICS, 2017). El comportamiento en la intensidad del color base de las vainas en la etapa R9, en las variedades Negro Jamapa y Negro INIFAP ya ha sido documentado en otro estudio de caracterización de líneas de frijol (Ibarra *et al*., 2021). Por último, el tiempo a la madurez fisiológica (maduración) en la línea Jamapa Plus/XRAX-187-3-1-2 y en las dos variedades de referencia en promedio ocurrió entre los 76 y 78 días después de la siembra, en tanto que, la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 alcanzó su madurez en promedio a los 72 días. La mayor precocidad de esta línea les permite a las plantas de frijol escapar de la ocurrencia de periodos de sequía terminal, que comúnmente se presentan en las siembras de frijol de humedad residual del ciclo otoño-invierno en el estado de Veracruz, o bien, minimizar daños por efecto de este factor ambiental (López *et al*., 2011; Acosta y Kelly, 2012).

Cuadro 3. Valores promedio de 27 características cuantitativas de dos líneas de frijol negro y dos variedades de referencia, en dos ambientes de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

Característica	Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	Negro Jamapa	Negro INIFAP
Planta				
Intensidad de la pigmentación antociánica del hipocótilo	5 (media)	5 (media)	5 (media)	3 (débil)
Altura (cm)	45.97 (media)	46.17 (media)	43.52 (media)	52.60 (alta)
Hoja				
Foliolo terminal: intensidad del color verde	5 (media)	5 (media)	7 (fuerte)	5 (media)
Foliolo terminal: intensidad de la rugosidad	5 (media)	5 (media)	5 (media)	5 (media)
Foliolo terminal: tamaño (cm)	10.96 (grande)	10.25 (grande)	10.87 (grande)	12.05 (grande)
Foliolo terminal: longitud del ápice	3 (largo)	2 (medio)	3 (largo)	3 (largo)
Inflorescencia y flor				
Época de floración media (días)	42 (precoz)	39 (muy precoz)	42 (precoz)	43 (precoz)
Flor: tamaño de las brácteas	3 (pequeño)	3 (pequeño)	5 (mediano)	3 (pequeño)
Vaina				
Longitud (cm)	9.53 (media)	9.33 (media)	9.55 (media)	9.47 (media)
Anchura (mm)	8.44 (media)	8.90 (media)	8.28 (media)	8.70 (media)
Espesor (mm)	5.15 (muy fino)	5.39 (muy fino)	4.94 (muy fino)	4.96 (muy fino)
Relación anchura/espesor	1.63 (grande)	1.66 (grande)	1.68 (grande)	1.75 (grande)
Intensidad del color base en R7	5 (media)	5 (media)	5 (media)	5 (media)
Grado de curvatura	3 (débil)	3 (débil)	3 (débil)	3 (débil)
Textura de la superficie	3 (lisa o ligeramente rugosa)	3 (lisa o ligeramente rugosa)	3 (lisa o ligeramente rugosa)	3 (lisa o ligeramente rugosa)
Longitud del ápice (mm)	9.45 (media)	7.55 (media)	9.60 (media)	9.90 (media)
Curvatura del ápice	1 (ausente o muy débil)	1 (ausente o muy débil)	3 (débil)	1 (ausente o muy débil)
Densidad de las manchas del color secundario	3 (escasas)	3 (escasas)	3 (escasas)	No aplica
Intensidad del color base en R9	3 (débil)	3 (débil)	3 (débil)	7 (fuerte)
Tiempo a la maduración (d)	76	72	77	78
Estrangulamiento (estado de vaina seca)	1 (ausente o muy débil)	1 (ausente o muy débil)	1 (ausente o muy débil)	1 (ausente o muy débil)
Apergaminamiento (en estado seco)	1 (ausente o muy débil)	1 (ausente o muy débil)	1 (ausente o muy débil)	1 (ausente o muy débil)
Número de semillas (por vaina)	5.90 (medias)	5.90 (medias)	6.15 (medias)	5.83(medias)

Continúa Cuadro 1…

Característica	Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	Negro Jamapa	Negro INIFAP
Semilla				
Peso de 100 semillas (g)	19.28 (ligero)	19.6 (ligero)	20.35 (ligero)	19.18 (ligero)
Longitud (cm)	0.92 (corta)	0.94 (corta)	0.95 (corta)	0.95 (corta)
Anchura en secc. transversal (mm)	5.52 (ancha)	5.90 (ancha)	5.39 (ancha)	5.54 (ancha)
Intensidad del color	7 (fuerte)	7 (fuerte)	7 (fuerte)	7 (fuerte)



Figura 3. Pigmentación antociánica del hipocótilo de intensidad media en las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 (izquierda) y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 (derecha) y de intensidad débil en la variedad Negro INIFAP (centro).

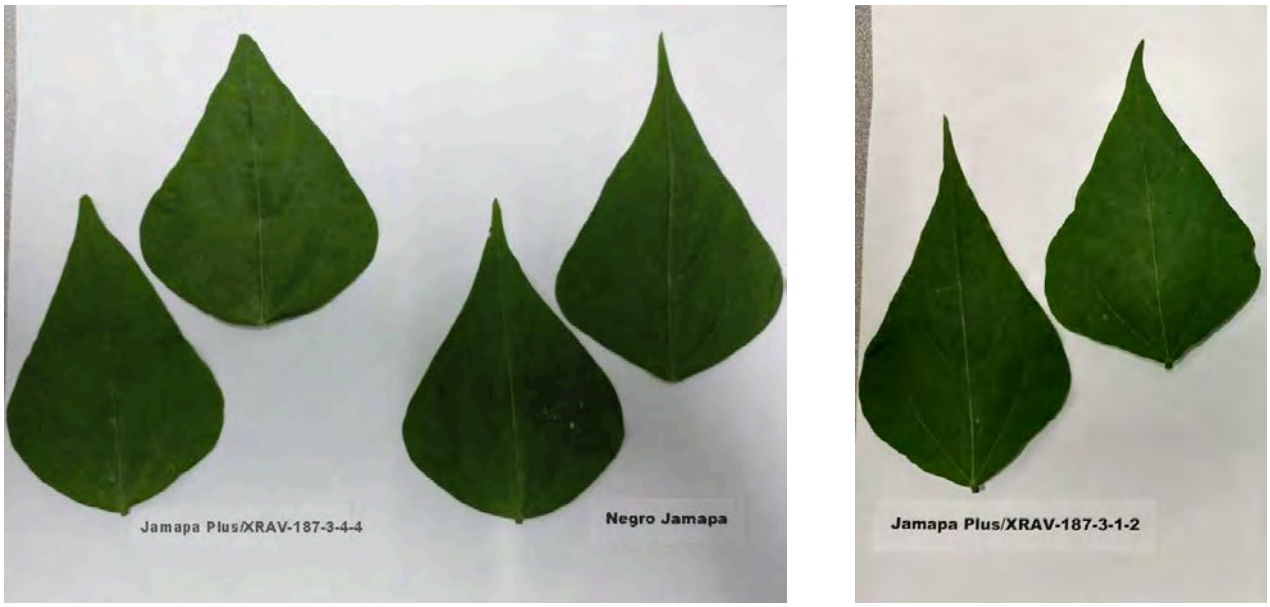


Figura 4. La longitud del ápice del foliolo terminal de la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 es de tamaño medio, y la de la línea Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2 y la variedad Negro Jamapa, es largo.

Conclusiones

1. Se identificaron seis caracteres cualitativos y nueve cuantitativos, en los cuales difirieron los genotipos; los más notorios fueron: en los primeros, la presencia de un color secundario en las vainas durante la etapa de llenado de estas y la forma en sección transversal de la semilla, y en los segundos, la pigmentación antociánica del hipocótilo en estado de plántula y la longitud del ápice del foliolo terminal. 2. La diferenciación de caracteres facilitará la identidad varietal de las líneas y variedades de frijol negro caracterizadas.

Literatura Citada

Acosta, G. J. A. and J. D. Kelly. 2012. Strategies to improve adaptation of common bean to drought. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 55:7-8.

Acosta, G. J. A., H. González R., C. A. Torres E., I. Cuellar R., E. Acosta D., E. López S., R. A. Salinas P., F. J. Ibarra P. y R. Rosales S. 2004. Impacto de la genotecnia en el cultivo de frijol en México. p. 36-57. *In*: Preciado, O. R. E. y A. A. Ríos R. (eds.). Simposium Aportaciones de la Genotecnia a la Agricultura. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Toluca, Estado de México, México.

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Frijol 2016. FIRA. México. 36 p.

García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.

Ibarra, P. F. J., O. H. Tosquy V., J. R. Rodríguez R., J. L. Anaya L. y J. A. Acosta G. 2021. Caracterización agronómica y validación de la variedad de frijol Rubí en Veracruz y Chiapas, México. p. 85-98. *In*: Zetina, L. R., O. H. Tosquy V., A. L. del Ángel P., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., V. A. Esqueda E. y C. Perdomo M. (comps.). Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades. 1a ed. en formato electrónico (internet). INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Paso del Toro, Medellín, Ver., México.

López, S. E., O. H. Tosquy V., J. A. Acosta G., B. Villar S. and F. J. Ugalde A. 2011. Drought resistance of tropical dry black bean lines and cultivars. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 14(2):749-755.

López, S. E., O. H. Tosquy V. y J. J. Ibarra P. 2017. Frijol. p. 33-36. *In*: Zetina, L. R. y S. Uribe G. (comps.). Agenda Técnica Agrícola Veracruz. SAGARPA. INIFAP. COFUPRO. México, D. F.

Rosales, S. R., J. A. Acosta G., J. S. Muruaga M., J. M. Hernández C., G. Esquivel E. y P. Pérez H. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico No. 6. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo Edo. de Méx., México. 148 p.

Singh, S. P. 1982. A key for identification of different growth habits of *Phaseolus vulgaris* L. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 25:92-95.

SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2017. Guía técnica para la descripción varietal. Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). 2a ed. SAGARPA. SNICS. Coyoacán, Cd. de Méx., México. 36 p.

Tosquy, V. O. H., E. López S., V. A. Esqueda E., J. A. Acosta G., F. J. Ugalde A. y B. Villar S. 2012. Rendimiento y reacción a enfermedades de genotipos de frijol en condiciones de temporal y humedad residual. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 3(4):727-737.

Tosquy, V. O. H., R. Zetina L., E. López S., F. J. Ibarra P., B. Villar S. y J. R. Rodríguez R. 2020. Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz. Terra Latinoamericana 38(1):91-102.

UPOV (Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales). 2012. Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad, para judía común, Alubia (*Phaseolus vulgaris*). Documento TG/12/9 Rev. Ginebra, Suiza. 46 p.

Villar, S. B., E. López S. y J. A. Acosta G. 2003. Selección de genotipos de frijol por rendimiento y resistencia al mosaico dorado y suelos ácidos. Rev. Fitotec. Mex. 26(3):109-114.

Villar, S. B. y E. López S. 1993. Negro INIFAP, nueva variedad de frijol para Chiapas y regiones similares. Rev. Fitotec. Mex. 16(2):208-209.

Yuste-Lisbona, F. J., A. M. González, C. Capel, M. García-Alcázar, J. Capel, A. M. Ron *et al.* 2014. Genetic variation underlying pod size and color traits of common beans depend on quantitative traits loci with epistatic effects. Mol. Breeding. 33(4):939-952.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS TRILINEALES DE MAÍZ DE GRANO BLANCO EN EL ESTADO VERACUZ

Clara Ríos Isidro[1], Mauro Sierra Macías[1*] Noel Gómez Montiel[2], Pablo Andrés Meza[3], Marcos Vázquez Hernández[1] y Francisco Javier Ugalde Acosta[1]

Resumen

El maíz, es de gran importancia socioeconómica en el estado de Veracruz, por la superficie de cultivo, y por ser un producto básico en la alimentación de la sociedad, principalmente de las familias rurales. Sin embargo, las siembras comerciales se conducen con genotipos criollos de bajo rendimiento y con características agronómicas indeseables, entre ellas la susceptibilidad al acame provocado por los vientos. El Programa de maíz del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, ha generado híbridos y variedades sintéticas con mayor potencial de rendimiento de grano. El objetivo del presente trabajo fue conocer el comportamiento productivo y agronómico de 12 híbridos experimentales de maíz, con la finalidad de identificar los sobresalientes, que en un futuro puedan liberarse para uso comercial. Los híbridos se evaluaron en diseño experimental de bloques al azar, con 12 tratamientos y cuatro repeticiones, en parcelas de dos surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm. Se cuantificaron las variables: días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, aspecto y sanidad de planta y mazorca, % de mazorcas con mala cobertura, de mazorcas podridas y rendimiento de grano. Se realizaron análisis de varianza, y para la separación de promedios se aplicó la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad. De los genotipos evaluados sobresalen T35 X T10 X LT154, CML500 X CML498 X LT155, T35 X T10 X LT-156, LT-169 X LT-170 X LT-156, CML 264 X CML 311 X LT-156, LT-164 X LT-165 X LT-156, con rendimientos superiores a las 6.7 t ha^{-1}, y con características agronómicas muy buenas, buen aspecto en sanidad de planta y mazorca, buena cobertura de mazorca, baja altura de planta y de mazorca, y características favorables para disminuir el riesgo de acame en las siembras comerciales.

[1] Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. *Autor para correspondencia: sierra.mauro@inifap.gob.mx
[2] Campo Experimental Iguala. CIRPAS. INIFAP.
[3] Universidad Veracruzana.

Palabras clave: *Zea mays* L., híbridos, trópico, adaptación

Introducción

Durante 2018, fueron sembrados en México, 7.95 millones de hectáreas de maíz, de las cuales 7.345 fueron para la producción de grano con una media de rendimiento de 3.748 t ha^{-1}, y unza producción de 26.67 millones de toneladas, de las cuales 12.6 millones son utilizadas en diferentes formas en la alimentación humana, (SIAP, 2018). En el área tropical húmeda de México, se siembran 3.2 millones de hectáreas con maíz, de las cuales 1.0 millón se encuentran en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 100 mil hectáreas se siembran en condiciones de riego (Sierra *et al*., 2019). Para esta superficie, se recomiendan por ser la mejor opción, la siembra de maíces híbridos, los cuales expresan su máximo potencial genético, logrado por el efecto heterótico de cruzar progenitores endogámicos diferentes genéticamente (Ramírez *et al.,* 2019; Velasco *et al.,* 2019; Ledesma *et al.,* 2015; Ramírez *et al.,* 2013; Reyes, 1985).

En el estado de Veracruz, el maíz es un cultivo de gran importancia, por la superficie que se siembra, particularmente, durante 2018 se sembraron 570,418 hectáreas (SIAP, 2018), la mano de obra que se utiliza, el beneficio económico que genera y por ser un producto básico en la alimentación de la sociedad en general y principalmente de las comunidades rurales, en las cuales se basa su alimentación en el consumo de este preciado grano, como principal aporte de energía (Palafox *et al*., 2010).

En el programa de maíz del Campo Cotaxtla, INIFAP, han sido generados híbridos y variedades de maíz, los cuales expresan buen rendimiento y características agronómicas favorables a través de la región tropical en el sureste de México, mismos que han sido adoptados por los agricultores maiceros (Sierra *et al.,* 2019).

En los híbridos trilineales se capitalizan las ventajas que genera la heterosis en la producción comercial de maíz; adicionalmente representan ventajas agronómicas y económicas en la producción de semilla certificada en virtud de que el progenitor hembra es una cruza simple de alto rendimiento y con vigor completo y como progenitor macho una línea cuyas características principales son su buen comportamiento *per se*, buena aptitud combinatoria

general y buena producción de polen, como es el caso de los híbridos H-520, H-567 y H-568 cuya nomenclatura es (LT154xLT155)LT156, (LT164xLT165)LT166 y (T47xT48)T49, para cada híbrido respectivamente (Tadeo *et al*., 2018; Tadeo *et al.,* 2016; Gómez *et al.,* 2017; Sierra *et al*., 2018; Sierra *et al*., 2016; Sánchez *et al.,* 2016; Velez *et al.,* 2018).

Los híbridos trilineales representan una opción atractiva que concilia la producción de semilla con el mejoramiento genético, ya que en la producción comercial de estos genotipos se aprovechan las ventajas en productividad que se logran con la heterosis, misma que aprovecha el tipo de acción génica desviación de aditividad (López *et al.,* 2021; Ramírez *et al.,* 2019; Reyes 1985). Al mismo tiempo se ofrecen facilidades para controlar la calidad genética en la producción de semilla, al usar como progenitor macho a una línea, que puede revisarse con cierta facilidad y depurarse cuando se requiere, lo que favorece la producción de semilla; además los híbridos trilineales permiten alta rentabilidad para las empresas que incrementan semilla ya que la cruza simple que participa como hembra es de buena productividad (Tadeo *et al.,* 2021; Ramírez *et al.,* 2019; Sierra *et al.*, 2018; Gómez *et al.,* 2017; Sierra *et al.*, 2016; Virgen *et al.,* 2016; Tadeo *et al.,* 2016; Tadeo *et al.,* 2014; Virgen *et al.,* 2014; Sierra *et al.*, 2014). Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron conocer el rendimiento y las características agronómicas de híbridos trilineales de maíz en el estado de Veracruz.

Materiales y Métodos

Localización

La evaluación se llevó a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla, del INIFAP, ubicado ubicado en el km 34.5 en la carretera federal Veracruz-Córdoba, del municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Se localiza a los 18° 56’ LN y 96° 11’ LO, con altitud de 15 msnm. El clima, de acuerdo a la clasificación de köppen modificada por García (2004), con área de influencia en el Trópico Húmedo de México, pertenece al grupo climático A (Aw, Am y Af), cálido húmedo y subhúmedo con temperatura media de 25°C, y precipitación anual de 1337 mm, distribuidos de junio a noviembre (Díaz *et al.,* 2006). El suelo es de origen aluvial, profundo, con textura media a través de todo el perfil, pendiente menor de 1%, buen drenaje y pH ligeramente ácido (6.6).

Germoplasma utilizado

El germoplasma de maíz utilizado pertenece a la raza Tuxpeño. Se incluyeron 12 híbridos experimentales de maíz en cuyas combinaciones participan líneas endogámicas sobresalientes de los programas de maíz de los Campos experimentales de Cotaxtla, Ver., e Iguala, Gro., del INIFAP, líneas del CIMMYT, y un testigo comercial, el H-520.

Descripción de los experimentos

Se evaluaron 12 híbridos trilineales experimentales de maíz, en el ciclo P-V, 2021 mismos que se distribuyeron bajo un diseño bloques completos al azar con 12 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo. La siembra de los genotipos se realizó el 09 de agosto, en surcos separados a 80 cm, y densidad de 62,500 plantas/ha^{-1}. Se controló maleza con Atrazina en forma preemergente. Se fertilizó con la fórmula 161-46-00, usando Urea como fuente Nitrogenada y se controlaron plagas del follaje (Palafox *et al*., 2010).

V**ariables y registro de datos**

Durante el desarrollo del cultivo se midieron las siguientes variables: Días a floración masculina y femenina: se midió a partir de la siembra y hasta cuando el 50% de las plantas se encontraron en estado de antesis y con estigmas receptivos para cada variable respectivamente. Altura de planta y de mazorca: se realizó en 10 plantas tomadas al azar en cada parcela antes de la cosecha, midiendo en centímetros desde la base del tallo, hasta la inserción de la última hoja bandera y al nudo donde se inserta la mazorca principal respectivamente. Aspecto de planta: se registró en la etapa de llenado de grano, de manera visual usando una escala del 1 al 5, en donde 1 correspondió a plantas que representaron aspectos sobresalientes de vigor, sanidad, uniformidad, posición de la mazorca en la planta, etc. y 5 correspondió a la parcela con las plantas muy variables en altura de planta y mazorca, muy enfermas y en general con muy mal aspecto. Aspecto de mazorca: se tomó al momento de la cosecha, utilizando una escala del 1 al 5, donde 1 representó parcelas con mazorcas uniformes en tipo, color, llenado de grano y que presentaron buena sanidad y 5 correspondió a las parcelas con mazorcas irregulares en tipo, color, tamaño y con mazorcas podridas. Sanidad de planta, la cual se midió de manera visual, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 significa que las plantas se encontraban completamente sanas y 5 para las plantas muy enfermas. Sanidad de mazorca, utilizando también la escala de 1 a 5, donde 1 significa que las mazorcas se encontraban completamente sanas y 5 para las mazorcas muy enfermas. Rendimiento de grano: se calculó a partir del peso

del grano cosechado, materia seca, % de grano de cada parcela el cual se ajustó con el factor superficie en kilogramos por hectárea al 14% de humedad.

Métodos estadísticos

Se utilizó un diseño de bloques al azar, con 12 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de dos surcos, de 5m de largo separados a 80 cm en densidad de 62,500 pl ha^{-1}. Se realizó un análisis de varianza para las variables (Reyes, 1990), empleando el paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 2.5 (Olivares, 1994). Para la separación de promedios se aplicó la prueba basada en Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad de error y TUKEY, $p \leq 0.05$.

Se realizó un ajuste por número de plantas mediante el uso de la fórmula de IOWA de acuerdo con (Reyes, 1990).

La fórmula es la siguiente:

Peso de campo corregido= (Peso al cosechar x $H-0.3M)/H-M$

Donde,

Peso al cosechar= peso de campo sin corregir fallas.

H= número de plantas que debería tener la unidad experimental si no hubiera M fallas.

M= número de plantas perdidas (fallas).

0.3= coeficiente para corregir la falta de competencia en las plantas existentes al tiempo de la cosecha.

Resultados y Discusión

Para rendimiento de grano se encontró significancia estadística para tratamientos, con un Coeficiente de Variación de 11.48% (Cuadro 1), valor relativamente bajo que sugiere que el manejo del experimento y los resultados obtenidos son confiables considerando que experimento fue desarrollado bajo condiciones de temporal (Reyes, 1990).

Recursos Genéticos y Mejoramiento

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia detectada en los análisis de varianza realizados para Rendimiento de grano en el experimento de híbridos trilineales de maíz blanco. Cotaxtla 2021B.

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada	P>F
Tratamientos	11	47.23	4.29	7.198	0.000
Bloques	3	4.02	1.34	2.248	0.100
Error	33	19.68	0.596		
CV (%)	11.48				

Rendimiento de grano

El Cuadro 2 muestra el rendimiento de híbridos experimentales de maíz durante el ciclo primavera verano 2021.

Cuadro 2. Rendimiento de híbridos trilineales de maíz blanco, Campo Experimental Cotaxtla, Medellín Ver., Ciclo primavera verano de 2021.

Trat.	Geneologia	RG (T/Ha)	% Relativo
11	(T35xT10)xLT154	8.46 A	130
10	(CML500xCML498)xLT155	8.06AB	124
3	(T35xT10)xLT-156	7.98AB	123
2	(LT-169xLT-170)xLT-156	6.97ABC	107
5	(CML264xCML311)xLT-156	6.94ABC	107
4	(LT-164xLT-165)xLT-156	6.79ABC	104
9	H-520	6.50 BC	100
6	(CML500xCML498)xLT-166	6.44 BC	99
1	(LT-169xLT-170)xLT-155	6.24 BC	96
12	(LT164xLT165)xX LT154	5.80 C	89
8	(LT164xLT165)xLT166	5.29 C	81
7	(LT-169xLT-170)xLT-166	5.29 C	81
	PROMEDIO	6.73	
	C.V %	11.48	
	CME	0.596	

Se encontró un grupo de seis híbridos con rendimientos a las 6.7 t ha^{-1}, y fueron significativamente superiores de un 4 a 30% en relación con el testigo comercial H-520. En

Recursos Genéticos y Mejoramiento

estos híbridos se puede observar que, en los híbridos sobresalientes, participan como progenitores, líneas endogámicas de los programas de mejoramiento de maíz del Campo Cotaxtla, Veracruz e Iguala, Guerrero, INIFAP, líneas del programa de maíz del CIMMYT. Estos maíces híbridos, expresan su máximo potencial genético, logrado por el efecto heterótico de cruzar progenitores endogámicos diferentes genéticamente (Ramírez *et al.,* 2019; Velasco *et al.,* 2019; Ledesma *et al.,* 2015; Ramírez *et al.,* 2013; Reyes, 1985); En estos híbridos se capitalizan las ventajas que genera la heterosis en la producción comercial de maíz, adicionalmente representan ventajas agronómicas y económicas en la producción de semilla certificada en virtud de que el progenitor hembra es una cruza simple de alto rendimiento y con vigor completo y como progenitor macho una línea cuyas características principales son su buen comportamiento *per se*, buena aptitud combinatoria general y con buena producción de polen como es el caso de los híbridos H-520, H-567 y H-568 cuya nomenclatura es (LT154xLT155)LT156, (LT164xLT165)LT166 y (T47xT48)T49, para cada híbrido respectivamente (Tadeo *et al*., 2018; Tadeo *et al.,* 2016; Tadeo *et al.,* 2014; Gómez *et al.,* 2017; Sierra *et al*., 2018; Sierra *et al*., 2016; Sierra *et al.*, 2014; Sánchez *et al.,* 2016; Vélez *et al.,* 2018; Tadeo *et al.,* 2021; Ramírez *et al.,* 2019; Virgen *et al.,* 2016; Virgen *et al.,* 2014).

Características agronómicas

Por lo que se refiere a las características agronómicas los híbridos experimentales (Cuadro 3), son de ciclo intermedio con 56 a 58 días a la floración de planta y mazorca baja, con buena cobertura de mazorca y con buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, lo anterior, sugiere buena adaptación a las condiciones de clima suelo y manejo por parte de los agricultores sobre todo en las áreas de buena y muy buena productividad y bajo condiciones de riego en el sureste mexicano, Así también, se observan coeficientes de variación relativamente bajos lo que sugiere confiabilidad de los resultados obtenidos (Reyes, 1990).

Cuadro 3. Características agronómicas de híbridos trilineales de maíz Cotaxtla 2021B.

Trat	Geneologia	FM (d)	FF (d)	ASP (1-5)	SP (1-5)	% Aca	AP (cm)	AM (cm)	% Cob	% Pod	ASM (1-5)	SM (1-5)
11	(T35xT10)xLT154	55	55	2.1	2.0	3.5	201	92	3.39	1.44	1.5	1.6
10	(CML500xCML498)xLT155	56	56	2.0	2.0	7.7	207	98	11.18	4.22	2.1	2.5
3	(T35xT10)xLT-156	54	54	2.0	2.0	12.9	217	102	4.94	1.49	1.8	1.9
2	(LT169xLT170)xLT156	57	57	2.1	2.0	4.4	205	95	5.83	1.08	1.6	1.9

Continúa Cuadro 3…

Trat	Geneologia	FM (d)	FF (d)	ASP (1-5)	SP (1-5)	% Aca	AP (cm)	AM (cm)	% Cob	% Pod	ASM (1-5)	SM (1-5)
5	(CML264xCML311)xLT156	55	55	2.0	2.1	26.9	215	96	1.11	3.41	1.8	2.0
4	(LT164xLT165)xLT156	56	56	2.4	2.0	5.9	191	82	10.94	1.71	2.1	2.1
9	H-520	54	54	2.3	2.0	3.0	203	89	10.85	3.53	1.9	1.9
6	(CML500xCML498)xLT166	57	57	2.3	2.0	1.6	207	95	8.67	5.74	2.3	2.4
1	(LT169xLT170)xLT155	56	56	2.1	2.1	5.9	205	92	3.61	1.80	1.6	2.0
12	(LT164xLT165)xX LT154	56	56	2.6	2.1	1.0	182	83	0.47	1.98	2.5	2.3
8	(LT164xLT165)xLT166	55	55	2.4	2.0	4.4	185	84	6.91	1.38	2.1	2.0
7	(LT169xLT170)xLT166	57	57	2.4	2.0	7.6	200	85	6.03	5.29	2.3	2.4
	PROMEDIO	56	56	2.2	2.0	7.1	201	91	6.16	2.76	2.0	2.1
	C.V %	1.57	1.57	10.27	6.34	48.21	5.17	9.72	40.48	31.07	16.03	11.13
	CME	0.758	0.758	0.051	0.016	1.374	109.4	78.53	0.97	0.32	0.098	0.053

FM = Días a floración masculina; FF = Días a floración femenina; AP = Altura de planta; AM =Altura de Mazorca; ASP = Aspecto de planta; ASM = Aspecto de mazorca; SP = Sanidad de planta; SM = Sanidad de mazorca; % Aca = Porcentaje de plantas acamadas; % Cob=Porcentaje de mazorcas con Mala Cobertura; % Pod= Porciento de mazorcas podridas

Conclusiones

Se encontraron híbridos trilineales experimentales con rendimiento superior al testigo comercial H-520. En los híbridos sobresalientes, participan líneas endogámicas de los programas de mejoramiento de Cotaxtla, Veracruz, Iguala, Gro., INIFAP y del CIMMYT. Por su rendimiento y características agronómicas fueron sobresalientes los híbridos experimentales (T35xT10)xLT154; (T35xT10)xLT-156; (CML264xCML311)xLT-156.

Literatura Citada

Díaz, P. G., J. A. Ruiz C., M. A. Cano G., V. Serrano A. y G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 13. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 292 p.

Espinosa, C. A., N. Gómez M., M. Sierra M., E., Betanzos M. y F. Caballero H. 2006. Variedades e híbridos de maíz de calidad proteínica en México. Revista Ciencia 57(3):28-34.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México D.F. México 293 p.

Gómez M., N., M.A. Cantú A., M.G. Vázquez C., C.A. Hernández G., A. Espinosa C., M, Sierra M. *et al*., 2017. Híbrido de maíz H-568. Nueva Opción para áreas de alta productividad del trópico bajo de México. REMEXCA. 8 (5): 1213-1218.

Ledesma M. A., J.L. Ramírez D., V.A. Vidal M., A. Peña R., J.A. Ruíz C., Y. Salinas M. *et al.,* 2015. Respuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México. II. Evaluación de mestizos y cruzas. Revista Fitot. Mex. 38 (2): 133-143.

López L., C., M. Tadeo R., J.J. García Z., A. Espinosa C. y A. Mejía C. 2021. Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. REMEXCA. 12 (4): 699-711.

Olivares S., E. 1994. Paquete Estadístico de Diseños Experimentales, v. 2.5. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.

Palafox, C. A., M. Sierra M., F. A. Rodríguez M. y F. J. Ugalde A. 2010. Tecnología de producción para maíz de grano y elote para el trópico húmedo de México. Folleto para productores Núm. 14. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, Ver., México. 14 p.

Ramírez D., J.L. V. Vidal M., A. Ledesma M., M. Chuela B., A. Peña R., A. Ruíz C. *et al.,* 2013. Propuesta pata integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México. I. Método y Formación de poblaciones. Revista Fitot. Mex. 36 (3): 189-199.

Ramírez D., J.L., V. Vidal M., I. Alemán T., A. Ledesma M., N. Gómez M., Y. Salinas M. *et al.,* 2019. Selección de líneas y cruzas de maíz combinando las puebas de mestizos y cruzas dialélicas. Revista Fitot. Mex. 42 (4): 335-346.

Reyes, C. P. 1990. Diseños de experimentos aplicados. Agronomía, biología, química, industrias, ciencias sociales y ciencias de la salud. Trillas. México, D. F. 348 p.

Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor S.A. México D.F., México. 460 p.

Sánchez R., F.J., M. Mendoza C. y M. Mendoza M.C. 2016. Estabilidad fenotípica de cruzas simples e híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). Revista Fitot. Mex. 39 (3): 269-275.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Secretaria de agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Anuario Estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php [consultado en agosto de 2019].

Sierra, M. M., F.A. Rodríguez M., N. Gómez M., A. Espinosa, C., F.J. Ugalde A. y P. Andrés M. 2019. Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. En: Avances en Investigación agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TECNM, Medellín, Ver. p. 482-499.

Sierra M., M., F.A. Rodríguez M., A. Espinosa C., P. Andrés M. 2018. Adaptabilidad de híbridos trilineales de maíz en el área tropical de los estados de Veracruz y Tabasco, México. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. 4 (11): 15-19.

Sierra, M. M., Rodríguez M. F. A., Palafox C. A., Espinosa C. A., P. Andrés M., N. Gómez M. y R. Valdivia B. 2016. Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520 en el trópico de México. Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo. 13 (1): 19-32

Sierra, M. M., F.A. Rodríguez, M., A. Palafox C., N. Gómez M. y A Espinosa C. 2014. Impacto del H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Revista Biológico y Agropecuario Tuxpan. 2 (1): 277-282.

Tadeo R., M., A. Espinosa C., J. Zaragoza E., C. López L., E.I. Canales I., B. Zamudio G. *et al.,* 2021. Tlaoli Puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. Revista Fitot. Mex. 44 (2): 265-267.

Tadeo R., M., A. Espinosa C., J.J. García Z., R. Lobato O., N. Gómez M., M. Sierra M., R. Valdivia B., A. Turrent F. y B. Zamudio G. 2018. Productivity of three maize hybrids under different proportions of male sterile and fertile seeds. Interciencia. 43 (12): 852-857.

Tadeo R., M., A. Espinosa C., J.J. García Z., R. Lobato O., N. Gómez M., M. Sierra M. *et al.,* 2016. Tsiri Puma, híbrido de maíz para Valles altos de México, con esquema de androesterilidad para producción de semillas. Revista Fitot. Mex. 39 (3): 331-333.

Velasco G., A.M., J.J. García Z., J. Sahagún C., R. Lobato O., C. Sánchez A. e I.M. Marín M. 2019. Rendimiento, componentes del rendimiento y heterósis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. Revista Fitot. Mex. 42 (4): 367-374.

Velez T., M., J.J. García Z., R. Lobato O., I. Benitez R., J.J. López R., J.A. Mejía C. y G. Esquivel E. 2018. Estabilidad del rendimiento de cruzas dialélicas entre líneas de maíz de alta y baja aptitud combinatoria general. Rev. Fitotec. Mex. 41 (2): 167-175.

Virgen V., J., R. Zepeda B., M.A. Avila P., A. Espinosa C., J.L., Arellano V., A. J. Gámez V. 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en Valles altos de México. Agronomía mesoamericana. 27 (1): 191-206.

DIVERGENCIA GENÉTICA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) SOBRESALIENTES PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

Mauro Sierra Macías[1*], Clara Ríos Isidro[1], Elizabeth Fernández Carmona[2], Noel Orlando Gómez Montiel[3], Mauro Néstor López Muro[4], Jose Luis Macías García[4] y Victor Santiago Santiago[4]

Resumen

El objetivo del trabajo fue conocer el rendimiento y características agronómicas de híbridos trilineales de maíz para el trópico mexicano, durante el ciclo P-V 2021. Se evaluaron 27 híbridos trilineales experimentales, en cuyas combinaciones participan líneas endogámicas sobresalientes de los programas de maíz de los CE de Cotaxtla, Ver., e Iguala, Gro., del INIFAP, y líneas del CIMMYT, incluyendo los testigos comerciales H-562, H-565 y H-520. Se consideró un diseño de bloques completos al azar, con 30 tratamientos y tres repeticiones, en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm y densidad de 62,500 plantas/ha^{-1}. Las variables registradas fueron: días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, calificación de aspecto y sanidad de planta y mazorca, número total de plantas, % de plantas acamadas y mazorcas con mala cobertura. En la cosecha se registró: rendimiento de grano, número total de mazorcas, % de mazorcas podridas y % de materia seca en el grano. El test estadístico DMS (0.05), mostró un grupo de 13 híbridos trilineales sobresalientes, con rendimientos superiores a las 7.0 t ha^{-1}, que superaron significativamente de 5 a 12% al testigo comercial H-520, entre ellos: (LT155xT48)xCLWN247, (LT156xCML549)xT49, (CML311xT48)xCLWN247, (CML549xT49)xCLWN247, (CML549XLT154)XT48, LT156x LT154)xCLWN247 y (CLWN247xLT154)xT49. Este grupo, son progenitores y líneas endogámicas obtenidas en los programas de maíz de los CE Cotaxtla, e Iguala, Gro., del INIFAP, y líneas provenientes del CIMMYT. Destaca la presencia de las líneas LT156, LT154, CLWN247, CML549 y T49 formando híbridos sobresalientes, lo que sugiere que son líneas

[1] Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP. Km 34 Carr. Veracruz Córdoba Mpio. de Medellín de Bravo, Ver., *Autor para correspondencia: sierra.mauro@inifap.gob.mx; mauro_s55@hotmail.com
[2] Tesista Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala.
[3] Campo Experimental Iguala, INIFAP.
[4] Instituto Tecnológco del Altiplano de Tlaxcala.

con buena aptitud combinatoria general. Son híbridos de ciclo intermedio (55 a 58 días a floración), baja altura de planta y buen aspecto de mazorca, sanidad de planta y mazorca. Lo anterior, sugiere la importancia de la colaboración y el aprovechamiento del germoplasma sobresaliente en programas de mejoramiento genético de maíz.

Palabras clave: heterósis, híbridos, trópico, *Zea mays* L.

Introducción

En México se sembraron durante 2020, 7.47 millones de hectáreas con maíz con un rendimiento medio de 3.83 t ha^{-1}. En el trópico húmedo de México durante este mismo año se sembraron 2.66 millones de hectáreas con maíz, de las cuales 1.0 millón se encuentran en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 100 mil hectáreas se siembran en condiciones de riego (SIAP, 2018). Para esta última superficie, se recomienda como la mejor opción, la siembra de maíces híbridos, los cuales expresan su máximo potencial genético, logrado por el efecto heterótico de cruzar progenitores endogámicos diferentes genéticamente (Ramírez *et al.,* 2019; Velasco *et al.,* 2019; Ledesma *et al.,* 2015; Ramírez *et al.,* 2013; Reyes, 1985;). En estas áreas ecológicas favorables, es importante conocer los genotipos que mejor producen en estas condiciones para poder predecir el comportamiento que tendrían al cultivarse en diferentes ambientes definidos por clima, suelo y manejo agronómico (Sierra *et al.,* 2018; Andrés *et al.,* 2017; Sierra *et al.,* 2016; Sánchez *et al.,* 2016). Los híbridos trilineales representan una opción atractiva que concilia la producción de semilla con el mejoramiento genético, ya que en la producción comercial de estos genotipos se aprovechan las ventajas en productividad que se logra con la heterosis, pues aprovecha el tipo de acción génica desviación de aditividad (López *et al.,* 2021; Sierra *et al.*, 2004; Ramírez *et al.,* 2019; Reyes 1985;). Al mismo tiempo ofrecen facilidades para controlar la calidad genética en la producción de semilla, al usar como progenitor macho a una línea que puede revisarse con cierta facilidad y depurarse cuando se requiere lo que favorece la producción de semilla. Además, los híbridos trilineales permiten alta rentabilidad para las empresas que incrementan semilla ya que la cruza simple que participa como hembra es de buena productividad (Tadeo

et al., 2021; Ramírez *et al.,* 2019; Sierra *et al.*, 2018; Gómez *et al.,* 2017; Sierra *et al.*, 2016; Sierra *et al.*, 2014; Virgen *et al.,* 2016; Tadeo *et al.,* 2016; Tadeo *et al.,* 2014; Virgen *et al.,* 2014; Sierra *et al.,* 2019; Sierra *et al.*, 2014; Sierra *et al.,* 2011; Espinosa *et al.,* 2012; Cervantes *et al.,* 2016). Los objetivos del presente trabajo fueron conocer el comportamiento agronómico de híbridos trilineales de maíz por su rendimiento, adaptación y características agronómicas.

Materiales y Métodos

Localización

La evaluación de los híbridos experimentales de maíz, se llevó a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al INIFAP, ubicado en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, localizado a los 18° 56' Latitud Norte y 96° 11' Longitud Oeste y una altitud de 15 msnm; el clima de acuerdo a la clasificación de köppen modificada por García (2004), con área de influencia en el Trópico Húmedo de México, engloba, el grupo climático A (Aw, Am y Af), cálido húmedo y subhúmedo con temperatura media de 25°C y precipitación anual de 1400 mm, distribuidos de junio a noviembre. El suelo es de origen aluvial, profundo, con textura media a través de todo el perfil, pendiente menor de 1%, buen drenaje y pH ligeramente ácido (6.6).

Germoplasma utilizado

El germoplasma de maíz utilizado pertenece a la raza Tuxpeño, y se incluyeron 27 híbridos experimentales de maíz en cuyas combinaciones participan líneas endogámicas sobresalientes de los programas de maíz de los CE Cotaxtla, Ver., e Iguala, Gro., pertenecientes al INIFAP, y líneas provenientes del CIMMYT; Así también, se incluyeron los testigos comerciales H-562, H-565 y H-520.

Descripción de los experimentos

Durante el ciclo primavera verano 2021 se evaluaron 27 híbridos trilineales experimentales de maíz, que se distribuyeron bajo un diseño bloques completos al azar con 30 tratamientos y tres repeticiones, en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm, en una densidad de 62,500 pl ha^{-1}. Para el control de malezas se aplicó Atrazina en forma preemergente. Se

fertilizó con la fórmula 161-46-00, usando urea como fuente nitrogenada. Se controlaron plagas del follaje durante el desarrollo del cultivo.

V**ariables y registro de datos**

Las principales variables registradas en experimento fueron días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, calificación de aspecto y sanidad de planta y de mazorca, número de plantas total, % de plantas acamadas, % de mazorcas con mala cobertura; a la cosecha se registraron las variables de rendimiento de grano, número de mazorcas total, % de mazorcas podridas y % de materia seca en el grano.

Métodos estadísticos.

El diseño utilizado fue bloques al azar con 30 tratamientos y tres repeticiones, en parcelas de dos surcos de 5m de largo, separados a 80 cm en densidad de 62,500 pl ha^{-1}. Se realizó un análisis de varianza (Reyes, 1990). Para la separación de medias se utilizó el test Diferencia Mínima Significativa al 0.05 y 0.01 de probabilidad (Reyes, 1990). Se realizó un ajuste por número de plantas mediante el uso de la fórmula de IOWA de acuerdo con (Reyes, 1990), La fórmula es la siguiente:

Peso de campo corregido= (Peso al cosechar x $H-0.3M)/H-M$,

Donde,

Peso al cosechar= peso de campo sin corregir fallas.

H= número de plantas que debería tener la unidad experimental si no hubiera N fallas.

M= número de plantas perdidas (fallas).

0.3= coeficiente para corregir la falta de competencia en las plantas existentes al tiempo de la cosecha.

Resultados y Discusión

La prueba de F ($p< .05$) determino diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y una vez dada la existencia de significancia, se procede a comparar promedios de acuerdo con la prueba de Duncan conforme a las características del experimento. La prueba de significancia más el criterio agronómico definen el o los tratamientos que se deben recomendar a los productores.

Rendimiento de grano

Del análisis de varianza para rendimiento de grano (Cuadro 1), se encontró significancia estadística al 0.05 de probabilidad para tratamientos, con un coeficiente de variación de 15.78%, valor relativamente bajo, que sugiere que los resultados obtenidos y el manejo de los experimentos es confiable (Reyes, 1990). La no significancia en el factor Bloques, sugiere que el bloqueo se realizó de manera correcta y no afecto la veracidad de la información. La varianza mayor fue debida al factor tratamientos con un valor de 2.0493* lo que sugiere que los híbridos en estudio son significativamente diferentes e importantes en cuanto al rendimiento (Reyes, 1990).

Cuadro 1. Análisis de varianza para rendimiento de grano en Híbridos trilineales de maíz. Cotaxtla 2021B.

Fuente de Variación	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
Tratamientos	29	59.43	2.05*
Bloques	2	2.35	1.18
Error	58	61.75	1.06
Total	89	123.53	
C.V. (%)	15.78		

De acuerdo con la prueba estadística de la DMS al 0.05 de probabilidad de error, Cuadro 2, se encontró un grupo de 13 híbridos trilineales experimentales de maíz sobresalientes, con rendimientos superiores a las 7.0 t ha^{-1}, mismos que superaron significativamente de 5 a 12% al testigo comercial H-520; Entre ellos los híbridos (LT155xT48)xCLWN247, (LT156xCML549)xT49, (CML311xT48)xCLWN247, CML549xT49)xCLWN247, CML549x LT154)xT48, (LT156xLT154) xCLWN247, (CLWN247xLT154)xT49; (T48XT49)XCLWN247; (T47XLT156)XLT154.

Recursos Genéticos y Mejoramiento

Cuadro 2. Rendimiento de híbridos trilineales de maíz Cotaxtla 2021B.

Trat	Genealogía	Rend gr t ha^{-1}	% Rel
19	(LT155XT48)XCLWN247	7.46*	112
6	(LT156XCML549)XT49	7.42*	111
20	(CML311XT48)XCLWN247	7.39*	111
14	(CML549XT49)XCLWN247	7.34*	110
25	(CML549XLT154)XT48	7.32*	110
17	(LT156XLT154)XCLWN247	7.30*	109
1	(CLWN247XLT154)XT49	7.29*	109
18	(T48XT49)XCLWN247	7.22*	108
11	(T47XLT156)XLT154	7.18*	108
22	(T47XLT156)XCLWN247	7.18*	108
21	(T47XCML549)XCLWN247	7.12*	107
10	(T48XCLWN247)XLT154	7.03*	105
3	(CML550XCLWN247)XT49	7.01*	105
5	(CML549XLT154)XT49	6.75**	101
8	(CLWN247XT48)XT49	6.71	101
30	H-520	6.67	100
2	(LT156XLT154)XT49	6.64	100
29	H-562	6.54	98
28	H-565	6.39	96
13	(CLW247XCML549)XLT154	6.29	94
15	(CML549XLT154)XCLWN247	6.27	94
26	(CML549XT49)XT48	6.20	93
24	(CML550XCLWN247)XT48	6.13	92
23	(CML311XCLWN247)XT48	6.00	90
4	(CML311XCLWN247)XT49	5.94	89
27	(T47XLT154)XT48	5.69	85
12	(CML549XT49)XLT154	5.17	77
16	(T47XLT154)XCLWN247	5.13	77
9	(T47XT49)XLT154	5.06	76
7	(B49XB47)XT49	4.30	64
	PROMEDIO	6.54	
	CME	1.065	
	CV (%)	15.78	
	DMS0.05	0.53	
	DMS0.01	0.71	

Estos híbridos, expresan su máximo potencial genético, logrado por el efecto heterótico de cruzar progenitores endogámicos diferentes genéticamente (Ramírez *et al.,* 2019; Velasco *et al.,* 2019; Ledesma *et al.,* 2015; Ramírez *et al.,* 2013; Reyes, 1985;). Particularmente, en este grupo de híbridos sobresalientes participan como progenitores, líneas endogámicas obtenidas en los programas de maíz del Campo Cotaxtla, Ver., e Iguala, Gro., del INIFAP y líneas provenientes del CIMMYT; Cabe destacar la presencia de las líneas LT156, LT154, CLWN247, CML549 y T49 formando híbridos sobresalientes, lo que sugiere que son líneas con buena aptitud combinatoria general. Los híbridos trilineales son una opción atractiva que concilia producción de semilla y mejoramiento genético, ya que en la producción comercial de estos híbridos se aprovechan las ventajas en productividad que se logran con la heterosis, misma que aprovecha el tipo de acción génica desviación de aditividad (López *et al.,* 2021; Sierra *et al.*, 2004; Ramírez *et al.,* 2019; Reyes 1985;). Al mismo ofrecen facilidades para controlar la calidad genética en la producción de semilla, al usar como progenitor macho a una línea que puede revisarse con cierta facilidad y depurarse cuando se requiere lo que favorece la producción de semilla, además los híbridos trilineales permiten alta rentabilidad para las empresas que incrementan semilla ya que la cruza simple que participa como hembra es de buena productividad (Tadeo *et al.,* 2021; Ramírez *et al.,* 2019; Sierra *et al.*, 2018; Gómez *et al.,* 2017; Sierra *et al.*, 2016; Sierra *et al.*, 2014; Virgen *et al.,* 2016; Tadeo *et al.,* 2016; Tadeo *et al.,* 2014; Virgen *et al.,* 2014; Sierra *et al.,* 2019; Sierra *et al.*, 2014; Sierra *et al.,* 2011; Espinosa *et al.,* 2012; Cervantes *et al.,* 2016).

Características agronómicas

El Cuadro 3, muestra los Cuadrados medios y significancia para las características agronómicas de híbridos de maíz, en el cual se observa significancia estadística al 0.05 de probabilidad en las variables: Altura de planta y de mazorca, Aspecto de planta y mazorca y sanidad de mazorca. Así también se observan Coeficientes de Variación de 2 a 15%, relativamente bajos, valores que sugieren que el manejo del experimento y los resultados obtenidos son confiables (Reyes, 1990).

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia para características agronómicas de híbridos de maíz. Cotaxtla 2021B.

Fuente de Variación	Grados Libertad	FM	FF	Alt pl	Alt Mz	Asp Pl 1/	Asp Mz1/	San Pl1/	San Mz1/
Tratamientos	29	2.178	2.192	449.786*	326.797*	0.166*	0.3085*	0.0536	0.305*
Bloques	2	17.678*	18.43*	19.21	142.81	0.21	0.71	0.019	0.1
Error	58	1.39	1.387	113.94	65.13	0.0588	0.113	0.03669	0.1287
C.V. %		2.09	2.05	6.08	10.6	11.42	15.26	9.65	15.71

1/=Escala de calificación de 1 a 5 donde 1 es lo mejor y 5 lo peor; *=Significancia para las fuentes de variación al 0.05 de probabilidad; FM=Días a floración masculina; FF= Días a floración femenina; Alt Pl=Altura de planta; Alt Mz= Altura de mazorca; Asp Pl=Aspecto planta; Asp Mz=Aspecto de mazorca; San Pl=Sanidad de planta; San Mz=Sanidad de mazorca.

Por lo que se refiere a las características agronómicas los híbridos experimentales (Cuadro 4), estos son de ciclo intermedio con 56 a 58 días a la floración, de planta y mazorca baja con valores medios de 175 y 76 cm para altura de planta y mazorca, respectivamente y con buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca. Lo anterior, sugiere buena adaptación a las condiciones de clima suelo y manejo por parte de los agricultores sobre todo en las áreas de buena y muy buena productividad y bajo condiciones de riego en el sureste mexicano, Así también, se observan coeficientes de variación relativamente bajos lo que sugiere que el manejo del experimento y los resultados obtenidos son confiables (Reyes, 1990). Estos resultados indican la importancia de los trabajos de colaboración y el aprovechamiento del germoplasma sobresaliente de los diferentes programas de mejoramiento genético de maíz.

Cuadro 4. Características agronómicas de híbridos trilineales de maíz Cotaxtla 2021B.

Trat	Genealogía	FM	FF	Alt Pl	Alt Mz	Asp Pl	Asp Mz	San Pl	San Mz
19	(LT155XT48)XCLWN247	56	57	180	87	2.17	2.17	2	2.33
6	(LT156XCML549)XT49	56	57	180	64	2.5	2.33	2	2.5
20	(CML311XT48)XCLWN247	56	57	180	84	2.17	2.17	2	2.33
14	(CML549XT49)XCLWN247	58	59	189	84	2	1.5	1.5	1.83
25	(CML549XLT154)XT48	57	58	175	67	1.83	2.33	2	2.33
17	(LT156XLT154)XCLWN247	55	56	178	74	1.83	2.33	2	2.33
1	(CLWN247XLT154)XT49	56	57	178	73	2	2	2	2.17
18	(T48XT49)XCLWN247	58	59	179	84	2.17	2.17	1.83	2.5
11	(T47XLT156)XLT154	57	58	195	84	2	1.83	1.83	2

Continúa Cuadro 4…

Trat	Genealogía	FM	FF	Alt Pl	Alt Mz	Asp Pl	Asp Mz	San Pl	San Mz
22	(T47XLT156)XCLWN247	57	58	182	85	2	2.17	1.83	2
21	(T47XCML549)XCLWN247	57	58	205	98	1.83	1.83	2	1.83
10	(T48XCLWN247)XLT154	56	57	183	85	1.83	1.83	1.83	1.83
3	(CML550XCLWN247)XT49	55	56	165	73	2	2	2	2.17
5	(CML549XLT154)XT49	57	58	166	65	2.33	2.5	2	2.67
8	(CLWN247XT48)XT49	55	56	178	77	2.33	2.33	2	2.5
30	H-520	54	55	190	81	1.67	1.83	1.83	2
2	(LT156XLT154)XT49	56	57	194	96	2	1.83	1.83	2
29	H-562	56	57	159	71	2.33	2.5	2.17	2.33
28	H-565	57	58	171	76	2	2.5	2	2.33
13	(CLW247XCML549)XLT154	57	58	158	66	2.17	2.17	2	2.17
15	(CML549XLT154)XCLWN247	57	58	182	83	2	1.67	1.67	1.67
26	(CML549XT49)XT48	57	58	164	65	2.17	2.5	2.17	2.83
24	(CML550XCLWN247)XT48	55	56	168	72	2.33	2.33	2	2.33
23	(CML311XCLWN247)XT48	56	57	165	74	2.17	2.17	2	2.5
4	(CML311XCLWN247)XT49	56	57	166	70	2.33	2.5	2	2.33
27	(T47XLT154)XT48	56	57	161	66	2.17	2.83	2	2.83
12	(CML549XT49)XLT154	57	58	158	57	2.17	2.17	1.83	2.33
16	(T47XLT154)XCLWN247	56	57	187	91	2	2.5	2	2
9	(T47XT49)XLT154	57	58	169	66	2.33	2.33	2	2.5
7	(B49XB47)XT49	57	58	160	63	2.83	2.83	2	3
	PROMEDIO	56.38	57.37	175.49	76.08	2.12	2.21	1.94	2.28
	CME	1.39	1.39	113.94	65.13	0.059	0.113	0.037	0.129
	CV (%)	2.09	2.05	6.08	10.61	11.43	15.27	9.85	15.71

Conclusiones

Se encontró un grupo de 13 híbridos trilineales experimentales de maíz sobresalientes, con rendimientos superiores a las 7.0 t ha^{-1}, mismos que superaron significativamente de 5 a 12% al testigo comercial H-520.En los híbridos sobresalientes, participan líneas endogámicas de los programas de mejoramiento de Cotaxtla, Veracruz, Iguala, Gro., INIFAP y del CIMMYT. Por su rendimiento y características agronómicas fueron sobresalientes los híbridos

experimentales (LT155xT48) x CLWN247, (LT156xCML549)xT49, (CML311xT48)xCLWN247, CML549xT49)xCLWN247, CML549xLT154)xT48, (LT156xLT154) xCLWN247, (CLWN247xLT154)xT49.

Literatura Citada

Andrés M., P., G. Vásquez C., M. Sierra M., A. Mejía C., J.D. Molina G., A. Espinosa C. *et al.,* 2017. Genotype environment interaction on productivity and protein quality of synthetic tropical maize (*Zea mays* L.) varieties. Interciencia. 42 (9): 578-585.

Cervantes O., F., J. Hernandez E., J.A. Rangel L., E. Andrio E., M. Mendoza E., G. Rodríguez P. *et al.,* 2016. Aptitud combinatoria general y especifica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. Revista Fitot. Mex. 39 (3): 259-268.

Espinosa C., A., M. Tadeo R., J. Virgen V., I. Rojas M., N. Gómez M., M. Sierra M. *et al.,* 2012. H-51AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos Centrales de México. Revista Fitot. Mex. 35 (4): 347-349.

García., M.E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México DF México 246p.

Gómez M., N., M.A. Cantú A., M.G. Vázquez C., C.A. Hernández G., A. Espinosa C., M Sierra M. *et al*., 2017. Híbrido de maíz H-568. Nueva Opción para áreas de alta productividad del trópico bajo de México. REMEXCA. 8 (5): 1213-1218.

Ledesma M. A., J.L. Ramírez D., V.A. Vidal M., A. Peña R., J.A. Ruíz C., Y. Salinas M. *et al.,* 2015. Respuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México. II. Evaluación de mestizos y cruzas. Revista Fitot. Mex. 38 (2): 133-143.

López L., C., M. Tadeo R., J.J. García Z., A. Espinosa C. y A. Mejía C. 2021. Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. REMEXCA. 12 (4): 699-711.

Ramírez D., J.L., V. Vidal M., A. Ledesma M., M. Chuela B., A. Peña R., A. Ruíz C. *et al.,* 2013. Propuesta pata integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de transición de México. I. Método y Formación de poblaciones. Revista Fitot. Mex. 36 (3): 189-199.

Ramírez D., J.L., V. Vidal M., I. Alemán T., A. Ledesma M., N. Gómez M., Y. Salinas M. *et al.,* 2019. Selección de líneas y cruzas de maíz combinando las pruebas de mestizos y cruzas dialélicas. Revista Fitot. Mex. 42 (4): 335-346.

Reyes, C., P. 1990. Diseños de experimentos aplicados. Agronomía, biología, química, industrias, ciencias sociales y ciencias de la salud. Trillas. México, D. F. 348 p.

Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor S.A. México D.F., México. 460 p.

Sánchez R., F.J., M. Mendoza C. y M. Mendoza M.C. 2016. Estabilidad fenotípica de cruzas simples e híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). Revista Fitot. Mex. 39 (3): 269-275.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Secretaria de agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Anuario Estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php [consultado en agosto de 2019].

Sierra, M. M., F. Márquez S., R. Valdivia B., H. Córdova O., R. Lezama G., A. Pescador R. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Agric. Téc. Méx. 30 (2): 169-181.

Sierra M., M., A. Palafox C., F.A. Rodríguez M., A. Espinosa C., G. Vásquez C., N. Gómez M. *et al.,* 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. REMEXCA 2(1): 71-84.

Sierra, M. M., F.A. Rodríguez, M., A. Palafox C., N. Gómez M. y A Espinosa C. 2014. Impacto del H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Revista Biológico y Agropecuario Tuxpan. 2 (1): 277-282.

Sierra, M. M., Rodríguez M. F. A., Palafox C. A., Espinosa C. A., P. Andrés M., N. Gómez M. y R. Valdivia B. 2016. Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520 en el trópico de México. Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo. 13 (1): 19-32.

Sierra M., M., F.A. Rodríguez M., A. Espinosa C., P. Andrés M. 2018. Adaptabilidad de híbridos trilineales de maíz en el área tropical de los estados de Veracruz y Tabasco, México. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. 4 (11): 15-19.

Sierra, M. M., F.A. Rodríguez M., N. Gómez M., A. Espinosa, C., F.J. Ugalde A. y P. Andrés M. 2019. Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. En: Avances en Investigación agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TECNM, Medellín, Ver. p. 482-499.

Tadeo R., M., A. Espinosa C., J. Zaragoza E., C. López L., E.I. Canales I., B. Zamudio G. *et al.,* 2021. Tlaoli Puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. Revista Fitot. Mex. 44 (2): 265-267.

Tadeo R., M., A. Espinosa C., J.J. García Z., R. Lobato O., N. Gómez M., M. Sierra M. *et al.,* 2016. Tsiri Puma, híbrido de maíz para Valles altos de México, con esquema de androesterilidad para producción de semillas. Revista Fitot. Mex. 39 (3): 331-333.

Tadeo R., M. A. Espinosa C., A. Turrent F., B. Zamudio G., R. Valdivia B., P. Andrés M. 2014. Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androesteril y fértil. Agronomía mesoamericana. 25 (1): 45-52.

Velasco G., A.M., J.J. García Z., J. Sahagún C., R. Lobato O., C. Sánchez A. e I.M. Marín M. 2019. Rendimiento, componentes del rendimiento y heterósis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. Revista Fitot. Mex. 42 (4): 367-374.

Virgen V., J., R. Zepeda B., M.A. Avila P., A. Espinosa C., J.L., Arellano V., A. J. Gámez V. 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en Valles altos de México. Agronomía mesoamericana. 27 (1): 191-206.

Virgen V., J., R. Zepeda B., M.A. Avila P., A. Espinosa C., J.L. Arellano V., A.J. Gámez V. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras maíz: Densidad de población e interacción. Agronomía mesoamericana. 25 (2): 323-335.

EVALUACIÓN DE HERBICIDAS PARA EL CONTROL DE MALEZA EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) EN EL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO

Wilson Ildefonso Avilés Baeza[1*], Juan Jasso Argumedo[1], Rubén Guerrero Medina[1] y Mónica Guadalupe Lozano Contreras[1]

Resumen

La maleza es uno de los problemas fitosanitarios comunes en las zonas productoras de chile habanero en el estado de Yucatán. Con el objeto de conocer el efecto de la aplicación de diferentes herbicidas, tanto en el control de la maleza, como en sus características fitotóxicas y sobre el desarrollo del cultivo, se evaluaron 16 tratamientos (15 herbicidas y un testigo enhierbado) en el municipio de Muna, Yucatán en los meses de septiembre y octubre de 2021. Se registraron las variables: cobertura de la maleza, fitotoxicidad, crecimiento del cultivo y costos de los tratamientos. Los resultados indicaron que todos los herbicidas evaluados generaron un efecto de control significativo en la maleza, destacando los herbicidas pendimetalina, glufosinato de amonio, trifluralina y clortal dimetil. Únicamente el herbicida clomazone registró un efecto fitotóxico sobre el chile habanero a los 14 días después de la aplicación, pero en general el crecimiento del cultivo no se vio afectado con ninguno de los tratamientos. El costo más bajo se registró en los tratamientos con base en glifosato y paraquat.

Palabras clave: etapa de desarrollo, costos, eficiencia

[1] Campo Experimental Mocochá. CIRSE. INIFAP *aviles.wilson@inifap.gob.mx

Introducción

En el estado de Yucatán, México se cultivan actualmente alrededor de 230 hectáreas anuales de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) (SIAP, 2021), las cuales representan una inversión de 57 a 60 millones de pesos; generan aproximadamente 700 fuentes de trabajo fijas y de 50 a 55 mil jornales para el mantenimiento del cultivo, en un ciclo de seis meses.

Los principales problemas fitosanitarios del chile habanero en la región son las plagas, destacando la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn.) y el picudo del chile (*Anthonomus eugenii* Cano), enfermedades virales diversas, principalmente el virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV), enfermedades fungosas como *Fusarium* spp. e infestaciones continuas por maleza en las plantaciones (Ramírez *et al.,*1993). La presencia de la maleza es un problema constante debido a la rapidez con que infesta al cultivo y la intensidad con que ejerce la competencia, tanto por nutrientes y agua como por luz y espacio; el chile habanero es particularmente susceptible a estos últimos factores, sobre todo cuando se cultiva en micro túneles para aislar las plántulas de los ataques tempranos de mosca blanca.

Si bien la maleza no genera pérdidas espectaculares como las plagas o las enfermedades en este cultivo, dependiendo de la temporada del año y la zona de producción, las actividades de control durante el ciclo pueden representar entre el 20 y el 25% del costo total (Avilés y Dzib, 2008), lo cual es significativo considerando que, en una hectárea se invierten aproximadamente de 200 a 250 mil pesos en un ciclo de seis meses, con un rendimiento promedio de 20 t/ha.

Los altos costos se deben a que la maleza se tiene que controlar durante todo el ciclo, para evitar, además de la competencia, el papel que juega como hospedera de mosca blanca y virus (Díaz, 2003) y para no entorpecer y encarecer más las labores operativas y de cosecha.

Por otra parte, tradicionalmente las actividades de control se han basado en el uso de mano de obra para la eliminación parcial de la maleza en las líneas del cultivo y la combinación con herbicidas como paraquat y glifosato principalmente, ante el desconocimiento de herbicidas más efectivos, lo cual encarece fuertemente esta práctica.

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de la aplicación de diferentes herbicidas en el cultivo de chile habanero, tanto en el control de la maleza asociada, como en sus características fitotóxicas y sobre el desarrollo del cultivo.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la Unidad Agrícola “Leopoldo Arana Cabrera”, del municipio de Muna, Yucatán, ubicada en las coordenadas: 20º 24’ 52” N y 89º 44’ 31” O, aproximadamente a 100 km de la ciudad de Mérida, en el tramo de carretera Muna-Uxmal. El suelo, anteriormente sembrado con un cultivo de cacahuate (*Arachys hypogaea*) está clasificado como K’ankab lu’um en la clasificación maya y Luvisol en la clasificación de la Base de Referencia Mundial de los suelos (WRB) (Bautista *et al*., 2012). El estudio se realizó de septiembre a octubre de 2021, preparando el terreno mediante un chapeo manual en la tercera semana de septiembre y posteriormente (2 de octubre) aplicando el herbicida paraquat (200 g de i. a./L) en dosis de 10 mL de material comercial/L de agua, para eliminar de manera rápida la maleza presente. Una vez que la maleza inició su recuperación (emergencia), se aplicaron los tratamientos el día 9 de octubre.

El trasplante se realizó el día 11 de octubre (2 dda), utilizando plántulas de la variedad Jaguar, con una altura promedio de 12.2 cm. Se establecieron 16 tratamientos con cuatro repeticiones en un diseño de bloques completos al azar. Quince tratamientos fueron con base en diferentes herbicidas y se incluyó un testigo enhierbado. Los tratamientos y dosis utilizadas se describen en el Cuadro 1. Las dosis se determinaron con base en las fichas técnicas de los herbicidas, así como en experiencias previas con algunos de ellos (Avilés *et al.,* 2010). También se consideró su autorización de uso en México y en Estados Unidos para el cultivo de chiles (*Capsicum* spp.).

La unidad experimental tuvo una superficie de 14.25 m^2 (1.5 x 9.5 m). Cada unidad experimental incluyó una línea de riego con cintilla calibre 8,000 y goteros cada 10 cm con un gasto nominal de 1.0 L/h. La separación entre líneas fue a 1.5 m. Las plántulas de chile habanero se trasplantaron a 40 cm de distancia, con lo cual la unidad experimental incluyó 23 plántulas (16,750 plantas/ha), con un total de 92 plantas por tratamiento. La superficie total de investigación considerando la separación entre bloques de 1 m, fue de 1,080 m^2 (40 x 27 m).

Los datos se analizaron mediante Análisis de Varianza (ANVA) y pruebas de comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa Statgraphics Centurión, versión 16.1.2.0. El manejo del cultivo se realizó de acuerdo a las recomendaciones de Avilés *et al*. (2010) para el cultivo del chile habanero en Yucatán a campo abierto.

Cuadro 1. Tratamientos para el control de maleza en chile habanero. Muna, Yuc. Ciclo OI/2021-22.

T	Herbicida	i. a./ kg o L	Dosis comercial (kg o L/ha)	Dosis (kg de i.a./kg o L)	Grupo químico (HRAC)	CT
1	Pendimetalina	328	6.76	2.21	Dinitroanilinas	V
2	Glifosato	360	3.60	1.29	Glicinas	IV
3	Herb. Natural 1 (SN)	84%*	5.41	4.54	No clasificado	V
4	Glufosinato de amonio	280	4.50	1.26	Ácidos fosfínicos	IV
5	Bensulide	480	18.02	8.65	Fosforoditioatos	IV
6	Paraquat	200	4.50	0.90	Pyridiniums	II
7	Trifluralina	600	4.05	2.43	Dinitroanilinas	IV
8	Fomesafén	250	2.03	0.50	Difenil éteres	IV
9	Ethalfluralina	371	4.05	1.50	Dinitroanilinas	IV
10	Carfentrazone etil	240	0.81	0.19	H-Feniltriazolinonas	IV
11	Clorthal dimetil	750	5.63	4.22	Ácidos benzoicos	IV
12	Herb. Natural 2 (SB)	73%*	5.41	3.94	No clasificado	V
13	Oxadiazón	250	2.25	0.56	N-Fenil-Oxadiazolonas	V
14	Metolaclor	960	2.70	2.59	Alfa-Cloroacetamidas	IV
15	Clomazone	360	3.60	1.29	Isoxasolidinonas	IV
16	Testigo enhierbado					

* = Porcentaje en peso de los principales componentes. CT = Categoría toxicológica. HRAC = Herbicide Resistance Action Committee 2020. Calibración: 411 L/ha.



Figura 1. Distribución de tratamientos en la parcela de investigación en chile habanero. Muna, Yuc. OI-2021/22.

Sanidad vegetal

Registro de variables

Se registraron las siguientes variables antes de la aplicación de los tratamientos (25 de septiembre), a los siete y 14 dda (16 y 23 de octubre). Los datos fueron posteriormente analizados con el programa Statgrphics Centurion XVI.I.

En la maleza

1. Especies presentes en las áreas de estudio. Se identificaron las especies presentes una semana antes del establecimiento de los tratamientos (25 de septiembre). Se utilizaron 12 cuadros de 50 x 50 cm (0.25 m^2) y se registró la cobertura de cada especie, frecuencia de aparición, abundancia y dominancia, para con ello determinar el valor de importancia relativa (VIR) de cada una, de acuerdo con la metodología descrita por Gámez *et al.* (2011) para la caracterización de arvenses.

2. Cobertura total de la maleza (%). Se midió el porcentaje de cobertura de manera visual adaptando la metodología descrita por Rodríguez *et al.* (2008) y Gámez *et al.* (2011) para la medición de poblaciones de arvenses a través de la cobertura y otros parámetros. Se utilizaron 16 cuadros de 50 x 50 cm (0.25 m^2) por tratamiento (cuatro cuadros por repetición) a los siete y 14 dda. Los datos fueron posteriormente transformados a arcoseno raíz de x para su análisis estadístico (Barrera *et al.*, 2019).

En el cultivo

1. Fitotoxicidad (%). Se registró el porcentaje de toxicidad causado por los herbicidas de acuerdo con la escala de la Sociedad Europea de Investigación en Maleza (EWRS) citada por Pérez *et al.* (2014), tomando en cuenta a todas las plantas de chile habanero en la unidad experimental, midiendo la mortalidad y la sintomatología del daño.

2. Altura de plantas (cm). Con el objeto de detectar algún efecto sobre el crecimiento del cultivo, se midió la altura Inicial (11 de octubre) y a los 14 dda (23 de octubre), midiendo de la superficie del suelo a la hoja más alta de las plántulas. Se utilizaron 16 plantas al azar por tratamiento (cuatro plantas por repetición).

3. Análisis de costos. Se realizó un análisis preliminar de costos por tratamiento considerando los costos de los productos y de jornales de aplicación por hectárea, comparándolos con el costo estimado de control que realiza el productor (combinación de control manual y control químico).

Resultados y Discusión

Especies presentes en el área de estudio

Se detectaron 14 especies de maleza dominantes en la vegetación presente, de las cuales 12 son especies de hoja ancha y dos de hoja angosta (Figura 2). Destacaron las especies: *Euphorbia hyssopifolia* (Euphorbiaceae), *Megathyrsus maximus* (Poaceae) y *Parthenium hysterophorus* (Asteraceae) con VIR de 61.8, 52.4 y 33.7%, respectivamente.

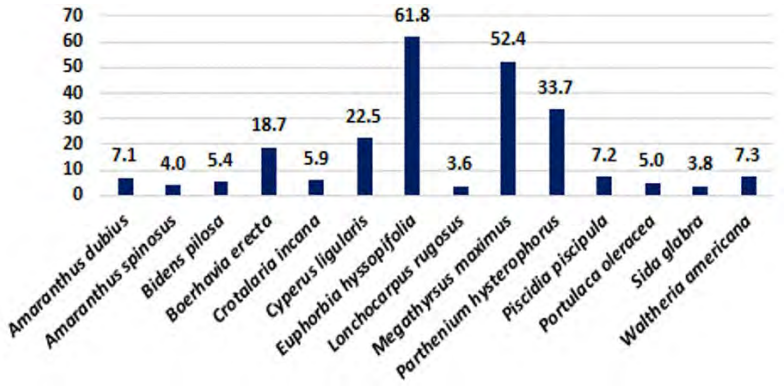


Figura 2. Valores de Importancia Relativa de la maleza en el área de investigación (%). Muna, Yuc. Ciclo OI/2021-22.

Cobertura total de la maleza (%)

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas entre los tratamientos a los siete y 14 dda. A los siete dda, la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) identificó al herbicida clomazone como el único estadísticamente similar al testigo enhierbado con una cobertura de 2.78% contra 3.75% del testigo. Por otra parte, los demás tratamientos fueron estadísticamente diferentes con valores de 0.28 a 2.22%, destacando pendimetalina, glifosato, Herb. Natural 1, glufosinato de amonio, bensulide, paraquat, carfentrazone etil, oxadiazón y metolaclor. Particularmente pendimetalina y glufosinato de amonio registraron los valores más bajos de cobertura con 0.28 y 0.31%, respectivamente (Cuadro 2).

A los 14 dda, las coberturas de la maleza en todos los tratamientos con base en herbicidas fueron estadísticamente diferentes al testigo enhierbado, con valores desde 0.25 hasta 8.13%, destacando Pendimetalina (0.25%), glufosinato de amonio (1.13%), trifluralina (1.5%) y clortal dimetil (1.88%) con los valores más bajos. A excepción de pendimetalina, estos herbicidas se han recomendado para el control de maleza en chile habanero en Yucatán por Avilés *et al*

(2010), como alternativas para reducir los costos de control que genera el uso de mano de obra para realizar esta práctica, con lo cual se confirmó su buen efecto (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de Tukey para la cobertura de maleza en chile habanero a los siete y 14 días después de la aplicación (dda).

No.	Tratamiento	Dosis comercial (kg/ha o L/ha)	Cobertura (%) 7 dda	14 dda
1	Pendimetalina	6.76	**0.28 a**	**0.25 a**
2	Glifosato	3.60	0.94 abc	4.06 a
3	Herb. Natural 1 (SN)	5.41	0.48 ab	2.75 a
4	Glufosinato de amonio	4.50	**0.31 a**	**1.13 a**
5	Bensulide	18.02	0.76 ab	4.50 a
6	Paraquat	4.50	1.18 abc	8.13 a
7	Trifluralina	4.05	2.22 cd	**1.50 a**
8	Fomesafén	2.03	1.76 bcd	6.94 a
9	Ethalfluralina	4.05	2.09 cd	6.31 a
10	Carfentrazone etil	0.81	1.45 abc	3.44 a
11	Clortal dimetil	5.63	1.76 bcd	**1.88 a**
12	Herb. Natural 2 (SB)	5.41	1.58 abcd	7.76 a
13	Oxadiazón	2.25	0.76 ab	6.19 a
14	Metolaclor	2.70	1.51 abcd	3.00 a
15	Clomazone	3.60	2.78 de	4.44 a
16	Testigo enhierbado		3.75 e	25.25 c

Valores con la misma literal no difieren estadísticamente. Tukey ($p<0.05$).

Fitotoxicidad (%)

En los muestreos realizados a los siete y 14 dda, únicamente se detectaron efectos fitotóxicos con el herbicida clomazone a los 14 dda. El porcentaje de plantas afectadas fue de 1.3% (tres plantas de un total de 21 plantas/parcela) y el porcentaje de afectación por planta fue de 28.0%. El síntoma visible fue una decoloración marcada, principalmente en las hojas nuevas cercanas a la yema apical. No se observó mortalidad en las plantas por efecto del herbicida.

Altura de plantas (cm)

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas en la altura inicial de las plantas, ni tampoco a los 14 dda, con lo cual no parece haber una afectación significativa en este

parámetro en las primeras dos semanas del desarrollo. En esta etapa el chile habanero se caracteriza principalmente por la generación de nuevas raíces y cambio de color en las hojas de verde pálido a verde oscuro, con un lento crecimiento vertical a través de la emisión de nuevas hojas en la parte apical. Considerando que el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos a pesar de la toxicidad registrada con clomazone, se puede inferir que el crecimiento de las plantas hasta esta etapa no resultó afectado por la aplicación de los herbicidas.

Cuadro 3. Altura de planta en chile habanero a los siete y 14 días después de la aplicación (dda).

No.	Tratamientos	Dosis comercial kg/ha o L/ha	Altura (cm)*	
			Inicial	14 dda
1	Pendimetalina	6.76	12.9	14.9
2	Glifosato	3.60	13.3	14.5
3	Herb. Natural 1 (SN)	5.41	12.7	14.0
4	Glufosinato de amonio	4.50	12.3	13.3
5	Bensulide	18.02	11.6	13.3
6	Paraquat	4.50	12.5	14.2
7	Trifluralina	4.05	12.4	14.2
8	Fomesafén	2.03	12.3	14.6
9	Ethalfluralina	4.05	11.5	13.8
10	Carfentrazone etil	0.81	10.9	12.6
11	Clortal dimetil	5.63	11.6	13.2
12	Herb. Natural 2 (SB)	5.41	11.9	13.1
13	Oxadiazón	2.25	12.3	13.8
14	Metolaclor	2.70	12.5	13.3
15	Clomazone	3.60	12.2	14.4
16	Testigo enhierbado		13.1	14.3

Análisis de costos

En el Cuadro 4 se describen los costos unitarios de los herbicidas y tratamientos de acuerdo con las dosis por hectárea utilizadas y se comparan con los costos estimados del control combinado que normalmente realiza el productor en los primeros 30 días después del trasplante.

Cuadro 4. Costo de tratamientos para el control de maleza en chile habanero Muna, Yuc. Ciclo OI/2021-22.

No.	Tratamiento	Dosis comercial (kg/ha o L/ha)	$/unidad ($/kg o l)	Costo total/ha ($)*	Reducción de costos (%)
1	Pendimetalina	6.76	390.91	$3,442.55	53.96
2	Glifosato	3.60	169.50	$2,210.20	70.44
3	Herb. Natural 1 (SN)	5.41	507.25	$3,544.22	52.60
4	Glufosinato de amonio	4.50	550.04	$4,075.18	45.50
5	Bensulide	18.02	1,083.33	$20,321.61	-171.75
6	Paraquat	4.50	86.00	$1,987.00	73.43
7	Trifluralina	4.05	411.85	$2,467.99	67.00
8	Fomesafén	2.03	762.50	$2,347.88	68.60
9	Ethalfluralina	4.05	380.00	$2,339.00	68.72
10	Carfentrazone etil	0.81	3,000.00	$3,230.00	56.81
11	Clortal dimetil	5.63	1,091.29	$6,943.96	7.14
12	Herb. Natural 2 (SB)	5.41	345.00	$2,666.45	64.34
13	Oxadiazón	2.25	900.00	$2,825.00	62.22
14	Metolaclor	2.70	990.00	$3,473.00	53.56
15	Clomazone	3.60	730.00	$3,428.00	54.16
16	Testigo enhierbado			-	
	Deshierbe + Herbicida			$ 7,478.00**	

Se observa que los tratamientos más económicos con respecto a la práctica del productor fueron paraquat ($1,987.00/ha) y glifosato ($ 2,210.20/ha) debido principalmente a que tienen los costos unitarios más bajos, con una reducción del costo entre 70.4 (glifosato) y 73.4% (paraquat); sin embargo, debido al sistema de producción bajo túneles de polipropileno que prevalece en la región, no es posible utilizarlos directamente sin dañar al cultivo.

Por otra parte, a excepción de bensulide (18.0 L/ha), que resultó el tratamiento con el costo más elevado ($19,521.61/ha) y clorthal dimetil que sólo redujo el costo en 7.1%, todos los demás tratamientos resultaron también significativamente más económicos con reducciones entre 45.5% (glufosinato de amonio) y 68.7% (ethalfluralina), con lo cual son también razonablemente competitivos en este aspecto.

Conclusiones

A pesar del corto período de evaluación del efecto de los herbicidas, la información registrada permite concluir lo siguiente: 1. Todos los herbicidas evaluados generaron un efecto de control significativo en la maleza. 2. Los herbicidas pendimetalina, glufosinato de amonio, trifluralina y clortal dimetil destacaron en el control de ésta. 3. Únicamente el herbicida clomazone ocasionó un efecto fitotóxico sobre el chile habanero a los 14 dda. 4. Hasta los 14 dda el crecimiento del cultivo no se vio afectado en ninguno de los tratamientos. 5. Los herbicidas con el menor costo del tratamiento fueron glifosato y paraquat, y el de mayor costo fue bensulide. 6. A excepción de bensulide, todos los herbicidas redujeron los costos de manera significativa con respecto a la práctica del productor.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México por el financiamiento de este trabajo como parte del proyecto denominado: Alternativas al uso del glifosato para el control de maleza en México.

Literatura Citada

Avilés, B. W. I. y R. Dzib E. 2008. Validación de tecnología para la producción de chile habanero en suelos mecanizables. Informe Técnico Anual. Campo Experimental Mocochá. CIRSE. INIFAP. Mocochá, Yuc., México. 10 p.

Avilés, B. W. I., R. Dzib E. y G. Pereyda P. 2010. Manual para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) a campo abierto y bajo estructuras de protección. Folleto Técnico No. 7. INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Mocochá. Mocochá, Yuc., México. 34 p.

Barrera, F. M., G. J. Cervera D., L. Peña R., Cobas E., M. Peña P. y O. Barquié P. 2019. Poblaciones de arvenses en suelos tratados con diferentes técnicas de manejo en caña de azúcar. Centro Agrícola 46(3):76-85.

Bautista, F., D. Maldonado y A. Zinck. 2012. La clasificación maya de suelos. Ciencia y Desarrollo. Julio-Agosto:65-70.

Díaz, P. R. 2003. Distribución de geminivirus en la Península de Yucatán y estrategias moleculares para su control. Tesis de doctorado. CINVESTAV-IPN. Unidad Irapuato. Irapuato, Gto., México. 118 p.

Gámez, L. A. J., M. Hernández, R. Díaz y J. Vargas. 2011. Caracterización de la flora arvense asociada a un cultivo de maíz bajo riego para la producción de jojotos. Agronomía Tropical 61(2):133-139.

Pérez, M. L., C. Castañeda C., M. Ramos T. y J. A. Tafoya R. 2014. Control químico preemergente de la maleza en tomate de cáscara. Interciencia 39(6):422-427.

Ramírez, C. J. L., R. Díaz P. y W. I. Avilés B. 1993. Mosquita blanca. *Bemisia tabaci* Genn. Avances de investigación en Yucatán. Folleto Técnico s/n. INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Zona Henequenera. Mérida, Yuc., México. 16 p.

Rodríguez, M., G. Plaza, R. Gil, F. Chaves y J. Jiménez. 2008. Reconocimiento y fluctuación poblacional arvense en el cultivo de espinaca (*Spinacea oleracea* L.) para el municipio de Cota, Cundinamarca. Agronomía Colombiana 16(1):87-96.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ [consultado el 1 de octubre de 2021].

REFLECTANCIA DE HOJAS DE LIMÓN PERSA A LA FERTILIZACIÓN E INFECCIÓN DE *Candidatus* Liberibacter ASIATICUS

Luis A. Pérez Zarate*[1], Juan A. Villanueva Jiménez[1], Francisco Osorio Acosta[1], Eliseo García Pérez[1], Aída Martínez Hernández[2] y Felipe R. Flores de la Rosa[3]

Resumen

Candidatus Liberibacter asiaticus (*C*Las) es la bacteria causal de la enfermedad del Huanglongbing, catalogada como la más destructiva de los cítricos en el mundo. Un reto en el manejo del HLB en el mundo es mantener una producción económicamente viable aun con la presencia de la enfermedad, por lo que, incrementar la vida productiva de los árboles es fundamental. En este trabajo evaluamos el efecto de diferentes dosis de fertilización con macro y micro elementos en la reflectancia de hojas de plantas sanas y enfermas con HLB. Se midió la reflectancia espectral en plantas sanas y enfermas en un rango de 450-800 nm. La dosis de fertilización media + micros mostró la menor reflectancia en plantas sanas y enfermas en el rango visible de luz. Se encontró un efecto significativo de la enfermedad en la reflectancia a los 550 nm. Estos resultados sugieren que la medición de la reflectancia podría ser útil en la identificación de plantas enfermas en una etapa inicial de infección.

Palabras clave: reflectancia, espectrorradiometría, longitud de onda, huanglongbing

Introducción

México se encuentra entre los cinco países con mayor producción de cítricos y el segundo lugar en la producción de limones y limas (Flores-Sánchez, 2016). Veracruz ocupa el primer

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Programa de Posgrado en Agroecosistemas Tropicales. alfredo.perez@colpos.mx
[2]Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. Programa de Posgrado en Bioprospección y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico.
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Acuícolas y Pecuarias (INIFAP). CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco.

lugar en la producción de limón persa en México (SIAP, 2021). La producción de cítricos es la base de una agroindustria de importancia para la población y para su comercialización en países de clima tropical y subtropical, debido a la gran cantidad de empleos que se generan durante su proceso productivo, las divisas generadas vía exportación y un mercado interno sobresaliente (Peña, 2003).

Actualmente, la enfermedad más destructiva de los cítricos en el mundo es el Huanglongbing (HLB), causada por la bacteria *Candidatus* Liberibacter asiaticus (*C*Las); es diseminada en las principales zonas citrícolas por el vector *Diaphorina citri*, también conocido como el psílido asiático de los cítricos (da Graça *et al*., 2016). Actualmente no hay un tratamiento que elimine la enfermedad del HLB; todos los cultivares de cítricos son susceptibles en mayor o menor grado a esta enfermedad (Cevallos-Cevallos *et al*., 2012)

Las afectaciones ocasionadas por la bacteria desencadenan una serie de síntomas a nivel de dosel como moteado asimétrico, engrosamiento de nervaduras, caída prematura de fruta, maduración inversa y aborto de semillas (da Graça *et al*., 2016). El desarrollo de síntomas se da por el bloqueo del floema con calosa y proteínas (PP1 y PP2) como mecanismo de defensa para evitar la dispersión generalizada de la enfermedad (Koh *et al*., 2012; Granato *et al*., 2019). Además, las plantas enfermas con HLB han mostrado deficiencias de macro y micronutrientes como Ca, P, Mg, Fe, Mn y Zn, así como un incremento en la concentración de potasio en las hojas (Zhao *et al*., 2013). Pustika *et al*. (2008) investigaron el efecto del HLB en la concentración de nutrientes; en hojas encontraron una reducción de N, Mg y Fe en 12, 21 y 41%, respectivamente, comparado con árboles sanos. Tian *et al*. (2014) indican que, la infección de *C*Las reduce significativamente los niveles de Zn, Fe, Mn y Cu en árboles de toronja.

En condiciones de campo, la expresión de síntomas depende de múltiples factores y es posible que en una parcela se encuentren plantas enfermas sin la expresión visible de síntomas foliares, lo que dificulta la detección temprana de la enfermedad. De forma convencional, la detección del HLB en campo se realiza mediante la identificación de los síntomas característicos de la enfermedad y mediante pruebas moleculares como PCR y qPCR; estos métodos son costosos, requieren infraestructura y recurso humano capacitado para muestrear grandes extensiones de terreno (Pourreza *et al*., 2015; Garza-Saldaña *et al*., 2017). En ese sentido, regiones específicas en el espectro electromagnético se han asociado con el estrés

fisiológico de plantas; incluso, plantas enfermas tienen una firma espectral diferenciada respecto a plantas sanas (Sankaran *et al*., 2010). Se han utilizado técnicas espectrorradiométricas para evaluar la respuesta temprana de diferentes cultivos a enfermedades de importancia económica, entre ellas la reflectancia espectral, la cual se ha reportado como una alternativa viable de menor costo y portatil (Garza-Saldaña *et al*., 2017). Los estudios de reflectancia detectan cambios tempranos en las firmas espectrales causados por la pérdida de clorofila. Para Ustin *et al*. (2004), la pérdida de clorofila muestra cambios en longitudes de onda de rangos no visibles de luz y posibilita detectar síntomas iniciales de estrés.

Purcell *et al*. (2009) señalan que para determinar diferencias en la reflectancia espectral entre plantas sanas y enfermas se utiliza la región visible del rango infrarrojo, donde es posible detectar cambios iniciales más finos. Estudios de espectrofotometría en el rango infrarrojo han mostrado hasta el 98% de efectividad en la detección del HLB (Sankaran *et al*., 2011). Pourreza *et al*. (2015) relacionaron la acumulación de almidón en hojas sintomáticas de cítricos enfermas con HLB, con cambios en la firma espectral a los 591 nm, entre el rango visible y el infrarrojo, y mencionan que es una herramienta efectiva en la detección del HLB, no invasiva, de bajo costo, fácil de utilizar y con potencial para utilizarse en condiciones de campo. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta espectral de plantas de limón persa sanas y enfermas con HLB, así como su relación con diferentes niveles de fertilización con macro y micro nutrientes.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, en el km 88.5 de la carretera federal Xalapa-Veracruz (Lat. 19.1943, Long. -96.3437), a 27 msnm. Se utilizó un invernadero que cuenta con sistema de riego con una temperatura media de 26.23°C y humedad relativa del 87.7%. Plantas de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.), injertadas sobre patrón Macrophylla (*Citrus macrophylla* Macf.), de aproximadamente 2.5 años de edad, provenientes de un vivero certificado, se transfirieron a un recipiente de 40 x 40 cm con sustrato de suelo y Peat moss® (relación 2:1).

Se reinjertaron dos grupos de plantas, el primero con yemas de plantas sanas provenientes de un vivero certificado y el segundo con yemas provenientes de un árbol enfermo ubicado en una parcela comercial del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco. Dos meses después se confirmó la sanidad de las mismas mediante una prueba de Reacción en Cadena de Polimerasa (PCR). La extracción de ADN genómico se realizó siguiendo la técnica de CTAB reportada por Rodríguez-Quibrera *et al*. (2010). La calidad de ADN se revisó de manera cualitativa mediante electroforesis. Para determinar la sanidad de los grupos de plantas sanas y enfermas, se amplificó la región ribosomal 16S (ADNr) de la especie bacteriana causante de la enfermedad del HLB, de acuerdo a la metodología utilizada por Rodríguez-Quibrera *et al.* (2010). Se utilizó 1 µL de los oligonucleótidos específicos OI1 (5'-GCG CGT ATG CAA TAC GAG CGG CA-3') y OI2c (5'-GCC TCG CGA CTT CGC AAC CCA T- 3'), que amplifican una sección de ADN de aproximadamente 1160 pb. Además, 12.5 µL de MyTaq™ master mix de Bioline®, más 1 µL ADN y 9.5 µL de agua grado biología molecular, en un volumen final de 25 µL. El protocolo de PCR se inició a 95°C durante 3 min, seguido de 35 ciclos de 30 s a 94°C, 30 s a 62°C y 1 min a 72°C, con una extensión final de 10 min a 72°C en termociclador. El marcador de peso molecular fue ADN-Ladder 1kb de Promega. El producto se cargó en gel de agarosa al 2% en TAE 1X. En cada pozo se colocaron 2 µL de buffer de carga y 2 µL del amplicón. El gel fue teñido con colorante de ácidos nucleicos DiamondTM Nucleic Acid Dye, Promega® y se visualizó en un fotodocumentador SmartView Pro Imager System 1200.

Se estableció un diseño factorial con tres niveles de macro y micronutrientes (B = bajo, M = medio y A = alto), anidados en dos niveles de sanidad (sanas y enfermas). Los tratamientos de fertilización se definieron con base en los requerimientos nutricionales de los cítricos, recomendadas por Curti-Díaz *et al*. (2000), y Morgan y Kadyampakeni (2020). La dosis estándar de micronutrientes fue 20% de Ca, 20% de Mg, 10% de S, 5% de Zn, 5% de Mn y 2.5% de B (boro). La fuente de nitrógeno para el nivel B fue urea, mientras que para los niveles M y A fueron nitratos y amonios (Cuadro 1). Las aplicaciones se realizaron cada 18 días (equivalente a 20 aplicaciones al año) (Atta, 2021), de agosto 2021 a marzo del 2022. Se evaluaron tres tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Se utilizaron 12 plantas sanas y 12 enfermas, un total 24 plantas.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización evaluados en plantas sanas y enfermas de limón Persa.

Niveles	Fertilizante comercial	Dosis (g planta^{-1} año)
B+micros	Urea + YMC + YLNT	60N - 9.9P - 16.2K - 8Ca - 7.4Mg - 7.2S - 0.02Zn - 0.02Mn - 0.18Fe
M+micros	YbEX + YLN + Magnit + YMS + YMC + Borax + ZnSO4 + MnSO4 + KCl	120N - 20.1P - 14.265K - 24Ca - 24Mg - 11.92S - 6Zn - 3B - 6Mn - 0.13Fe
A+micros	YbEX + YLN + Magnit + YMS + YMC + Borax + $ZnSO_4$ + $MnSO_4$ + KCl	140N - 30.62P - 40K - 24Ca - 24Mg - 12S - 6Zn - 3B - 6Mn -0.11Fe

YMC= YaraMila Complex®, YLNT= YaraLiva Nitromac®, YbEX = Yarabela Extran®, YLN = YaraLiva Nitravor®, YMS = YaraMila Star®, ZnSO4= Sulfato de zinc, MnSO4= Sulfato de manganeso, KCl= Cloruro de potasio. B= bajo, M= medio, A= alto.

Se midió la reflectancia de hojas de limón persa sanas y enfermas con HLB con un espectrorradiómetro (STS-VIS Miniature spectrometer; Ocean Optics®, USA), con rango espectral de 339 a 822 nm y resolución de 0.45 nm. Los análisis y espectrogramas de las lecturas de reflectancia (%) se restringieron al rango de 450 a 800 nm, de acuerdo a las recomendaciones de Trejo-Pérez (2020). El STS-VIS® utiliza una fibra óptica QP600-025-VIS (Ocean Optics®, USA), un lente de colimación serie 74-UV (Ocean Optics®, USA), el software Oceanview® (Ocean Optics®, USA) y un estándar de reflectancia blanco W-S1 Ocean Optics®. Se colectaron dos hojas maduras por planta y de manera mensual se midió la reflectancia espectral en condiciones de laboratorio, donde se utilizaron dos lámparas de halógeno como fuente de luz principal.

Se realizó un análisis factorial anidado, mediante PROC MIXED del programa SAS ($p \leq 0.05$), para los 550 y los 790 nm. Se realizaron espectrogramas de reflectancia con la media e intervalos de confianza en dos rangos de interés, el primero de los 540 a los 560 y el segundo de los 770 a los 800 nm. Las gráficas se realizaron mediante la paquetería ggplot2 del programa RStudio.

Resultados y Discusión

Mediante la prueba de PCR se determinó un grupo de 12 plantas sanas (sin amplificación del gen 16Sr) y 12 enfermas (con amplicón de 1160 pb) (Figuras 1A y B). Los tratamientos se

agregaron de manera aleatoria a las unidades experimentales y se establecieron en cuatro bloques al azar. Los síntomas fueron perceptibles en el grupo de plantas enfermas a los tres meses después de montado el experimento, pero con una intensidad muy baja.

Se cuantificó el promedio general de reflectancia para los grupos de plantas sanas y enfermas, lo cual permitió determinar las longitudes de onda en las cuales se presentó la mayor diferencia entre grupos. En ese sentido, se identificaron dos regiones diferenciales, la primera en el rango visible (VIS) a los 550 (± 10) nm y en el infrarrojo cercano (NIR) a los 790 (± 10) nm (Figura 1). En el rango visible, las plantas enfermas mostraron una mayor reflectancia respecto a las plantas sanas (p= <0.0001), por el contrario, en el infrarrojo cercano las plantas sanas mostraron mayor reflectancia respecto a las enfermas (p= 0.0327). Lo anterior coincide con lo reportado por Eagan (2019), quien menciona que en plantas sanas la luz del VIS es absorbida y convertida en carbohidratos mientras que la luz del NIR es reflejada, por lo tanto, los cambios mínimos en el contenido de clorofila por condiciones de estrés se asocian con una disminución en la absorción de luz (menor reflectancia en NIR) e incremento en la reflectancia en el VIS. El análisis de efectos principales de las regiones de interés mostró un efecto significativo del HLB en la respuesta espectral a los 550 nm (p = 0.0011), pero no a los 790 nm (p = 0.2688). Los niveles de fertilización no mostraron un efecto diferenciado en la respuesta de las plantas en ninguna de las regiones de interés; además, se encontró un efecto de bloque a los 790 nm (0.0011), probablemente por la heterogeneidad en la expresión de síntomas (Cuadro 2).

A los 550 nm, el porcentaje de reflectancia fue mayor para las plantas enfermas en todos los niveles de fertilización evaluados; sin embargo, el menor porcentaje de reflectancia se presentó en la dosis media + micros, tanto en plantas sanas como enfermas. Aunque el efecto de la fertilización no fue significativo, el patrón de reflectancia asociado a los tratamientos fue similar en ambos grupos de plantas, es decir la dosis media mostró la menor reflectancia y la dosis más alta mostró la mayor reflectancia, lo que indica que, aunque se aplique mayor cantidad de fertilizante no se logra minimizar el daño de la enfermedad (Figura 2A). A los 790 nm, los tratamientos A y M + micros mostraron un menor porcentaje de reflectancia en plantas enfermas respecto a sanas, sin embargo, el tratamiento B + micros mostró mayor reflectancia en plantas enfermas. Además, la reflectancia de las plantas enfermas mostró una mayor variación respecto a las plantas sanas (Figura 2B).

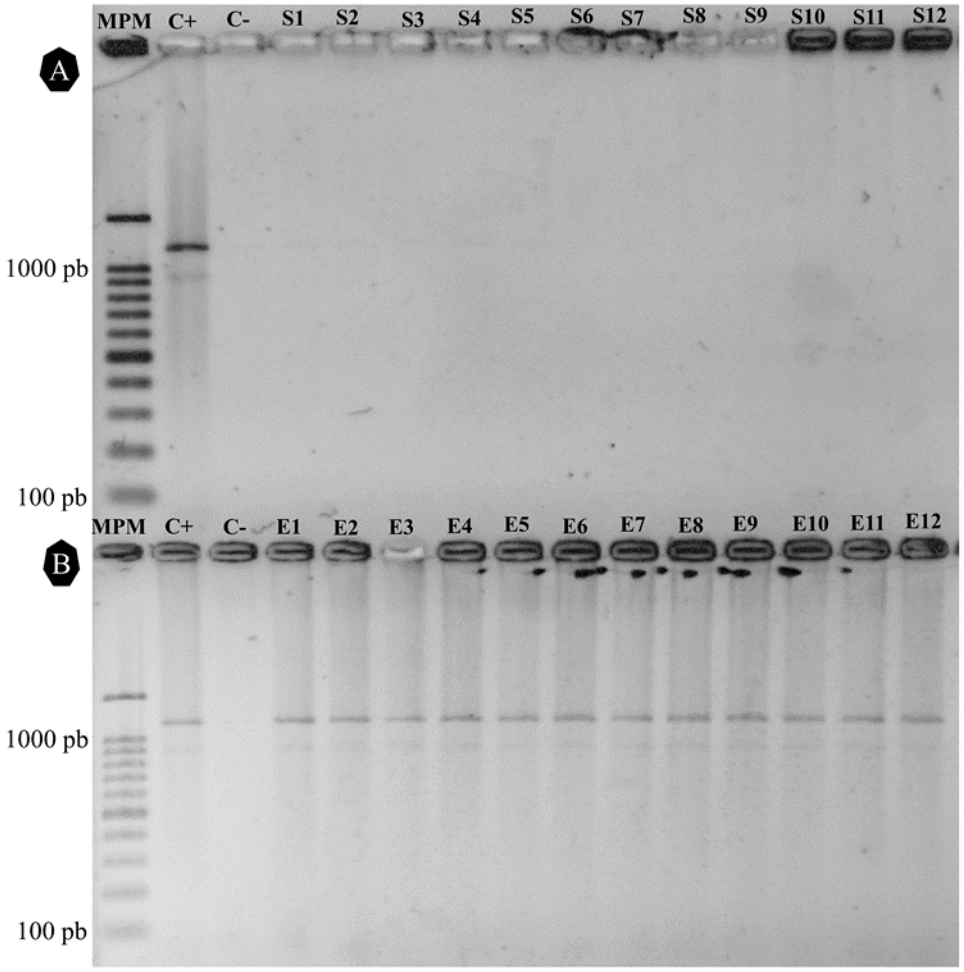


Figura 1. Gel de electroforesis con A) Grupo de plantas inoculadas con yemas sanas, sin amplificación y B) Grupo de plantas inoculadas con yemas enfermas, donde se observa un amplicón de aproximadamente 1160 pb del gen 16Sr de *C*Las.

El porcentaje de reflectancia en el VIS, particularmente a los 550 nm es un indicativo de la función del fotosistema II, además, la respuesta espectral después de los 700 nm está relacionada con modificaciones en la composición química interna y la estructura del tejido, particularmente con la acumulación anormal de carbohidratos y el bloqueo del floema (Weng *et al*., 2018). La reflectancia de las hojas puede estar influenciada por múltiples factores, de los que destacan las condiciones de crecimiento, estructura y composición de la hoja, el entorno circundante y si la planta se encuentra en condiciones de estrés ocasionado por un patógeno. Estos factores, pueden influenciar las características externas de la hoja como el color, textura y estructura, además, de las características internas como la clorofila, humedad

y la composición de los tejidos, lo cual lleva a una expresión diferenciada de la reflectancia (Wang *et al*., 2019).

Cuadro 2. Análisis de efectos principales sobre la respuesta espectral de limón persa sana y enferma con HLB a los 550 y 790 nm.

Efecto	Reflectancia 550 nm	Reflectancia 790 nm
Sanidad	0.0011	0.2688
Nivel (Sanidad)	0.4424	0.7527
Bloque (Sanidad)	0.6091	0.0011
Planta (Sanidad)	0.5598	0.0335

Las longitudes de onda donde se observaron diferencias entre los grupos de plantas sanas y enfermas coinciden con los reportes de Sankaran *et al*. (2011), quienes evaluaron la reflectancia espectral de plantas sanas y enfermas de cítricos con HLB en un rango de longitud de onda de 350 a 2500 nm. Los resultados mostraron tres algoritmos de clasificación basados en las firmas espectrales, los cuales expresaron un porcentaje de efectividad superior al 90% en la detección de plantas enfermas. Por otra parte, Mishra *et al*. (2011) evaluaron un sensor para la identificación de árboles sanos y enfermos de HLB, mediante la medición de reflectancia a los 570, 670, 870 y 970 nm. Los resultados mostraron un porcentaje de efectividad del 97% en la identificación de árboles enfermos. Otras herramientas han sido utilizadas para la detección del HLB como imágenes satelitales (Yzquierdo-Alvarez *et al*., 2021), reconocimiento de imágenes (Deng *et al*., 2014), infrarrojo cercano (Sankaran *et al*., 2011), e imágenes aéreas (Kumar *et al*., 2010). En México son pocos los estudios que se enfocan en la identificación del HLB en una etapa presintomática y se requiere mayor investigación para determinar la viabilidad de estos métodos en condiciones de campo de cada región citrícola del país.

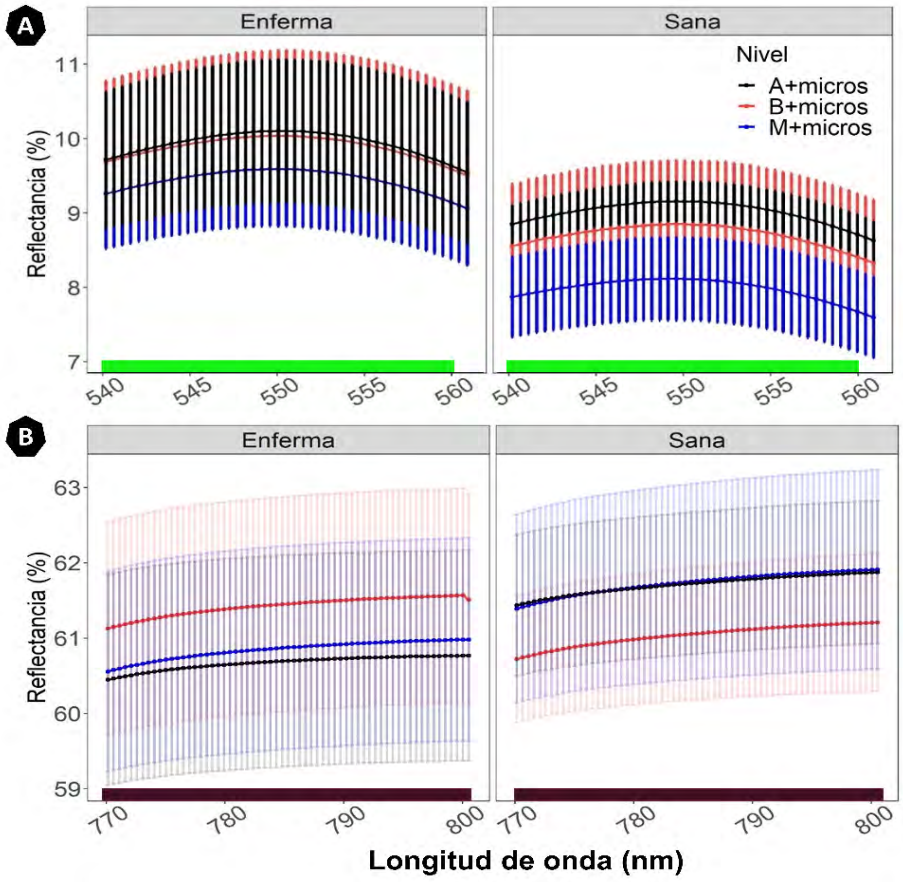


Figura 2. Respuesta espectral de plantas sanas y enfermas de limón persa a los A) 540- 560 nm y B) 770-800 nm, con diferentes niveles de fertilización de macro y micro nutrientes. Media ± IC95.

Con relación a la fertilización de plantas enfermas con HLB, se ha reportado que corregir los desequilibrios nutricionales con programas de nutrición complementarios, podría ser una alternativa viable para incrementar la vida productiva de árboles enfermos (Arévalo *et al*., 2009). Algunos reportes indican que una fertilización adecuada puede ayudar a mantener la producción, a pesar de tener una infección crónica (Flores-Sánchez, 2016). En ese sentido, aunque no se encontró un efecto significativo de los tratamientos, consideramos que la fertilización, particularmente el suministro de micronutrientes permitió mantener una expresión sintomática apenas perceptible. Al respecto, Stopyra (2016) señalan que ante la detección del HLB, los citricultores experimentaron con terapias nutricionales a base de fosfitos, extractos de algas, algunos bioestimulantes, ácido salicílico y altas dosis de macro y micronutrientes, los cuales lograron reducir los efectos de la enfermedad y mantuvieron una producción

económicamente aceptable hasta ese año. Li *et al*. (2014) evaluaron el efecto de Zn en plántulas de toronja infectadas con *C*Las; la nutrición de las plántulas con Zn mejoró el crecimiento y redujo la severidad de los síntomas del HLB. Da Silva *et al*. (2020) señalan que la aplicación de micronutrientes como Zn, Mn o Cu puede mitigar los efectos deletéreos del HLB en el metabolismo de almidón.

Conclusiones

La enfermedad del HLB en limón Persa se asoció con una respuesta espectral diferenciada a los 550 nm en el espectro de luz visible. En el infrarrojo cercano, la enfermedad del HLB provocó una mayor variación en la respuesta espectral de plantas enfermas. La dosis de fertilización media + micros mostró la menor reflectancia en plantas sanas y enfermas en el VIS.

Agradecimientos

Al CONACyT por la beca de doctorado al primer autor, al COVEICYDET por el financiamiento de esta investigación (Proyecto: 15 1136/2021) y al Instituto de Excelencia para los Clústeres por facilitar el uso del espectrorradiómetro.

Literatura Citada

Arévalo, H. D. A., P. A. Stansly, and R. E. Rouse. 2009. Preliminary effects of insecticidal control of Asian citrus psyllid and combinations of nutrients and systemic acquired resistance elicitors on incidence of greening disease in citrus. Resist. Pest Manag. Newsletter 18:14-17.

Atta, A. A., K. T. Morgan, D. M. Kadyampakeni, and K. A. Mahmoud. 2021. The effect of foliar and ground-applied essential nutrients on Huanglongbing-affected mature citrus trees. Plants 10(5): 925.

Cevallos-Cevallos, J. M., D. B. Futch, T. Shilts, S. Y. Folimonova, and J. I. Reyes-De-Corcuera. 2012. GC–MS metabolomic differentiation of selected citrus varieties with different sensitivity to citrus Huanglongbing. Plant Physiol. Biochem. 53: 69-76.

Curti-Díaz, S.A., X. Loredo-Salazar, U. Díaz-Zorrilla, J.A. Sandoval-Rincón y J. Hernández-Hernández. 2000. Tecnología para producir limón Persa. Libro técnico 8. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Da Graça, J.V., G. W. Douhan, S. E. Halbert, M. L. Keremane, R. F. Lee, G. Vidalakis, and H. Zhao. 2016. Huanglongbing: An overview of a complex pathosystem ravaging the world's citrus: Citrus huanglongbing. J. Integr. Plant Biol. 58:373-387.

Da Silva, J. R., F. V. de Alvarenga, R. M. Boaretto, J. R. S. Lopes, J. A. Quaggio, H. D. Coletta-Filho, and D. Mattos. 2020. Following the effects of micronutrient supply in HLB-infected trees: plant responses and *Candidatus* Liberibacter asiaticus acquisition by the Asian citrus psyllid. Trop. Plant Pathol. 45:597-610.

Deng, X. L., Z. Li, X. L. Deng and T. S. Hong. 2014. Citrus disease recognition based on weighted scalable vocabulary tree. Precis. Agric. 15(3):321-330.

Eagan, Q. 2019. More Than Meets the Eye: Using light reflectance to monitor crops indoors. https://medium.com/untill-ag/more-than-meets-the-eye-using-light-reflectance-to-monitor-crops-indoors-446c5a550c4d. [Consultado el 17 de julio del 2022].

Flores-Sánchez, J. L. 2016. Epidemiología del HLB bajo tres escenarios regionales en México. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, edo. De México, México. 253 p.

Garza-Saldaña, J. J., S. Varela-Fuentes, and W. Gómez-Flores. 2017. Métodos para la detección presuntiva de Huanglongbing (HLB) en cítricos. Ciencia UAT 11:93-104.

Granato, L. M., D. M. Galdeano, N. D. R. D'Alessandre, M. C. Breton, M. A. Machado. 2019. Callose synthase family genes plays an important role in the Citrus defense response to *Candidatus* Liberibacter asiaticus. Eur. J. Plant. Pathol. 155:25-38.

Koh E. J., L. Zhou, D. S. Williams, J. Park, N. Ding, Y. P. Duan and B. H. Kang. 2012. Callose deposition in the phloem plasmodesmata and inhibition of phloem transport in citrus leaves infected with *Candidatus* Liberibacter asiaticus. Protoplasma 249:687-697.

Kumar, A., W. Lee W., R. Ehsani, L. Albrigo, C. Yang and R. Mangan. 2010. Citrus greening disease detection using airborne multispectral and hyperspectral imaging, in International Conference on Precision Agriculture.

Li, S. L., Z. G. Li and Z. L. He. 2014. Effect of enhanced zinc nutrition on mitigation of Huanglongbing (HLB)-affected citrus. J. Citrus Pathol. 1:217.

Mishra, A., D. Karimi, R. Ehsani and L. G. Albrigo. 2011. Evaluation of an active optical sensor for detection of Huanglongbing (HLB) disease. Biosyst. Eng. 110:302-309.

Morgan, E. K. T. and D.M. Kadyampakeni. 2020. Nutrition of Florida Citrus Trees, 3rd Ed. 113 p.

Peña, J. H. M. 2003. Eslabonamientos productivos entre la industria y el sector primario, una propuesta de medición: El caso de la cadena Naranja-jugo concentrado en México. Claridades Agropecuarias 119:42-49.

Pourreza, A., W. S. Lee, R. Ehsani, J. K. Schueller, and E. Raveh. 2015. An optimum method for real-time in-field detection of Huanglongbing disease using a vision sensor. Comput. Electron. Agric. 110:21-232.

Purcell, D. E., M. G. O'Shea, R. A. Johnson, and S. Kokot. 2009. Near-infrared spectroscopy for the prediction of disease ratings for Fiji leaf gall in sugarcane clones. Appl. Spectrosc. 63:450–457.

Pustika, A. B., S. Subandiyah, P. Holford, G. A. C. Beattie, T. Iwanami, and Y. Masaoka. 2008. Interactions between plant nutrition and symptom expression in mandarin trees infected with the disease Huanglongbing. Australas. Plant Dis. Notes 3: 112-115.

Rodríguez-Quibrera, C. G., E. I. Alanís M., J. Velázquez M. y I. H. Almeyda L. 2010. Optimización de la técnica de extracción del ADN de plantas de cítricos para el diagnóstico del HLB. 1er Simposio Nacional sobre Investigación sobre el Manejo del Psílido Asiático de los Cítricos y el Huanglongbing en México, Monterrey, Nuevo León. https://sites.google.com/site/diaphorina/simposiohlb1 [Consulta: 14 de marzo del 2021].

Sankaran, S., A. Mishra, R. Ehsani, and C. Davis. 2010. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. Comput. Electron. Agric. 72:1-13.

Sankaran, S., A. Mishra, J. M. Maja and R. Ehsani. 2011. Visible-near infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing in citrus orchards. Comput. Electron. Agric. 77(2):127-134.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/. (Consultado el 11 de junio del 2022).

Stopyra, T. 2016. Citrus kanker and greening: A grower perspective. Proc. Fla. State Hort. Soc. 87–89.

Tian, S., L. Lu, J. M. Labavitch, S. M. Webb, X. Yang, P. H. Brown, and Z. He. 2014. Spatial imaging of Zn and other elements in Huanglongbing-affected grapefruit by synchrotron-based micro X-ray fluorescence investigation. J. Exp. Bot. 65:953–964.

Trejo-Pérez, A. de J. 2020. Detección del virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p) por reflectancia espectrorradiométrica en comparación con la técnica visual. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 78 p.

Ustin, S. L., D. A. Roberts, J. A. Gamon, G. P. Asner, and R. O. Green. 2004. Using imaging spectroscopy to study ecosystem processes and properties. BioSci. 54:523-534.

Wang, K., D. Guo, Y. Zhang, L. Deng, R. Xie, Q. Lv *et al*. 2019. Detection of Huanglongbing (citrus greening) based on hyperspectral image analysis and PCR. Front. Agr. Sci. Eng. 6:172.

Weng, H., J. Lv, H. Cen, M. He, Y. Zeng, S. Hua *et al*. 2018. Hyperspectral reflectance imaging combined with carbohydrate metabolism analysis for diagnosis of citrus Huanglongbing in different seasons and cultivars. Sensors and Actuators B: Chemical 275: 50-60.

Yzquierdo-Alvarez, M. E. Y., C. F.Ortiz-García, and J. A. Rincón-Ramírez. 2021. Detection of Huanglongbing of citruses (Citrus sp.) through Sentinel-2 satellite images in Huimanguillo, Tabasco, Mexico. Agro Productividad 14(12):119-126.

Zhao, H., R. Sun, U. Albrecht, C. Padmanabhan, A. Wang, M. D. Coffey *et al*. 2013. Small RNA profiling reveals phosphorus deficiency as a contributing factor in symptom expression for citrus Huanglongbing disease. Mol. Plant 6:301-310.

DESINFECCIÓN DE SEGMENTOS NODALES Y PRODUCCIÓN *in vitro* DE YEMAS AXILARES DE LIMÓN PERSA

Humberto José Estrella Maldonado[1*], Jesús Roberto Mora Solís[2], Cynthia Rodríguez Quibrera[1], Santiago Domínguez Monje[1], Felipe Roberto Flores de la Rosa[1], Ricardo Santillán Mendoza[1] y Cristian Matilde Hernández[1]

Resumen

En el presente trabajo de investigación abarca el establecimiento *in vitro* de segmentos nodales de limón Persa utilizando un protocolo de desinfección, así como la elaboración de medios de cultivos enriquecidos con diferentes concentraciones de fitohormonas para la producción de yemas axilares. El diseño experimental consistió en recolectar varetas de limón Persa (*Citrus x latifolia* Tan.*)* para someterlas a procesos de desinfección mediante lavados con Tween 20, limpieza con distintas concentraciones de cloro + solución de bactericida (Terra Oxitetraciclina) + solución de fungicida (Amistar), para posteriormente sembrar *in vitro* los segmentos nodales obtenidos en medios de cultivo Murashige y Skoog (MS) suplementados con dos antibióticos (Formicina y Rifampicina) y un fungicida (Clorotalonil). Asimismo, con la finalidad de producir yemas axilares, los segmentos nodales sin indicios de contaminación fueron sembrados en medios de cultivo MS enriquecidos con dos tipos de citocininas (6-BAP y Kinetina) bajo distintas concentraciones. Los resultados demostraron que las varetas sumergidas en 20% de cloro durante 15 min en el proceso de desinfección y al sembrar los segmentos nodales en medio de cultivo MS suplementado con 2 mg/L de Rifampicina (Tratamiento 6) fue adecuado para obtener un 35% de desinfección. Sin embargo, cuando al Tratamiento 6 se le adicionó el fungicida Clorotalonil, fue trascendente para que el 52% de los segmentos nodales no presentaran indicios de contaminación *in vitro*. El medio de cultivo MS enriquecido con 6-BAP (0.5 mg L^{-1}) + Kinetina (0.5 mg L^{-1}) demostró ser la mejor combinación para lograr que el 80%

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CIR Golfo Centro, Campo Experimental Ixtacuaco, Km 4.5 carretera federal Martínez de la Torre – Tlapacoyan, Cong. Rojo Gómez, CP. 93650, Tlapacoyan, Veracruz, México. *Autor para correspondencia: estrella.humberto@inifap.gob.mx

[2] Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. Carretera Huejutla - Chalahuiyapa S/N, Tepoxteco, C.P. 43000, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México.

de los segmentos nodales promovieran de 1 a 2 yemas axilares en un periodo de 30 días. Actualmente, no se han establecido protocolos eficientes para realizar procesos de desinfección y/o producción de yemas axilares en material vegetal de limón Persa, por tal motivo, el presente trabajo sirve de base para promover la correcta desinfección utilizando como explantes varetas de limón Persa, así como el medio adecuado para que los segmentos nodales produzcan yemas axilares bajo condiciones controladas *in vitro,* los cuales son procesos necesarios para el saneamiento de limón Persa utilizando la técnica de microinjerto de ápices caulinares *in vitro*.

Palabras clave: *Citrus x latifolia*, banco de germoplasma, citocininas, microinjerto

Introducción

En México, los cítricos son un producto agrícola que forman parte de la dieta habitual de los mexicanos, debido a que representan una fuente importante de vitamina C, pectina, terpenos, flavonoides, entre otros componentes, incidiendo positivamente en la salud del consumidor (Bastías y Cepero, 2016). Referente al limón Persa (*Citrus x latifolia* Tan.*),* México se ha posicionado como el segundo productor de este cultivo a nivel mundial (SIAP, 2018), siendo Veracruz el principal productor y exportador (SADER, 2021). Además, el limón Persa es el cultivar de mayor demanda por Estados Unidos, siendo México su principal exportador, con una participación del 98% de las importaciones (Arias y Suárez, 2016). Sin embargo, el limón Persa se ve afectado por enfermedades producidas por bacterias, virus, hongos, micoplasmas y otros organismos similares, los cuales producen importantes pérdidas económicas en el cultivo citrícola a nivel mundial (Navarro, 1979). En este contexto, la citricultura nacional ha venido enfrentando nuevos retos y amenazas relacionados a problemas fitosanitarios que ponen en riesgo la citricultura nacional; como son la presencia del Huanglongbing (HLB), Virus de la Tristeza de los Cítricos (VTC), enfermedades vasculares devastadoras que no tienen cura, así como la presencia de enfermedades causadas por hongos como *Lasiodiplodia* y el disturbio genético conocido como Wood Pocket, ocasionando una disminución de su rendimiento y productividad, conduciendo a su mortandad con el paso del tiempo.

Para solucionar esta problemática, el cultivo de tejidos vegetales (CTV) representa una herramienta biotecnológica muy valiosa que permite a través del saneamiento vegetal, la posibilidad de micropropagar plantas libres de patógenos de forma masiva, así como también establecer bancos de germoplasma cuya finalidad es resguardar *in vitro* especies vegetales que debido a catástrofes naturales y/o enfermedades se pueden ir perdiendo (Pérez-Tornero *et al.,* 2010). En este sentido, la técnica de microinjerto *in vitro* de ápices caulinares es comúnmente utilizada para el saneamiento de brotes, rejuvenecimiento de material vegetal (Figueroa *et al.,* 2000) y ha resultado ser eficaz para eliminar patógenos sistémicos en cítricos (Navarro, 1983; Navarro *et al.,* 1991; Navarro y Juárez, 2005; Fan *et al.,* 2013). Por lo tanto, esta técnica es efectiva para la obtención de plantas libres de patógenos transmisibles por injerto y para garantizar la sanidad vegetal (Navarro, 1979). Sin embargo, para realizar la técnica de microinjerto *in vitro* de ápices caulinares, es necesario establecer asépticamente segmentos nodales obtenidos de las varetas y adecuar las condiciones necesarias para realizar exitosamente la técnica del microinjerto (Navarro y Juárez, 2005; Navarro, 1983), desafortunadamente, a la fecha no existe un protocolo establecido de desinfección para la obtención de segmentos nodales asépticos bajo condiciones controladas *in vitro*, el cual es un paso crucial para el saneamiento de los cítricos. Además, aún falta estandarizar los medios de cultivos óptimos con la finalidad de producir yemas axilares *in vitro* mediante el uso de diferentes medios de cultivo enriquecidos con Kinetina y 6-BAP. Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo: 1) realizar un protocolo de desinfección a partir de varetas de limón Persa con la finalidad de establecer la asepsia de los segmentos nodales producidos bajo condiciones *in vitro,* y 2) estandarizar el medio de cultivo MS suplementado con diferentes concentraciones de citocininas (Kinetina y 6-BAP), necesarios para inducir yemas axilares a partir de los segmentos nodales introducidos *in vitro*. Este trabajo de investigación es la base para realizar posteriormente las técnicas de microinjerto de ápices caulinares, las cuales son necesarias para el saneamiento del limón Persa. El resultado de la investigación trascenderá a mediano plazo en el establecimiento de un Banco de Germoplasma de cítricos con la finalidad de preservar la diversidad citrícola de importancia agronómica, así como asegurar material vegetal 100% libre de enfermedades.

Materiales y Métodos

Ubicación Experimental

El trabajo en campo se realizó en la parcela experimental de cítricos del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en las coordenadas 20° 2´ 35.48" N y 97° 5´ 52.60" W. El trabajo *in vitro* se realizó en el laboratorio de Diagnóstico fitosanitario del CEIXTA, en el área destinada al Cultivo de tejidos vegetales.

Colecta y traslado del material vegetal

Fueron seleccionados un total de 25 árboles de limón Persa de cinco años de edad injertados sobre el portainjerto Citrumelo Swingle. Estos árboles fueron seleccionados basados en la alta demanda por parte del productor debido a sus excelentes características organolépticas y producción frutal. Asimismo, con ayuda de pinzas de podar (desinfectadas con cloro comercial al 20%), fueron cortadas un mínimo de 20 varetas con una longitud de 10 a 15 cm por cada árbol de limón Persa. Seguidamente, para evitar la deshidratación de las varetas durante su traslado, fueron almacenadas en papel humedecido dentro de bolsas de polietileno estériles. Las bolsas con las varetas fueron resguardadas en hielera provistas de geles congelados para mantener una temperatura cercana a 4°C hasta su traslado al laboratorio del CEIXTA.

Desinfección de varetas

Etapa 1. Bajo condiciones de laboratorio, se realizó el proceso de desinfección con la finalidad de eliminar contaminantes y/o insectos que pudieran tener las varetas traídas de campo. Antes de comenzar el proceso de desinfección, las varetas fueron defoliadas dejando únicamente parte del peciolo de la hoja, con la finalidad de proteger las yemas axilares. El proceso de desinfección consistió en lavar las varetas con agua de grifo durante 5 min y realizar lavados con jabón suave en tres repeticiones, seguidamente, las varetas fueron enjuagadas en agua destilada estéril y sumergidas en solución de Tween® 20 al 5% durante 10 min, para luego ser enjuagadas con agua destilada estéril en tres repeticiones. Posteriormente, las varetas fueron sumergidas en solución de bactericida (Terra oxitetraciclina, 0.06 g/L) durante 1 hora y después en solución de fungicida sistémico (Amistar, 2 mL/L) durante 1 hora. Transcurrido el tiempo, las varetas fueron enjuagadas en agua destilada estéril y se dejaron reposar durante 5 min en papel estéril.

Etapa 2. Concluido el proceso anterior, se procedió a trasladar las varetas en campana de flujo laminar, asimismo, con la finalidad de minimizar el número de contaminantes (principalmente bacterias y hongos), las varetas fueron expuestas a diferentes concentraciones de cloro (10, 15 y 20%) durante 15 min (Cuadro 1). Al finalizar los 15 min de exposición con el agente desinfectante (cloro), las varetas fueron enjuagadas en agua destilada estéril durante 5 min y sumergidas en solución de alcohol al 75% durante 10 min, después fueron nuevamente enjuagadas en agua destilada estéril durante 5 min para eliminar restos del alcohol. Finalmente, las varetas fueron seccionadas en segmentos de 5 a 8 cm (segmentos nodales) y se dejaron secar en papel absorbente estéril durante 5 min hasta su siembra bajo condiciones *in vitro*.

Desinfección de segmentos nodales bajo condiciones *in vitro*

Los segmentos nodales fueron sembrados en el siguiente medio de cultivo: 4.43 g/L de sales MS (Murashige y Skoog, 1962) y 20 g/L de sacarosa. El pH del medio de cultivo fue ajustado a 5.8 con NaOH o HCl (1N) y se adicionó 8 g/L de agar para su correcta solidificación. El medio de cultivo fue esterilizado en autoclave durante 20 min a 121ºC. Antes de la solidificación del medio, se adicionó dos antibióticos (Formicina: 2 mg/L y Rifampicina: 2 g/L) para reducir contaminación bacteriana. De esta manera, se realizaron diferentes tratamientos de desinfección *in vitro* como se describe a continuación: Tratamiento Control 1 (C1: cloro al 10% durante 15 min), Tratamiento Control 2 (C2: cloro al 15% durante 15 min), Control 3 (C3: cloro al 20% durante 15 min), Tratamiento 1 (T1: cloro al 10% durante 15 min + Formicina), Tratamiento 2 (T2: cloro al 15% durante 15 min + Formicina), Tratamiento 3 (T3: cloro al 20% durante 15 min + Formicina), Tratamiento 4 (T4: cloro al 10% durante 15 min + Rifampicina), Tratamiento 5 (T5: cloro al 15% durante 15 min + Rifampicina), Tratamiento 6 (T6: cloro al 20% durante 15 min + Rifampicina) (Cuadro 1). Con la finalidad de reducir la contaminación por hongos, se realizó un tratamiento adicional nombrado T7, que consistió en usar un lote de segmentos nodales previamente desinfectados con 20% de cloro durante 15 min, pero se le adicionó Rifampicina (2 mg/L) y el fungicida Clorotalonil (1 mL/L) al medio de cultivo antes de la solidificación (Cuadro 1). Finalmente, los segmentos nodales sembrados fueron sembradas en tubos de ensayo (1 segmento nodal por tubo) y colocados dentro de cuartos de crecimiento bajo las siguientes condiciones: T = 25ºC, PPFD = 32 µmol/m/s y fotoperiodo de 16 h suministrado por lámparas fluorescentes blancas. Finalmente se realizaron dos resiembras en

el mismo medio de cultivo cada 15 días hasta completar 30 días de establecimiento bajo condiciones *in vitro*.

Producción de yemas axilares (injerto)

Después de 30 días, fue analizado el porcentaje de contaminación de los segmentos nodales bajo condiciones *in vitro*. Asimismo, los segmentos nodales que no presentaron indicios de contaminación fueron sembrados en nuevos medios de cultivo (como se describió anteriormente) pero suplementados con fitohormonas como 6-BAP y Kinetina con la finalidad de mejorar la producción de yemas axilares. Los diferentes tratamientos para producir yemas a partir de los segmentos nodales se describen a continuación: tratamiento control 1 (C1: medio de cultivo MS), tratamiento 1 (T1: medio de cultivo MS + 0.5 mg/L 6-BAP), tratamiento 2 (T2: medio de cultivo MS + 0.5 mg/L Kinetina), tratamiento 3 (T3: medio de cultivo MS + 0.25 mg/L 6-BAP + 0.25 mg/L Kinetina) y tratamiento 4 (T4: medio de cultivo MS + 0.5 mg/L 6-BAP + 0.5 mg/L Kinetina), como se indica en el Cuadro 2.

Resultados y Discusión

A lo largo de los años, se han descrito varios métodos de saneamiento para producir plantas *in vitro,* todos con el mismo fin, optimizar el proceso y aumentar el porcentaje de éxito de plantas saneadas. El CEIXTA, cuenta actualmente con un banco de germoplasma (BG) el cual alberga una gran variedad de cítricos rescatados en la región, así como introducidas de Estados Unidos de Norteamérica. Entre los cítricos que se conservan en el BG son: diferentes clones de limón persa, naranjas, mandarinas, toronjas, así como una gran variedad de diferentes portainjertos. Todas estas variedades introducidas al BG del CEIXTA fueron seleccionadas por su importancia agronómica para los productores, sin embargo, no todos los materiales introducidos al BG se encuentran certificados en los Lotes de Fundación, por lo anterior, en la última década, el CEIXTA ha realizado esfuerzos para sanear mediante técnicas de microinjerto y termoterapia diferentes variedades y/o clones de limón Persa con la finalidad de introducirlos al BG y multiplicarlos en el lote fundación.

Por tal motivo, el presente trabajo pretende realizar el establecimiento de los segmentos nodales *in vitro* y lograr un número de adecuado de yemas axilares por segmento nodal, los

cuales son procesos necesarias para poder llevar acabo posteriormente la técnica de microinjerto *in vitro* de ápices caulinares y termoterapia, de esta manera, los nuevos clones de limón Persa libres de enfermedades, podrán ser introducidos al BC y se facilitará el abastecimiento y su comercialización en la región del Golfo centro del país.

Protocolo de desinfección

Los resultados mostraron que los segmentos nodales provenientes de varetas desinfectadas con cloro al 10, 15 y 20%, al ser sembrados en medios de cultivo sin la presencia de antibióticos, mostraron un 100% de contaminación a los 30 días de siembra *in vitro*. De igual forma, los segmentos nodales provenientes de varetas desinfectadas con cloro al 10, 15 y 20%, pero con la adición del antibiótico Formicina (Tratamientos T1, T2 y T3), mostraron un alto porcentaje de contaminación (entre 74 y 79%). Interesantemente, cuando al medio de cultivo se le adicionó el antibiótico Rifampicina se mostró un menor porcentaje de contaminación. Los resultados demostraron que las varetas desinfectadas con 20% de cloro durante 15 min durante el proceso de desinfección y la subsecuente siembra *in vitro* de los segmentos nodales en medio MS suplementado con 2 mg/L de Rifampicina (T6) resultó ser el mejor tratamiento para lograr un 35% de desinfección (Cuadro 1). Sin embargo, cuando el antibiótico es adicionado al medio de cultivo, la contaminación bacteriana disminuyó (T1-T6) pero la contaminación por hongos siguió persistente. Por tal motivo, se decidió realizar un último tratamiento (T7) el cual consistió en realizar los mismos pasos del Tratamiento 6 pero adicionado 1 ml/L del fungicida Clorotalonil al medio de cultivo (Tratamiento 7: T7), lo anterior, con la finalidad de reducir la contaminación bacteriana y fúngica. Así, los segmentos nodales sembrados en este medio de cultivo mostraron un 52% de desinfección, en un periodo de 30 días bajo condiciones *in vitro* (Cuadro 1).

Como se puede observar en la Figura 1, cuando no se aplica bactericida en el medio de cultivo, la principal contaminación de los segmentos nodales en los tratamientos Control fue por bacterias y hongos. Sin embargo, la adición de ambos fungicidas redujo la contaminación bacteriana. La principal contaminación de los segmentos nodales fue por hongos.

Cuadro 1. Protocolo de desinfección en segmentos nodales de limón Persa.

Tratamiento	Código	Cloro (15 min)	Formicina	Rifampicina	Clorotalonil	Contaminación
Control 1	C1	10%	-	-	-	100%
Control 2	C2	15%	-	-	-	100%
Control 3	C3	20%	-	-	-	100%
Tratamiento 1	T1	10%	+	-	-	79.31%
Tratamiento 2	T2	15%	+	-	-	75.64%
Tratamiento 3	T3	20%	+	-	-	74.09%
Tratamiento 4	T4	10%	-	+	-	69.84%
Tratamiento 5	T5	15%	-	+	-	67.56%
Tratamiento 6	T6	20%	-	+	-	65.09%
Tratamiento 7	T7	20%	-	+	+	48.16%

(-) sin aplicación; (+) con aplicación.

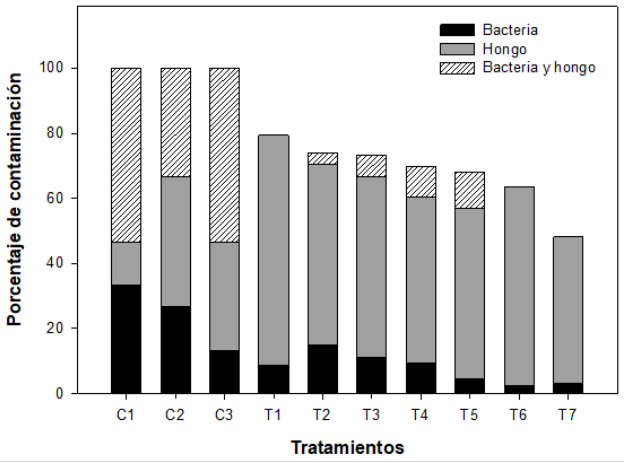


Figura 1. Porcentaje de contaminación por hongos, bacterias o ambos, en segmentos nodales *in vitro* de limón Persa expuestos en diferentes tratamientos de desinfección durante 30 días.

Diferentes autores han descrito que los aspectos de mayor importancia para el éxito de una producción de cítricos bajo condiciones controladas *in vitro* se basan en la selección adecuada de los portainjertos (Curti-Díaz, 1996) y de un protocolo eficiente de desinfección de explantes provenientes de campo, vivero y/o invernaderos (Méndez-Jiménez *et al.,* 2020). Sin embargo, actualmente no existe un protocolo de desinfección establecido para la obtención de explantes asépticos, además, bajo condiciones naturales de campo, los cítricos presentan un elevado grupo microorganismos parásitos que conducen al desarrollo de plagas y enfermedades,

causadas principalmente por bacterias, hongos y virus. Aunado a lo anterior, los pocos brotes (yemas) que se logran obtener, presentan problemas de defoliación, y a pesar que se puede controlar mediante la aplicación de $AgNO_3$, la longitud de los brotes no se desarrolla adecuadamente para ser utilizados como fuente de explantes (Méndez *et al.,* 2020).

En un trabajo realizado por Varela (2015), ha descrito el saneamiento de 35 diferentes variedades de cítricos, incluido el limón Persa, el proceso de desinfección realizado consistió en cortar las varetas en segmentos de aproximadamente 3 cm y sumergirlas por inmersión durante dos minutos en cloro al 70%, estos segmentos nodales fueron sumergidos en diferentes soluciones de $NaClO_2$ durante diferentes tiempos de exposición y fueron tratados en solución de bactericida (Oxitetraciclina; 2.0 g/L) y fungicida (Amistar; 2.0 g/L) durante 1 hr, sin embargo, el autor reportó una alta contaminación, así como la muerte de los segmentos nodales bajo condiciones *in vitro* debido a la presencia de un gran número de contaminantes y al poco tiempo de inmersión del material vegetal en la solución de $NaClO_2$. Por otra parte, García (2018), reportó un alto índice de contaminación en segmentos nodales de limón Persa introducidos *in vitro,* de los cuales, el 20% correspondió a hongos y el 10% a bacterias. En otro estudio, Herrera-Flores *et al.* (2017) reportaron un protocolo para el establecimiento de segmentos nodales de limón Persa bajo condiciones *in vitro,* e indicaron un bajo porcentaje de asepsia (34%). La desafección del material vegetal es una actividad complicada debido a que las varetas traídas directamente de campo se encuentran infectadas con hongos, bacterias, es por ello que tienen que pasar por un proceso de desinfección. Aunque algunos trabajos presentan un protocolo a seguir, la mayoría no están estandarizados debido a lo difícil de su establecimiento. Los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación coinciden con los reportados al encontrar altos porcentajes de contaminación durante el proceso de desinfección de segmentos nodales en limón Persa. De esta forma, creemos que, aunque el uso de herramientas de cultivo de tejidos es una alternativa viable para la micropropagación de limón Persa, el gran número de microorganismos presentes en los explantes provenientes de campo, limita su establecimiento *in vitro*. Por tanto, es necesario seguir realizando investigación que nos permita reducir la contaminación bacteriana y fúngica, sin embargo, obtuvimos un 52% de segmentos nodales sin indicios de contaminación, mismos que se encuentran establecidos bajo condiciones controladas *in vitro* en el área de cultivo de tejidos vegetales en el laboratorio del CEIXTA.

Producción de yemas axilares

Los resultados indicaron que el medio de cultivo MS sin citocininas (Tratamiento Control) mostró un bajo porcentaje de producción de yemas axilares (16%), sin embargo, cuando el medio fue enriquecido con 0.5 mg/L de 6-BAP y con 0.5 mg/L Kinetina (T1-T2), aumenta la producción de yemas axilares (52 y 56% respectivamente) (Cuadro 2). Inesperadamente, cuando al medio de cultivo MS fue enriquecido con bajas concentraciones de 6-BAP (0.25 mg/L) + Kinetina (0.25 mg/L) (T3) se observó una baja producción de yemas axilares (32%), sin embargo, cuando se enriqueció con altas concentraciones de ambas citocininas [6-BAP (0.5 mg/L) + Kinetina (0.5 mg/L] (T4), el 80% de los segmentos nodales promovieron de 1 a 2 yemas axilares en 30 días bajo condiciones *in vitro* (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medio de cultivo MS enriquecido con diferentes concentraciones de citocininas para inducir la producción de yemas axilares.

Tratamiento	Código	6-BAP (mg/L)	Kinetina (mg/L)	Producción de yemas axilares (%)
Control	C	-	-	16
Tratamiento 1	T1	0.50	-	52
Tratamiento 2	T2	0.50	-	56
Tratamiento 3	T3	0.25	0.25	32
Tratamiento 4	T4	0.50	0.50	80

Para evaluar la producción de yemas axilares, Varela (2015) utilizó dos diferentes medios de cultivo enriquecidos con 6-BAP (6-Bencilaminopurina) y Kinetina (0.5 mg/L y 1 mg/L), sus resultados indicaron la muerte de meristemos debido a la alta contaminación de microrganismos que limitó el desarrollo de las yemas axilares bajo condiciones *in vitro*. Asimismo, García (2018), reportó que segmentos nodales de limón Persa sembrados en medio de cultivo MS enriquecido con 6-BAP (1 mg/L) y Ácido Indol Acético (0.5 mg/L) produjeron un mayor número de yemas axilares *in vitro* (brotes), sin embargo, no fue significativa la diferencia en el número de yemas axilares producidas en relación con los otros tratamientos, esta variable fue relacionado a la desdiferenciación celular causada por la interacción de las citoquininas con las auxinas. Por otra parte, Herrera-Flores *et al.* (2017) reportó que lograron obtener un 42% de brotación de las yemas axilares a los 15 días después de su establecimiento cuando

usaron una combinación de 1 mg/L^{-1} de 6-BAP y 0.5 mg/L de Ácido Naftalen-Acético (ANA), obtenido 1.2 yemas axilares por explante. Como se puede observar, en la mayoría de los estudios utilizan citocininas como 6-BAP y Kinetina, así mismo de auxinas como AIA y ANA con la finalidad de producir un mayor número de yemas axilares bajo condiciones *in vitro* utilizando como explantes segmentos nodales. En nuestros resultados sembrar los segmentos nodales durante 30 días (2 resiembras) en medio de cultivo MS enriquecido con 6-BAP (0.5 mg/L) + Kinetina (0.5 mg/L) fue suficiente para que el 80% de los segmentos nodales produjeron al menos 1 yema axilar, por tanto, este medio de cultivo es promisorio para emplearlo en diferentes sistemas de propagación en limón Persa (Figura 2).

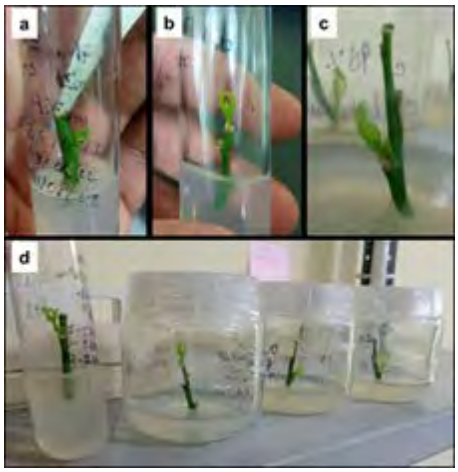


Figura 2. Producción de yemas axilares *in vitro* obtenidos de segmentos nodales de limón Persa. a-c) yemas producidas de los tratamientos T1-T3. d) yemas producidas con el tratamiento T4 (0.5 mg/L 6-BAP + 0.5 mg/L Kinetina

En la Figura 3 se muestra el protocolo de desinfección usando como explantes varetas de limón Persa, así como el proceso de desinfección de los segmentos nodales bajo condiciones controladas *in vitro* y las yemas axilares obtenidas mediante el uso de medio de cultivo MS enriquecido con 6-BAP y Kinetina

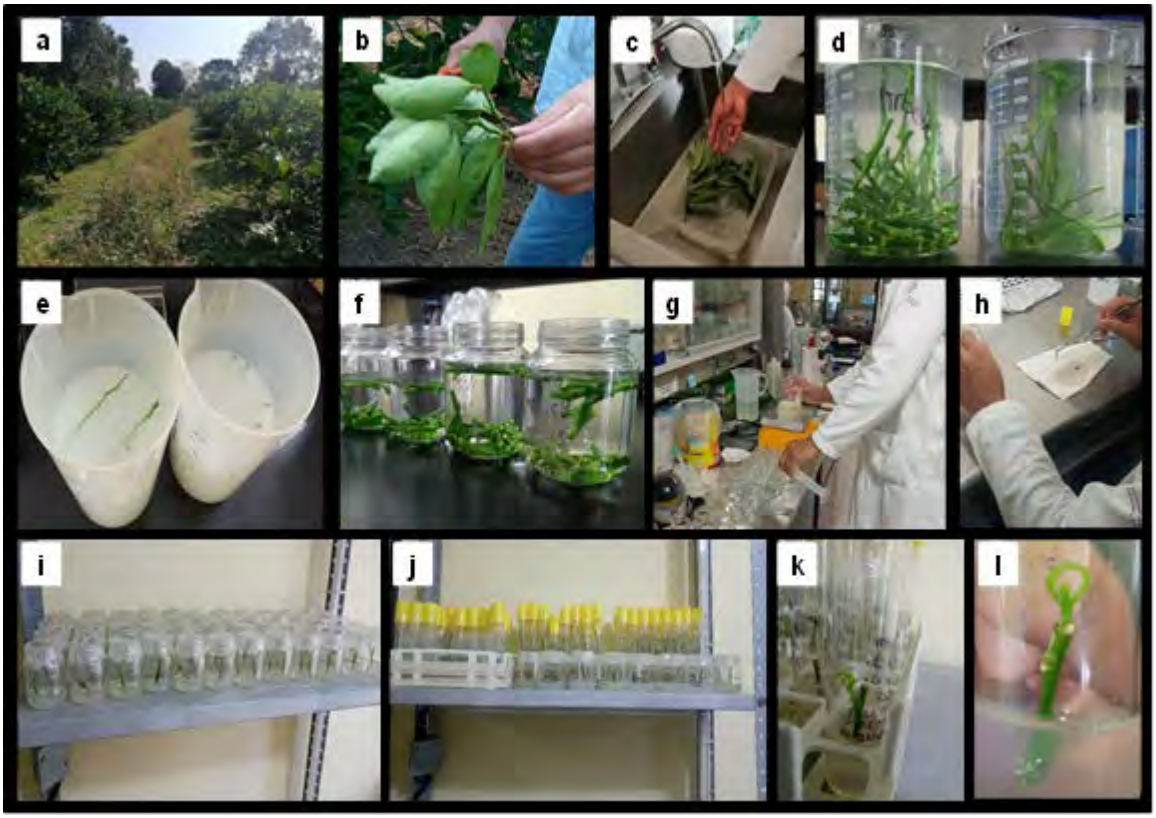


Figura 3. Protocolo de desinfección de segmentos nodales y producción *in vitro* de yemas axilares en limón Persa. a) Parcela experimental del CEIXTA. b) Corte de varetas de 10-15 cm de longitud. c-d) Proceso de desinfección de varetas. e) Varetas tratadas con fungicida y bactericida. f) Desinfección de varetas con diferentes concentraciones de cloro. g) Preparación de diferentes medios de cultivo enriquecido con citocininas para la producción de yemas axilares. h) Cultivo *in vitro* de los segmentos nodales. i-j) Establecimiento *in vitro* de segmentos nodales en cuarto de cultivo. k-l) Producción de yemas axilares partir de segmentos nodales introducidos y desinfectados *in vitro* a los 30 días.

Conclusiones

Los resultados de nuestra investigación sugieren que es necesario desarrollar nuevas estrategias que nos permita reducir el crecimiento de los contaminantes en segmentos nodales de limón Persa durante su establecimiento *in vitro*. El uso de las citocininas 6-BAP y Kinetina en el medio de cultivo MS promovieron que el 80% de los segmentos nodales libres de contaminantes produjeran de 1 a 2 yemas axilares. Este protocolo de desinfección y producción de yemas axilares nos permitirá llevar a cabo el saneamiento de diversas variedades de limón Persa utilizando la técnica de microinjerto *in vitro* de ápices caulinares.

Agradecimientos

Al proyecto: Impulso para la innovación tecnológica de los cultivos de frijol, cítricos y caña de azúcar, que financió el presente trabajo de investigación.

Literatura Citada

Arias, F., y E. Suárez. 2016. Comportamiento de las exportaciones de limón persa (*Citrus latifolia* tanaka) al mercado de los Estados Unidos. Journal of Agriculture and Animal Sciences.5(2):22-32.

Bastías, J. M., e Y. Cepero. 2016. La vitamina C como eficaz micronutriente en la fortificación de alimentos. Revista Chilena de Nutrición. 43: 81-86.

Curti–Díaz, S. A. 1996. El despunte de brotes y el desarrollo del limón Persa. Agrociencia 30(3):405-409.

Fan, G., Y. Xiab, X. Lina, Z. Cai, H. Hu, X. Wang, *et al.* 2013. Evaluation of Thermotherapy against Huanglongbing (Citrus Greening) under Laboratory Condition. 3rd International Research Conference of Huanglongbing. (Abstract). Orlando, Florida. USA. February 4-7.

García, M. G. F. 2018. Saneamiento vegetativo de limón Persa (*Citrus x latifolia*) con HLB y CTV mediante meristemos apicales y termoterapia *in vitro*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Córdoba Veracruz. 69 p.

Herrera-Flores, J. R., J. H., Caamal-Velázquez, J. E., Ramírez-Benítes y M. A., Gutiérrez-Espinosa. 2017. Establecimiento *in vitro* de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) y su propagación masiva. Tesis de maestría. Campeche: Colegio de Posgraduados. 89 p.

Méndez-Jiménez, M., V. J. Caamal, N. L. Rodríguez, A. A. Vargas D., J. C. Alamilla M., M. A. Criollo C. 2020. Avances y limitantes en la micropropagación del limón persa (*Citrus* × *latifolia* Tan.). Temas de Ciencia y Tecnología. 24(72):33-40.

Murashige, T. y F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum. 15:473-497.

Navarro, L. y J. Juárez. 2005. Microinjerto de ápices caulinares de cítricos *in vitro*. Phytoma España, Sanidad Vegetal. 170:6-13.

Navarro, L., E. Civerolo, J. Juárez, y M. Garnsey. 1991. Improving therapy methods for citrus germplasm exchange. Proc. 12th Conf. IOCV. Riverside. pp. 400-408.

Navarro, L. 1979. Microinjerto de ápices caulinares *in vitro* para la obtención de plantas de agrios libres de virus. Boletín del Servicio de Plagas. 5(2):127-148.

Navarro, L. 1983. Microinjerto de ápices caulinares de cítricos *in vitro* y sus aplicaciones. Levante Agrícola. 245:19-25.

Pérez-Tornero, O. C. I. Tallo y I. Porras. 2010. An efficient protocol for micropropagation of lemon (*Citrus limon*) from mature nodal segments. Plan cell Tissue and Organ Culture. 112:101-108.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) 2021. Planeación agrícola citrícola nacional. www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257073/Potencial-C_tricos [consultado el 13 de julio de 2022]

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Producción limón por estado. Veracruz. [consultado el 9 de julio de 2022]

Varela, G.F. 2015. Establecimiento aséptico y microinjerto de explantes de cítricos certificados de importancia agronómica para el noreste de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. 81 p.

EVALUACIÓN DE NEMATICIDAS BIOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE SUELO DE VIVERO INFESTADO CON *Meloidogyne paranaensis*

Yesica González Espejo[1], Gerardo Gutiérrez García[1], Ariadna Monserrat Ortíz Melchor[1], Esteban Sayago Cirilo[1], María del Carmen Núñez Camargo[1], Daniel López Lima[1] y Dinorah Lima Rivera[1*]

Resumen

La corchosis de la raíz del cafeto causada por el nematodo agallador *Meloidogyne paranaensis,* es uno de los principales problemas fitosanitarios del cultivo de café *Coffea* spp. Su distribución ha aumentado en los últimos años en el estado de Veracruz debido a la movilización de plantas infestadas desde vivero, por lo que la desinfección del suelo utilizado para la producción de plantas de Café es un paso fundamental para disminuir la dispersión de este patógeno. En este estudio se evaluaron cinco nematicidas biológicos para el tratamiento de suelo infestado con *M. paranaensis*. Los bionematicidas se aplicaron directamente a suelo infestado contenido en bolsas de polipropileno de 20 x 20 cm en dos ocasiones, con intervalos de 15 días. Después de la segunda aplicación se sembró una planta de tomate cv Río Grande en cada bolsa para utilizarla como indicadora y evaluar la afectación por nematodos y la población de *M. paranaensis* en las raíces. El nematicida Arrecife® formulado con la bacteria *Bacillus firmus* y el hongo nematófago *Purpureocillium lilacinum* mostró la mejor supresión del agallamiento y la población de huevos en las raíces con 96% de reducción respecto al control, aunque se observaron efectos negativos en el desarrollo de las plantas. El nematicida DiTera® (extractos de *Myrothecium verrucaria*) mostró una disminución del 68% de la población y promovió significativamente el desarrollo de las plantas. El nematicida Imperium® (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Pochonia chlamydosporia* y *P. lilacinum*) redujo la infestación en 55% y también promovió el desarrollo de la planta. El fermentado de *Metarhizium* sp. y el nematicida Nematrof® (*P. lilacinum*) redujeron la infestación 35 y 26% respectivamente; pero no mostraron diferencias respecto al control no tratado. Este es el primer estudio donde se evalúan

[1] Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, 91090 Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. *lima.river@gmail.com

nematicidas biológicos para el tratamiento de suelo infestado con *M. paranaensis*. El nematicida biológico Arrecife® tienen potencial para el tratamiento de suelo de vivero y prevenir la infestación por nematodos. Asimismo, el uso de plantas de tomate como indicadoras de la infestación del suelo puede ser utilizado por los agricultores para la detección de *Meloidogyne* spp. antes del trasplante de las plantas de café.

Palabras clave: nematodo agallador, biocontrol, corchosis, manejo de plagas

Introducción

El nematodo agallador del cafeto *Meloidogyne paranaensis* es actualmente uno de los principales problemas fitosanitarios del cultivo de café (*Coffea* spp) en Latinoamérica (Villain *et al*., 2013; López-Lima *et al.,* 2020a). Este nematodo es el principal agente causal de la enfermedad conocida como corchosis de la raíz del cafeto, que se caracteriza por el desarrollo de agallas alargadas en raíces primarias y secundarias, con agrietamientos profundos en el córtex y el desarrollo de tejido con hiperplasia e hipertrofia con apariencia de corcho (López-Lima *et al.,* 2020a). En el tejido afectado se ha detectado la presencia de hongos como *Fusarium oxysporum* y bacterias como *Nocardia* spp. y *Agrobacterium* spp. que pueden estar relacionadas al engrosamiento excesivo de las raíces debido a la producción de sustancias promotoras del crecimiento (Lamelas *et al*., 2020). Las plantas afectadas no pueden nutrirse adecuadamente, provocando su muerte en un periodo de entre tres y cinco años, dependiendo del nivel de infestación y el manejo fitosanitario (Bertrand *et al.,* 2000). Las dos principales especies cultivadas de café, *C. arabica* y *C. canephora* son susceptibles a esta enfermedad, aunque, debido a su sistema radical más vigoroso y la abundante regeneración de raíces, *C. canephora* puede tolerar por más tiempo el ataque del nematodo, razón por la que se usa como portainjertos. Sin embargo, actualmente en México no hay variedades o selecciones con probada tolerancia a *M. paranaensis*. En Veracruz, este nematodo se encuentra distribuido por la región productora de café más importante de la entidad, en la zona montañosa central (López-Lima *et al*., 2015). La principal fuente de contaminación y dispersión del nematodo es el uso de sustratos infestados con huevos de *M. paranaensis* en los viveros, lo que provoca

que se distribuyan plantas infestadas (Carrión *et al*., 2016a). Se calcula que cada año se pierden hasta el 35% de plantas resembradas debido a las afectaciones causadas por este nematodo (Hernández *et al.,* 1991; Téliz-Ortíz *et al.,* 1993; INIFAP, 2015). Por lo anterior, es necesario implementar medidas de control para evitar la producción de plantas infestadas, como el tratamiento del sustrato de vivero (López-Lima *et al*., 2015). Una de las prácticas más utilizadas para mitigar la afectación por nematodos es la aplicación de nematicidas químicos (Chen *et al.,* 2020). Sin embargo, estos tratamientos no son del todo efectivos ya que la mayoría de los ingredientes activos inhiben temporalmente la eclosión de los huevos, pero no tienen actividad ovicida, para lo que es necesario aplicar dosis altas con los consiguientes problemas de contaminación (Wram y Zasada, 2019). Asimismo, se utilizan aplicaciónes de agua a punto de ebullición, aplicación de formol o solarización del suelo; sin embargo, estos métodos son poco prácticos para implementarlos a gran escala (Carrión *et al.,* 2016b). Una alternativa es el uso de microorganismos nematófagos que tienen la capacidad para penetrar la cutícula de los huevos y así disminuir la infestación, sin embargo, su uso entre los agricultores es escaso debido al desconocimiento de su efectividad (Kiewnick y Sikora, 2006; López-Llorca *et al.,* 2008; Lamovsek *et al.,* 2013; Xiong *et al.,* 2015). Por lo anterior el objetivo del presente trabajo es evaluar nematicidas biológicos para el tratamiento de suelo infestado con el nematodo agallador del cafeto *M. paranaensis* en suelo de vivero utilizando plantas de tomate como indicadoras de la infestación.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el área de invernaderos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, *campus* Xalapa. Se utilizó sustrato de vivero naturalmente infestado con *M. paranaensis* previamente identificado proveniente de la localidad de la Lagunilla, municipio de Cosautlan de Carvajal, Veracruz (López-Lima *et al*., 2015). El sustrato fue homogeneizado y colocado en bolsas de polipropileno de 20 x 20 cm. Se establecieron cinco tratamientos y un control no tratado, con cinco repeticiones y distribuidos en un diseño completamente al azar. Los tratamientos consistieron en la aplicación de cinco nematicidas biológicos a la dosis indicada por el fabricante disueltos en 100 mL de agua corriente a cada

maceta con suelo infestado (Cuadro 1). Las aplicaciones se realizaron en dos ocasiones con intervalos de 15 días. Debido a que la detección de huevos de *Meloidogyne* en suelo no es un parámetro confiable por la presencia de huevos de otros géneros de nematodos, se utilizaron plantas de tomate cv Río Grande con dos pares de hojas verdaderas, como indicadoras de la infestación, las cuales se trasplantaron cinco días después de la segunda aplicación de los nematicidas. A los 60 días después del trasplante (DDT), las plantas fueron retiradas de las macetas, se midió la altura de planta (cm), longitud de la raíz (cm), peso fresco de follaje y raíz (g), numero de nódulos y nivel de agallamiento (Coyne y Ross, 2014). Para calcular la población final de nematodos en la planta, las raíces se procesaron mediante la técnica de triturado en hipoclorito de sodio y tamizado-centrifugado (Carneiro *et al.,* 2004), posteriormente se contaron los huevos viables y juveniles J2 en una cámara Sedgwick-Rafter bajo el microscopio compuesto Nikon Alphaphot 2 YS2-T a 100X. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza Kruskal-Wallis y la prueba de comparaciones múltiples en el programa Statistica 12.

Cuadro1. Nematicidas biológicos evaluados para el tratamiento de suelo infestado con *Meloidogyne paranaensis.*

Nombre comercial y fabricante	Composición	Dosis aplicada a cada maceta*
Arrecife® AMVAC	*Purpureocillium lilacinum* 3.5% ($3x10^9$ UFC g^{-1}) *Bacillus firmus* 2.6% ($5x10^8$ UFC g^{-1}) Inertes 94%	1.5 g
DiTera® Valent	Metabolitos de la fermentación de *Myrothecium verrucaria* 90% Inertes 10%	2.5 g
Imperium® CollecTara	*Bacillus amyloliquefaciens* ($2x10^8$ UFC g^{-1}) *Purpureocillium lilacinum* ($1x10^7$ UFC g^{-1}) ($2x10^8$ UFC g^{-1}) Ácidos orgánicos 35%	1.5 g
NA[a]	Fermentado de *Metharhizium* sp. 100% ($1x10^6$ UFC mL^{-1})	1 mL
Nematrof® Bioproductora de Jardínes Sostenibles	*Purpureocillium lilacinum* 30% ($1x10^{10}$ UFC) Zeolita 70%	0.25 g

* La dosis de cada nematicida se aplicó en 100 mL de agua corriente en cada maceta. [a] No aplica, el fermentado fue elaborado en el Laboratorio de Parasitología y Control Biológico de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana con una cepa aislada de suelo de cultivo de caña de azúcar.

Resultados y Discusión

Las plantas de tomate presentaron diferencias en el desarrollo, la afectación a la raíz por *Meloidogyne* y la población final de nematodos. En general, las plantas sembradas en el suelo tratado con DiTera® presentaron mayor desarrollo en todas las variables evaluadas, en contraste con las plantas sembradas en el suelo tratado con Arrecife® que tuvieron escaso desarrollo. La altura de las plantas sembradas en el suelo tratado con DiTera® fue significativamente mayor (H= 27.63, p= 0.0001) que en las plantas sembradas con Arrecife®, *Metarhizium* sp., Nematrof® y en el suelo no tratado. Asimismo, las plantas del tratamiento DiTera® presentaron un peso fresco del follaje significativamente (H= 29.78, p= 0.0001) mayor a las plantas tratadas con Arrecife®, *Metarhizium* sp., Nematrof® y el suelo no tratado (Cuadro 2). La longitud de raíz fue significativamente (H= 14.33, p= 0.0122) mayor en las plantas sembradas en el suelo tratado con DiTera® en comparación con las plantas cultivadas en el suelo con aplicación de Arrecife®, Nematrof® y las no tratadas (Figura 1). De igual manera, el peso de la raíz fue significativamente (H= 26.69, p=0.0001) mayor en las plantas sembradas en el suelo tratado con DiTera® respecto a todos los tratamientos excepto el control (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variable de crecimiento evaluadas en las plantas de tomate sembradas en suelo infestado con *Meloidogyne paranaensis.*

Tratamiento	Altura (cm)	Peso follaje (g)	Longitud de raíz (cm)	Peso de raíz (g)
Arrecife	9.3 c	0.11 d	13.6 b	0.01 c
DiTera	48 a	25.1 a	26 a	5.5 a
Imperium	32.3 ab	5.07 ab	18.3 ab	1.2 b
Metarhizium sp.	23.6 b	2.6 bc	19.3 ab	1.07 b
Nematrof	23.6 bc	2.2 cd	15.3 b	0.4 bc
Control	25.3 b	2.8 bc	14.6 b	1.03 ab
Estadístico	H= 27.63, p= 0.0001	H= 29.78, p=0.0001	H= 14.33, p= 0.0122	H= 26.69, p= 0.0001

Las plantas sembradas en el suelo tratado con Arrecife® presentaron las raíces con la menor afectación por nematodos, sin daños visibles (Figura 1a) y una agalla por raíz en promedio (Figura 2a).

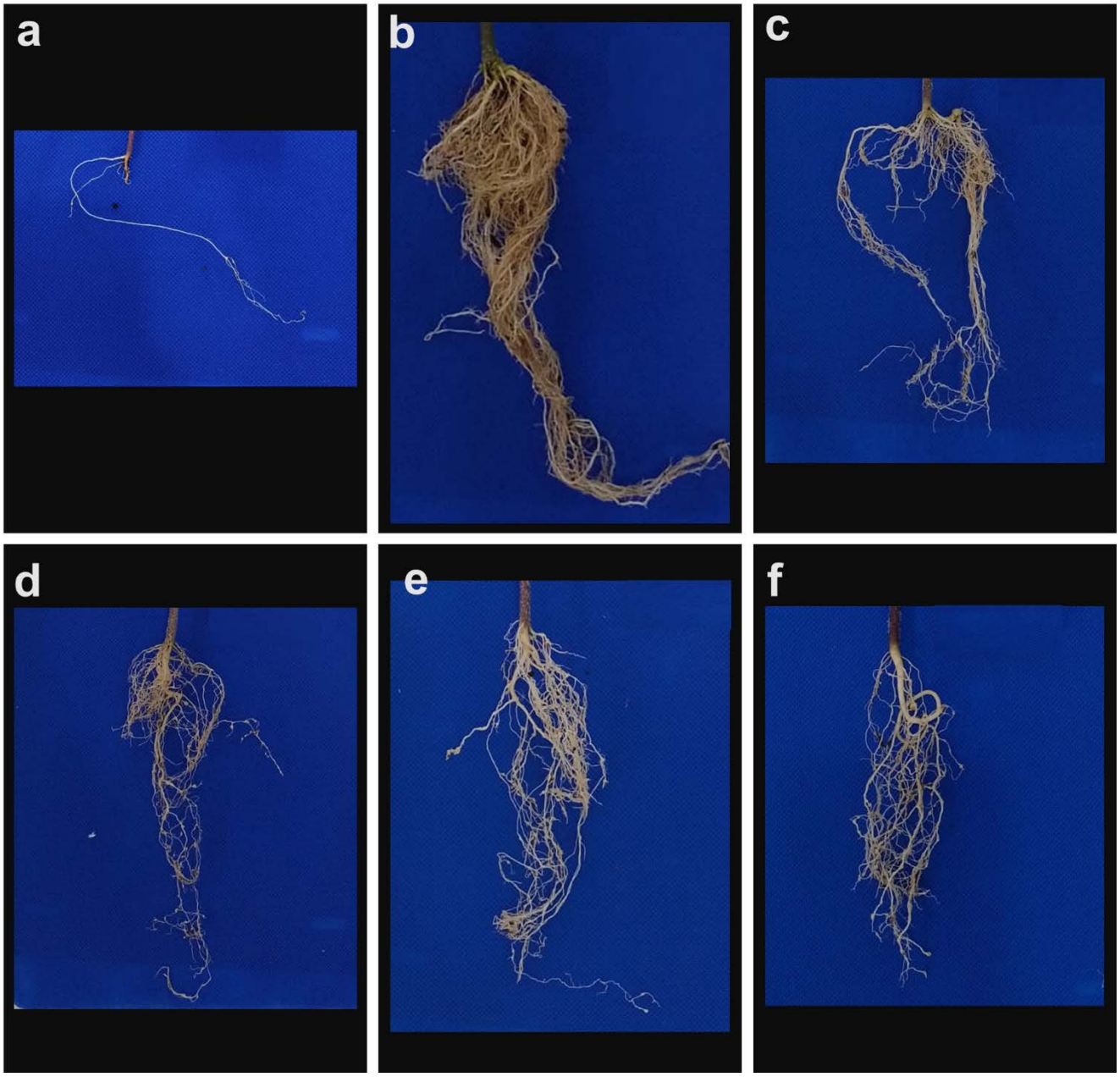


Figura 1. Raíces de las plantas de tomate sembradas en suelo infestado con *Meloidogyne paranaensis* tratado con diferentes nematicidas biológicos a) Arrecife®, b) DiTera®, c) Imperium® d) *Metarhizium* sp. e) Nematrof® y d) control no tratado.

Las plantas sembradas en el suelo tratado con DiTera® e Imperium® presentaron un nivel de agallamiento de nulo a ligero y 28 y 43 agallas respectivamente (Figura 1b, 1c; Figura 2 b). En contraste, las plantas sembradas en el suelo tratado con *Metarhizium* sp., Nemtrof® y en el suelo no tratado presentaron un nivel de agallamiento de ligero a medio (Figura 1d, 1e y 1f) y presentaron entre 62 y 100 agallas por raíz en promedio (Figura 2b). Asimismo, la menor

población de huevos y juveniles J2 de *M. paranaensis* se registró en las raíces del tratamiento Arrecife® (Figura 2c) con una infestación relativa del 3.6%, seguido de DiTera® e Imperium® con 33 y 45% de infestación respectivamente. En contraste, los tratamientos *Metarhizium* sp. y Nematrof® presentaron más del 60% de infestación respecto a las plantas sembradas en el suelo no tratado, que presentaron la mayor población final de huevos y J2 (Figura 2d).

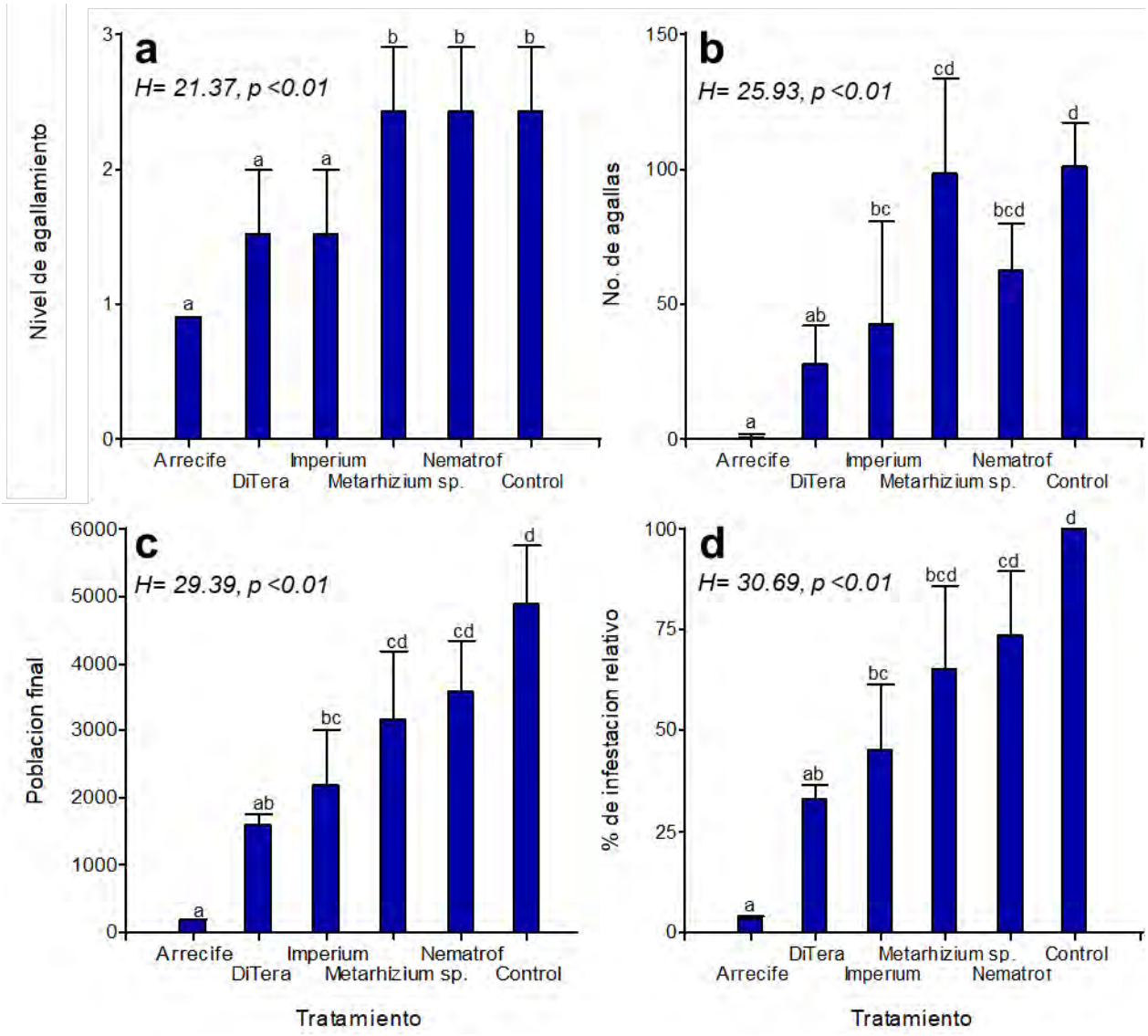


Figura 2. Afectación de *Meloidogyne paranaensis* a raíces de tomate sembradas en suelo naturalmente infestado y tratado con nematicidas biológicos a) nivel de agallamiento, b) número de agallas, c) población final de huevos y juveniles J2 en la raíz y d) porcentaje de infestación relativo al control. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos después de un análisis de varianza Kruskal-Wallis y la prueba de comparaciones múltiples p≤ 0.01.

Meloidogyne paranaensis en una de las principales amenazas para el cultivo de café y es considerado una especie emergente debido su alta patogenicidad y a su constante dispersión a nuevas zonas y cultivos (Elling, 2013). Actualmente existen pocos estudios donde se exploren métodos de control para disminuir la afectación en los viveros por este nematodo, además existen pocas opciones de nematicidas químicos para el tratamiento de suelo de vivero contaminado. Este es el primer estudio donde se evalúan nematicidas biológicos como estrategia para el tratamiento del suelo de vivero infestado con *M. paranaensis*. En este trabajo, la aplicación de la formulación con *P. lilacinum* y *B. firmus* (Arrecife®) presentó la mayor actividad nematicida en todos los parámetros evaluados. Ambos microorganismos tienen capacidad ovicida ya que logran degradar y colonizar huevos, lo que explica el daño mínimo a las raíces de los tomates evaluados en este experimento. Los resultados coinciden con otros trabajos con aplicación *B. firmus* donde se reduce el índice de agallamiento, así como la población en 50% y, con aplicaciones de *P. lilacinum,* donde la población de huevos y juveniles J2 en raíz se reduce hasta 61% (Viljoen *et al*., 2019; Dahlin *et al.,* 2019; Ghahremani *et al*., 2020). Por otro lado, aunque las plantas sembradas en el suelo tratado con Arrecife® presentaron menor afectación por agallamiento y menor población de *Meloidogyne*, también presentaron menor desarrollo (Cuadro 2, Figura 1a). En otros estudios se ha reportado que la aplicación de *B. firmus* puede causar fitotoxicidad en plántulas de tomate (Terefe *et al.,* 2009), es posible que la dosis de la formulación utilizada en este experimento tenga efectos fitotóxicos, lo que limitó el desarrollo de las plantas, es necesario realizar estudios para determinar la dosis adecuada de esta formulación para el tratamiento pretrasplante de suelos infestados.

La aplicación de los metabolitos de la fermentación de *M. verrucaria* (DiTera®) redujo la infestación de las plantas de tomate en 68%. En otros estudios, la aplicación de este nematicida reduce hasta en 86% el agallamiento en plantas de remolacha infestadas con *Meloidogyne incognita* (Hagag, 2021). Asimismo, se ha comprobado que los extractos de la fermentación de *M. verrucaria* pueden inhibir la eclosión de huevos y causar un efecto nematostático a los juveniles J2 de *Meloidogyne javanica* (Khalil *et al*., 2010; Nguyen *et al*., 2018) lo que impide la invasión de la raíz en las primeras etapas de desarrollo. Sin embargo, los juveniles J2 pueden recuperar su movilidad una vez que la concentración de los extractos está por debajo de la dosis efectiva, lo que explica el ligero agallamiento observado en las

plantas sembradas en el suelo tratado con DiTera® en este trabajo. Aplicaciones posteriores al trasplante pueden mejorar el desempeño de este producto. En este trabajo también se observó que las plantas con aplicación de DiTera® tuvieron un desarrollo general mayor (Figura 1b), en otros estudios se ha comprobado que este nematicida promueve el desarrollo de raíces de tomate, lo que ayuda a la planta a tolerar los daños ocasionados por los nematodos (Spence y Lewis, 2010).

La aplicación de la formulación con *P. chlamydosporia*, *B. amyloliquefaciens* y *P. lilacinum* (Imperium®), redujo 55% la población final de nematodos en las raíces de las plantas de tomate. En otros estudios se ha demostrado que cepas de *B. amyloliquefaciens* tienen la capacidad de inhibir la eclosión y causar la mortalidad de juveniles J2 *in vitro;* además, de reducir el agallamiento y la población de huevos en raíces de tomate (Jamal *et al*., 2017). Asimismo, *P. chlamydosporia* es un hongo parasito de huevos que ha demostrado reducir la reproducción de *M. incógnita* en un 47% (Ghahremani *et al*., 2019). A pesar de que esta formulación contiene 3 microorganismos, presentó un menor nivel de control de nematodos en comparación con Arrecife®, que esta formulado con microrganismos con modo de acción similar. Es posible que el tipo de formulación inhiba la actividad nematicida de los microorganismos ya que se tiene registro que cepas de *B*. *amyloliquefaciens* tienen actividad fungicida, es necesario realizar pruebas de antagonismo entre los microorganismos de esta formulación con el fin de determinar si existe incompatibilidad entre ellos (Kgatle *et al*., 2020). Por otro lado, las plantas sembradas en el suelo tratado con esta formulación presentaron un buen desarrollo solo por debajo de las plantas sembradas en el suelo tratado con DiTera®. La composición de la formulación con ácidos orgánicos pudo influenciar el desarrollo de las plantas (Panchal *et al.,* 2021).

La aplicación de *Metarhizium* sp. y *P. lilacinum* por si solos, no tuvieron un efecto significativo en la reducción del agallamieto y la población de huevos en las raíces. Diversos hongos del género *Metarhizium* son ampliamente utilizados para el control de insectos plaga por su actividad entomopatógena (Atrchian y Mahdian, 2022) y algunas cepas como *M. anisopliae* y *M. carneum* han demostrado notable actividad nematicida contra *Globodera rostochiensis* y *M. incognita* (López-Lima *et al.,* 2020b; Karabörklü *et al*., 2022). Sin embargo, es posible que la cepa utilizada en este experimento no tenga capacidad nematicida o se requieran mayores dosis para observa su efecto, es necesario realizar pruebas con el fin de conocer su potencial

como agente de control biológico de nematodos. En cuanto a *P. lilacinum*, se ha demostrado su efecto para reducir poblaciones de diversas especies de nematodos tanto a nivel *in vitro* como en campo y actualmente es el principal microorganismo contenido en los bionematicidas comerciales (Isaac *et al*., 2021; Das *et al*., 2022). Sin embargo, también se han reportado diferentes grados de patogenicidad entre cepas de la misma especie, es posible que la cepa utilizada en este experimento sea poco patogénica o que la dosis recomendada por el fabricante se baja para observar su efecto nematicida en las condiciones de este experimento.

Conclusiones

Los nematicidas biológicos comerciales Arrecife® y DiTera® son efectivos para el tratamiento de suelo infestado con el nematodo agallador del cafeto *Meloidogyne paranaensis* a nivel de vivero.

El uso de plantas de tomate como indicadoras de la infestación del suelo es funcional y puede ser de utilidad para los agricultores en la detección del nematodo en el sustrato a utilizar antes del trasplante de las plantas de café.

Literatura Citada

Atrchian, H. y K. Mahdian. 2022. Compatibility of *Metarhizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales) with selective insecticides against *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). International Journal of Tropical Insect Science https://doi.org/10.1007/s42690-022-00833-3. [consultado el 11 de julio de 2022].

Bertrand, B., C. Núñez y J. L. Sarah. 2000. Disease complex in coffee involving *Meloidogyne arabicida* and *Fusarium oxysporum*. Plant Pathology 49:383-388.

Carneiro, R. M. D. G., M. Tigano., O. Randig., M. R. Almeida y J. L. Sarah. 2004. Identification and genetic diversity of *Meloidogyne* spp. (*Tylenchida: Meloidogynidae*) on coffee from Brazil, Central America and Hawaii. Nematology 6:287-298.

Carrión, G., L. Villain y D. López-Lima. 2016a. La corchosis de la raíz del cafeto. Una enfermedad subterránea causada por nematodos y hongos. Folleto de divulgación Inecol-Cenacafe. Xalapa, Veracruz, México. http://www.cafecol.mx/documentos/Folleto_Corchosis.pdf [Consultado el 8 de julio de 2022].

Carrión, G., L. Villain y D. López-Lima. 2016b. La solarización de suelos para viveros, una alternativa eficiente de desinfección contra nematodos y hongos parásitos de plantas. Folleto de divulgación Inecol-Cenacafe. Xalapa, Veracruz, México. http://www.cafecol.mx/documentos/Folleto_Solarizacion.pdf [Consultado el 8 de julio de 2022].

Chen, J., Li, Q. X. y B. Song. 2020. Chemical Nematicides: Recent Research Progress and Outlook. J. Agric. Food Chem. 68(44):12175–12188. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02871.

Coyne, D. L. y J. L. Ross. 2014. Protocol for Nematode Resistance Screening: Root Knot Nematodes, *Meloidogyne* spp. (Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture (IITA) pp 27.

Dahlin, P., R. Eder., E. Consoli., J. Krauss y S. Kiewnick. 2019. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251. Crop protection https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104874 [Consultado el 10 de julio de 2022].

Das, M. M., H. R. Rodríguez., M. Haridas y A. Sabu. 2022. *Purpureocillium lilacinum*: A Promising Bionematicide for Sustainable Agriculture. p. 31. *In*: Rojas R., A. G. C. Martínez G., C. J. Vidales A. C. N. Aguilar. (eds.). Biocontrol Systems and Plant Physiology in Modern Agriculture. 1st edición. Apple Academic Press, New York.

Elling, A. A. 2013. Major Emerging Problems with Minor *Meloidogyne* Species. Phytopathology, 103(11):1092-1102.

Ghahremani, Z., N. Escudero., E. Saus., T. Gabaldón y F. J. Sorribas. 2019. *Pochonia chlamydosporia* Induces Plant-Dependent Systemic Resistance to *Meloidogyne incognita*. Frontiers in Plant Science 10:945. doi: 10.3389/fpls.2019.00945.

Ghahremani, Z., N. Escudero., D. Beltrán-Anadón., E. Saus., M. Cunquero., J. Andilla. *et al*. 2020. *Bacillus firmus* Strain I-1582, a Nematode Antagonist by Itself and Through the Plant. Frontiers in Plant Science 11:796. doi: 10.3389/fpls.2020.00796.

Hagag, E. S. F. 2021. Evaluation of Metabolites of *Myrothecium verrucaria* as Biological Nematicide against Root-knot Nematode, *Meloidogyne incognita in Vitro* and *in Vivo* on Sugar Beet Plants. Journal of Plant Protection and Pathology 12 (1):47-53.

Hernández, E. E., G. Castillo y I. Cid del Prado. 1991. Estudio fitonematologico en cafetales del municipio de Tlaltetela, Ver. p 129. *In*: Resumenes XVIII Congreso Nacional de Fitopatología, Puebla, Pue., México.

Isaac, G. S., M. M. El-Deriny y R. G. Taha. 2021. Efficacy of *Purpureocillium lilacinum* AUMC 10149 as biocontrol agent against root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infecting tomato plant. Brazilian Journal of Biology 84: e253451. https://doi.org/10.1590/1519-6984.253451. [Consultado el 7 de julio de 2022].

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). 2005. Clones de *Coffea canephora* como patrones para injertos con tolerancia a la corchosis de la raíz del café. *Folleto técnico no. 3*. http://www.inifap.gob.mx/Documents/reportes/reporte_anual2004.pdf.

Jamal, Q., J-Y. Cho., J-H. Moon., S. Munir., M. Anee y K. Y. Kim. 2017. Identification for the First Time of Cyclo(D-Pro-L-Leu) Produced by *Bacillus amyloliquefaciens* Y1 as a Nematocide for Control of *Meloidogyne incognita.* Molecules 22(11):1839:3-16 doi:10.3390/molecules22111839.

Karabörklü, S., V. Aydınlı y O. Dura. 2022. The potential of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in controlling the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in tomato and cucumber. Journal of Asia-Pacific Entomology 25(1):101846, https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.101846.

Kgatle, M. G., B. Flett., M. Truter y T. A. S. Aveling. 2020. Control of Alternaria leaf blight caused by *Alternaria alternata* on sunflower using fungicides and *Bacillus amyloliquefaciens*. Crop Protection 132:105146, https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105146. [Consultado el 7 de julio de 2022].

Khalil, A. E., A. G. El-Sherif., M. A. Bekhiet, y A. M. Kella. 2010. New trend for *Meloidogyne javanica* management by *Myrothecium verrucaria* (DiTera) as promising biological agent. Journal Plant Protection and Pathology 1(7): 539-558.

Kiewnick, S. y R. A. Sikora. 2006. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strain 251. Biological Control 38(2):179–187.

Lamelas, A., D. Desgarennes., D. López-Lima., L. Villain., A. Alonso-Sánchez., A. Artacho. *et al*. 2020. The Bacterial Microbiome of *Meloidogyne*-Based Disease Complex in Coffee and Tomato. Front. Plant Sci. 11:136. doi:10.3389/fpls.2020.00136.

Lamovšek, J., G. Urek y S. Trdan. 2013. Biological Control of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.): Microbes against the pests. Acta Agriculturae Slovenica 101(2):263–275. http://doi.org/10.2478/acas-2013-0022.

López-Lima, D., G. Carrion., P. Sánchez-Nava, D. Desgarennes y L. Villain. 2020a. Fungal diversity and *Fusarium oxysporum* pathogenicity associated with coffee corky-root disease in México. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo 52(1):276-292.

López-Lima D., D. Desgarennes., D. Lima-Rivera y G. Carrión. 2020b. Integrated management of *Globodera rostochiensis*: a novel biocontrol agent, crop rotation and fallow. Journal of Plant Diseases and Protection 127:633-640 https://doi.org/10.1007/s41348-020-00325-x.

López-Lima, D., P. Sánchez-Nava., G. Carrión., A. Espinosa de los Monteros y L. Villain. 2015. Corky-root symptoms for coffee in central Veracruz are linked to the root-knot nematode *Meloidogyne paranaensis*, a new report for México. European Journal of Plant Pathology 141:623-629.

López-Llorca, L.V., J.G. Maciá-Vicente y H. B. Jansson. 2008. Mode of action and interactions of nematophagous fungi p. 51-76. *In*: Ciancio, A. Mukerji KG (Eds.) Integrated management and biocontrol of vegetable and grain crops nematodes. Springer. Dordrecht.

Nguyen, L. T. T., J. Y. Jang., Y. T. Kim., N. H. Yu., A. R. Park., S. Lee. *et al*. 2018. Nematicidal activity of verrucarin A and roridin A isolated from *Myrothecium verrucaria* against *Meloidogyne incognita*. Pesticide Biochemistry and Physiology 148:133-143. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.04.012.

Panchal, P., A. J. Miler y J. Giri. 2021. Organic acids:versatiles stress-response roles in plants. Journal of Experimental Botany 72(11):4038-4052. doi:10.1093/jxb/erab019.

Spence, K. O. y E. E. Lewis. 2010. Biopesticides with complex modes of action: direct and indirect effects of DiTera® on *Meloidogyne incognita*. Nematology 12(6):835-846. doi: https://doi.org/10.1163/138855410X494251.

Téliz-Ortíz, D., G. Castillo-Ponce y D. Nieto-Angel. 1993. La corchosis del cafeto en México. Revista Mexicana de Fitopatología 11:5-12.

Terefe, M., T. Tefera y P. K. Sakhuja. 2009. Effect of a formulation of *Bacillus firmus* on root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infestation and the growth of tomato plants in the greenhouse and nursery. Journal of Invertebrate Pathology 100:94-99. doi:10.1016/j.jip.2008.11.004.

Viljoen, J. J. F., N. Labuschnage., H. Fourie y R. A. Sikora. 2019. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomatoes and carrots by plant growth-promoting rhizobacteria. Tropical Plant Pathology 44:248-291. https://doi.org/10.1007/s40858-019-00283-2.

Villain, L., J. L. Sarah., A. Hernández., B. Bertrand., F. Anthony y P. Lashermes. 2013. Diversity of root-knot nematodes parasitizing coffee in Central America. Nematropica 43:194-206.

Wram, C. L. y I. A. Zasada. 2019. Short-Term Effects of Sublethal Does of Nematicides on *Meloidogyne incognita*. Phytopathology 109:1605-1613. https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-18-0420-R.

Xiong, J., Q. Zhou., H. Luo., L. Xia., L. Li y Z. Yu. 2015. Systemic nematicidal activity and biocontrol efficacy of *Bacillus firmus* against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. World Journal Microbiol Biotechnol. 31:661-667.

EVALUACIÓN DE INSECTICIDAS SELECTIVOS EN DOSIS DIFERENTES PARA EL CONTROL DEL PSÍLIDO ASIÁTICO DE LOS CÍTRICOS EN NUEVO LEÓN, MÉXICO

Juan J. Reséndiz Cabello[1], Fredi A. Martínez Espinoza[1], Adrián J. Medina Magaña[1], J. Isabel López Arroyo[2*] y Edgardo Cortez Mondaca[3]

Resumen

En México, la campaña nacional contra el Huanglongbing, la peor enfermedad de los cítricos en el mundo, incluye como parte esencial el manejo regional del psílido asiático de los cítricos, (*Diaphorina citri* Kuwayama) (Hemiptera: *Liviidae*), el vector del patógeno asociado a este trastorno. Esta estrategia está basada en su mayoría en aplicaciones de insecticidas. Recientemente, debido a la prohibición y cuestionamiento de plaguicidas en el país, se ha generado una problemática asociada a la disponibilidad escasa de agroquímicos efectivos, seguros para el ambiente, y salud humana y animal. El propósito del estudio presente fue generar alternativas para enfrentar estas problemáticas, mediante la evaluación de insecticidas selectivos de desarrollo relativamente reciente, así como productos biorracionales para el control del vector. Se condujeron estudios bajo invernadero con plantas de naranjo tardío (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) de >5 años en macetas. En tres experimentos se evaluaron cinco tratamientos en cada uno que incluyeron a: ciantraniliprole 400 mL/ha y en dosis al 75, 66 y 50% de esta cantidad; flupyradifurone 750 mL/ha en dosis con porcentajes similares al anterior, y el-bioinsecticida neem-canela 1 L/ha en mezcla de tanque con 1-3 litros de aceite mineral/ha. Por cada experimento se incluyó un testigo con aspersión de agua. Flupyradifurone sobresalió por provocar en ninfas mortalidad de 100% a las 96 horas después de la aplicación de los tratamientos; la mortalidad causada por ciantraniliprole fue menor a 100% y obtenida en un tiempo mayor. En los tres insecticidas evaluados la reinfestación por (*D. citri)* ocurrió después

[1] U.A. Chapingo, Departamento de Parasitología Agrícola.
[2] INIFAP Campo Experimental General Terán. *Autor de correspondencia: lopez.jose@inifap.gob.mx
[3] INIFAP Campo Experimental Valle del Fuerte.

de cuatro semanas. Los resultados proveen alternativas efectivas y viables económicamente para el manejo del psílido asiático de los cítricos.

Palabras clave: naranjo, *Diaphorina citri,* huanglongbing, neem, bioracionales

Introducción

Actualmente, la citricultura mexicana, al igual que la de los principales países productores en el mundo, es afectada por la enfermedad devastadora denominada Huanglongbing (National Research Council, 2010). Este trastorno se encuentra asociado en Las Américas a la bacteria (*Candidatus Liberibacter asiaticus*), la cual es transmitida por el psílido asiático de los cítricos, (*Diaphorina citri* Kuwayama) (Hemiptera: *Liviidae*) (Bové, 2006). En el país afecta a los 24 estados citrícolas, en los cuales se llega a encontrar infección de hasta el 100% de las huertas; la superficie afectada por la enfermedad es de 243,768 hectáreas, aproximadamente el 39.9% del total del área citrícola mexicana (García-Ávila *et al*., 2021). La estrategia de manejo del HLB a escala internacional, se basa en: 1. La eliminación de fuentes de inóculo por medio de la erradicación de los árboles enfermos, 2. Producción de plantas en ambiente protegido, 3. Control de (*D. citri)* (Bové, 2006; National Research Council, 2010). El propósito es reducir al máximo las poblaciones de (*D. citri)* para disminuir y retrasar la presencia, y diseminación del HLB (Gottwald, 2010; Boina *et al*., 2011; Basanezi *et al*., 2020). Lo anterior hasta el momento ha permitido mantener la citricultura en el mundo y en el caso de Brasil, ha resultado exitosa como así lo demuestra la obtención de cosechas récord aún bajo la infección por Huanglongbing (Basanezi *et al*., 2020; U.S. Department of Agriculture's Foreign Agricultural Service, 2022).

En México, el manejo de la enfermedad incluye el control regional del psílido asiático de los cítricos (Mora-Aguilera *et al*., 2014; García-Ávila *et al*., 2021). Esta iniciativa está basada en la aspersión estratégica de insecticidas durante el año; generalmente con la ejecución de 2-3 veces de éstas, con las cuales se protegen aproximadamente el 30% de la citricultura nacional (Cortez-Mondaca *et al.,* 2013; Mora-Aguilera *et al*., 2014; García-Ávila *et al*., 2021). Anualmente, se reúne información sobre productos potenciales para ser utilizados en las

aspersiones regionales; sin embargo, en años recientes el proceso ha incrementado en dificultad debido al cuestionamiento de ingredientes activos utilizados, generalmente por el impacto asociado a la salud humana y animal, organismos benéficos y principalmente polinizadores, además del costo de los productos de generación reciente (UTZ, 2015; Bejarano, 2017). Esto ha ocasionado que prácticamente se disponga de 2-3 insecticidas para programar, con limitantes para realizar una rotación de productos adecuada, de acuerdo con el modo de acción según IRAC (2022), e incremento potencial de riesgo de aparición de resistencia a insecticidas en el vector (Tiwari y Stelinski, 2013; Qureshi *et al*., 2014; Chen *et al*., 2022). El surgimiento en el mercado de insecticidas convencionales de nueva generación (*e.g.* ciantraniliprole, flupyradifurone) (Tiwari y Stelinski, 2013; Chen *et al*., 2017; Qureshi *et al*., 2014) y disponibilidad de productos biorracionales (*e.g.* neem) (Weathersbee III y McKenzie, 2005) marcan la oportunidad para realizar evaluaciones dirigidas a su selección por efectividad, para de esta forma incrementar las alternativas insecticidas para el manejo regional del vector mediante el control químico y que permitan potencialmente una integración con control biológico del vector (Monzo *et al*., 2014). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar la efectividad de dosis diversas de los insecticidas ciantraniliprole, flupyradifurone y la mezcla de extractos neem-canela con aceite para el control del psílido asiático de los cítricos.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en las instalaciones del INIFAP, Campo Experimental General Terán, General Terán, Nuevo León, México (25°18’28’’N, 99°35’ 4’’), bajo condiciones de invernadero, en plantas de naranjo tardío (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) de >5 años de edad, establecidas en macetas de plástico de 100 L, infestadas por psílido asiático de los cítricos. Los insecticidas seleccionados para evaluar fueron incluidos por su potencial para el control de la plaga, además por ser omitidos en catálogos de productos prohibidos, próximos a prohibirse, o cuestionados por sus efectos colaterales (UTZ, 2015; Bejarano, 2017).

Para el establecimiento de los experimentos se identificaron visualmente los árboles con apariencia homogénea (número similar de brotes vegetativos, anchura del dosel y altura de la planta); y fueron marcados con listones de plástico de colores brillantes colocados en las

ramas. En estos árboles se realizó un muestreo con el uso de lupas de 20X de aumento para cuantificar el número de ninfas y adultos presentes en un brote del árbol. También se contabilizó el número de brotes sanos e infestados por ninfas y/o adultos de (*D. citri)* en 1.6 m^2 de cada árbol seleccionado, para esto se tomó como referencia visual el área de un marco metálico de 0.4 x 0.4 m. Estos registros fueron considerados como la densidad o infestación inicial. Por la información disponible de la presencia del insecto determinada por los muestreos, se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, agrupando árboles según la abundancia de ninfas presentes. Cada árbol se consideró una unidad experimental. En el período de febrero a mayo de 2022 se realizaron tres experimentos independientes para evaluar en el orden en que aparecen: ciantraniliprole (Benevia®, 102.6 g i.a./L) (MoA 28), flupyradifurone (SIVANTO® prime 200 SL, 170.9 g i.a./L) (MoA 4-D), y la mezcla comercial de los extractos neem-canela (Neem Ca®, azaridactina 75 g/L + aldehído cinámico y eugenol 500 mL/L) en mezcla de tanque con aceite mineral (Vegoil® CE 95%) (MoA Desc.) (IRAC, 2022).

En el experimento con ciantraniliprole los tratamientos evaluados fueron: 1. Dosis al 100% (400 mL/ha), 2. Dosis al 75% (300 mL/ha), 3. Dosis al 66% (264 mL/ha), 4. Dosis al 50% (200 mL/ha) y 5. Testigo (aspersión de agua). El experimento con flupyradifurone incluyó los tratamientos siguientes: 1. Dosis al 100% (750 mL/ha), 2. Dosis al 75% (562.5 mL/ha), 3. Dosis al 66% (495 mL/ha), 4. Dosis al 50% (375 mL/ha) y 5. Testigo (aspersión de agua). En el experimento con la mezcla de los extractos de neem-canela los tratamientos evaluados fueron: 1. Neem Ca® 1 L/ha, 2. Neem Ca® 1 L + 1 L aceite mineral, 3. Neem Ca® 1 L + 2 L aceite mineral, 4. Neem Ca® 1 L + 3 L aceite mineral, y 5. Testigo (aspersión de agua). En los tres experimentos el volumen de aspersión se estableció en 1000 L/ha. El número de repeticiones por tratamiento varió según disponibilidad del material infestado (5, 9, y 7 repeticiones para ciantraniliprole, flupyradifurone, y neem-canela, respectivamente).

En la aplicación de los tratamientos se utilizó un aspersor manual de espalda versátil con boquilla de cono hueco (Evolution 16 - Osatu®) previamente calibrada. Para medir las dosis indicadas se utilizó una micropipeta (Finnpipete® 20 – 200 µL). El método de aplicación fue por aspersión dirigida al follaje. Posterior a la aplicación de los tratamientos, con el uso de las lupas se revisaron los brotes y hojas para determinar mortalidad de ninfas (sin movilidad, opacas y sin excretas) o adultos (inmóviles o depositados en la hoja en posición de costado). Además, se contabilizó el número de los brotes infestados por (*D. citri)* en 1.6 m^2 del follaje del

árbol. Para determinar efectividad y posible residualidad del insecticida en la planta, este registro de información se realizó a las 24, 48, 72 y 96 (solo en flupyradifurone) horas después de la aplicación del tratamiento (dat) y se realizó un seguimiento a intervalos semanales durante un mes.

Los datos obtenidos en los diferentes ensayos fueron analizados mediante análisis de varianza de dos vías con el programa SigmaPlot 12.5 (Systat Software, 2013). Para cumplir con los supuestos de normalidad e igualdad de varianza, los datos fueron transformados a raíz cuadrada y posteriormente a valores arcoseno, esto principalmente para los valores en porcentaje; en los cuadros y gráficas se muestran los datos originales. En automático el programa corrió la prueba de normalidad Shapiro-Wilk así como la de igualdad de varianza. Comparaciones múltiples de los promedios de tratamientos fueron efectuadas mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Resultados y Discusión

En las diferentes variables en estudio, el valor del registro inicial antes de la aplicación de los tratamientos en los tres experimentos, no varió significativamente (Cuadros 1-3, Figuras 1-2), lo cual aseguró homogeneidad en las unidades experimentales; esto a excepción del porcentaje de infestación en el experimento con neem-canela, donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Esto sucedió porque los bloques de tratamientos se establecieron con base al número de ninfas; sin embargo, el tratamiento testigo mantuvo su calidad de referencia porque no fue afectado estadísticamente (Figura 2).

A las 24 horas después de la aplicación de las dosis evaluadas, el insecticida ciantraniliprole provocó un rango de mortalidad de 8-25%, las cuales no difirieron significativamente con respecto al testigo; fueron significativamente diferentes a partir de la lectura de mortalidad a las 48 h después de la aplicación de los tratamientos, solo respecto al testigo; además, en todos los intervalos de muestreo la mortalidad mayor fue con la dosis al 100% y la menor con la dosis del 50% (Cuadro 1). A las 72 horas el rango de mortalidad fue de 59-88%. Una y dos semanas después de la aplicación del insecticida, el rango de mortalidad promedio registrada fue de 61 a 95%; en el testigo el valor fue de 0% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de dosis diversas del insecticida ciantraniliprole en la mortalidad de ninfas de *Diaphorina citri* en plantas de naranjo.

Tratamiento	Densidad inicial[a]	Promedio mortalidad ninfas (%) + desviación estándar (n=5)				
		24 h dat	48 h dat	72 h dat	Semana 1 dat	Semana 2 dat
Dosis al 100%	29.0±31.6	12.6±13.4	88.0±11.0a	88.0±11.0a	95.3±6.5a	95.3±6.5a
Dosis al 75%	21.4±12.1	25.1±23.9	71.2±37.6a	84.1±32.5a	85.2±33.0a	85.2±33.0a
Dosis al 66%	24.8±18.0	8.5±8.0	76.0±31.3a	81.2±30.7a	83.9±30.8a	83.9±30.8a
Dosis al 50%	32.6±36.4	24.8±42.5	41.5±38.1ab	59.7±37.7a	61.2±36.5a	61.2±36.5a
Testigo	28.4±21.4	0	0b	0b	0b	0b
P (gl= 4, 16)	0.956	0.286	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Dosis al 100%= 400 mL/ha de producto comercial (Benevia®). *a*= No. promedio de ninfas/brote. dat= después de la aplicación de tratamientos. Promedios en las columnas seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey α=0.05).

En lo que respecta al efecto en adultos de (*D. citri)* por brote, en contraste con las ninfas, los efectos de tratamientos mostraron diferencia significativa únicamente tres semanas después de la aplicación del insecticida; en este período, la mayor ocurrencia de adultos en brotes fue en el testigo, con una densidad de 4.4 insectos/brote vegetativo, mientras que en las dosis diversas del ciantraniliprole el rango promedio de adultos fue de 0.2-1.2 insectos/brote. Dos semanas después de la aplicación de los tratamientos, la densidad de adultos se incrementó hasta 13 individuos en el testigo y el rango en los tratamientos a base de ciantraniliprole fue de 0.2-4.4; no obstante, no existió diferencia significativa (Figura 1A). Con relación a la infestación de los brotes vegetativos por ninfas y/o adultos de (*D. citri),* no se encontraron diferencias significativas en los diferentes períodos de evaluación. Los valores de infestación pasaron de un promedio de 95-100% a 11-63% en un período de cuatro semanas. El valor mínimo fue registrado con la dosis de ciantraniliprole al 75% y el máximo en el testigo (Figura 2A).

En el estudio de evaluación de dosis del insecticida flupyradifurone, en contraste con ciantraniliprole, éstas causaron una mortalidad significativamente diferente respecto al testigo, a las 24 horas después de la aplicación de los tratamientos, con un rango de 29-46%; a las 48 horas los valores de mortalidad se incrementaron significativamente a 65-99% (Cuadro 2). En la dosis de flupyradifurone al 100% se alcanzó mortalidad total a partir de las 72 h después de la aplicación de los tratamientos, el resto de las dosis evaluadas del insecticida no alcanzaron

este valor en un período de una semana de evaluación; sin embargo, las dosis al 75 y 66% no difirieron significativamente de la dosis mayor, solo la de 50% y el testigo que mostró mortalidad de 0% en todos los intervalos de registro de la información.

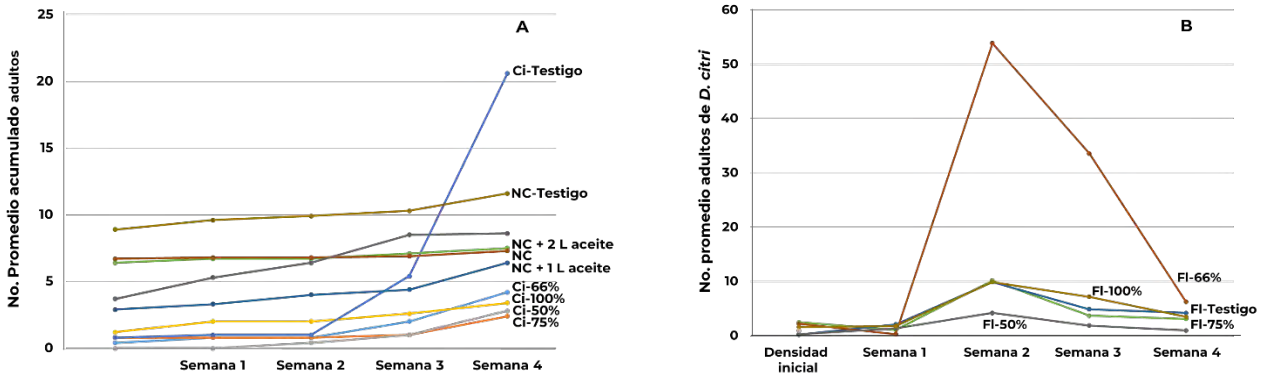


Fig. 1. Efecto de dosis diversas de los insecticidas selectivos en la cantidad de adultos de (*Diaphorina citri)* en plantas de naranjo. A. Ciantraniliprole (Ci) y neem-canela (NC). B. Flupyradifurone (Fl).

Con relación a la cantidad de adultos de (*D. citri),* en los diferentes períodos de evaluación no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, excepto en el registro a las 96 horas después de su aplicación. Se observó que los adultos se concentraron en los tratamientos con dosis diversas de flupyradifurone; esto fue aún más notable a partir de la segunda semana de evaluación, ocasionado probablemente según Leong *et al*. (2012) por la presencia de brotes nuevos, suculentos y sanos promovidos por la presencia del insecticida a nivel sistémico (Figura 1B). Este tejido permaneció libre de la presencia del insecto la mayor parte del tiempo, y fue notoria la diferencia en los porcentajes de infestación con respecto al testigo, ya que en éste a través de las cuatro semanas de evaluación, el valor inicial de infestación fue de 96% para finalizar en 71%, mientras que en los tratamientos con insecticidas, la infestación inicial fue en el rango de 92-99.6% para reducirse significativamente en tan solo una semana a un rango de 2.5-20.1% para los tratamientos al 100 y 50% de flupyradifurone, respectivamente. Después de cuatro semanas la infestación finalizó en el rango de 0-2.5% (Figura 1B), con el valor más alto para el tratamiento 50% de flupyradifurone. Excepto por la evaluación en la semana uno, este tratamiento fue estadísticamente similar al resto de las dosis del insecticida evaluado, a través del tiempo del estudio.

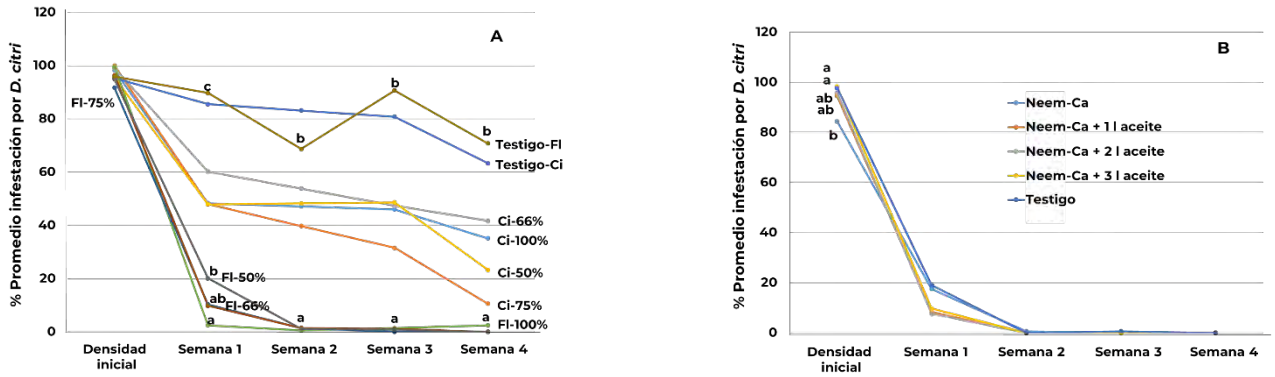


Fig. 2. Efecto de dosis diversas de los insecticidas selectivos en la infestación de brotes vegetativos de plantas de naranjo por ninfas y/o adultos de (*Diaphorina citri)* A. Ciantraniliprole (Ci) y flupyradifurone (Fl) B. Neem-canela (NC). Promedios en cada fecha seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey α=0.05).

Los resultados obtenidos en el experimento con la mezcla de extractos neem-canela y las diferentes dosis de aceite mineral, muestran que los rangos promedios de mortalidad de ninfas fueron de 31-45% a las 24 horas después de la aplicación de tratamientos y a las 72 horas alcanzaron un rango de 64-82%, en los tratamientos de neem-canela + 3 litros de aceite y nim-canela + 1 litro de aceite, respectivamente. La mortalidad en el testigo fue de 0%. A la semana después de la aplicación de los tratamientos, los resultados no mostraron diferencia significativa, ya que además el testigo registró una mortalidad de 63% debida a actividad de depredación y parasitismo, que también debió incrementar la mortalidad en los tratamientos del bioinsecticida (Ellsworth y Martínez, 2001). A las dos semanas, los tratamientos neem-canela y neem-canela + 1 litro de aceite, registraron 100% de mortalidad, siendo estadísticamente diferentes del testigo, donde la mortalidad alcanzó 72% (Cuadro 3).

En lo que respecta a la ocurrencia de adultos en los brotes, prácticamente se registró la misma respuesta que en los insecticidas anteriores, con efectos significativos debido a los tratamientos aplicados únicamente obtenidos en el período de 72 horas después de la aplicación de tratamientos, siendo el testigo el que registró la abundancia mayor del insecto (Figura 1A).

Cuadro 2. Efecto de dosis diversas del insecticida flupyradifurone en la mortalidad de ninfas de (*Diaphorina citri)* en plantas de naranjo.

Tratamiento	Densidad inicial[a]	Promedio mortalidad ninfas (%) + desviación estándar (n=9)				
		24 h dat	48 h dat	72 h dat	96 h dat	1 semana dat
Dosis al 100%	50.2±32.4	45.9±26.0a	98.7±2.3a	100a	100a	100a
Dosis al 75%	48.2±23.6	46.2±16.4a	85.9±10.8b	91.9±6.8a	95.6±4.7a	96.3±4.0a
Dosis al 66%	49.3±27.4	43.9±32.6a	94.7±6.5ab	98.0±2.9a	98.0±2.9a	98.6±2.4a
Dosis al 50%	52.8±39.5	28.7±18.9a	65.1±15.7c	74.7±15.5b	78.5±16.6b	81.0±17.5b
Testigo	49.9±28.7	0b	0d	0c	0c	0c
P (gl= 4, 32)	0.998	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Dosis al 100%= 750 mL/ha de producto comercial (Sivanto®). *a*= No. promedio de ninfas/brote. dat= después de la aplicación de tratamientos. Promedios en las columnas seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey α=0.05).

Los registros de infestación bajo los efectos de los extractos neem-canela también presentaron un patrón de respuesta diferente al de los insecticidas sintéticos anteriores. En el inicio, los porcentajes de afectación fueron significativamente diferentes; sin embargo, en los siguientes períodos de evaluación, las diferencias carecieron de efecto significativo, y prácticamente la infestación fue nula en todos los tratamientos a partir de la segunda semana del estudio. Es posible que la depredación y parasitismo por (*Tamarixia radiata* Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) influyeran para que ocurriera este resultado en el testigo; en el resto de los tratamientos, es posible que algún efecto repelente o inhibitorio por parte de las mezclas neem-canela-aceite aplicadas hallan propiciado lo anterior, además de que el tejido se mostraba más maduro y lignificados que con los otros insecticidas Leong *et al.* (2012), lo que probablemente influyó en la nula reinfestación por ninfas o adultos (Figura 2B).

En el estudio presente es notoria la respuesta obtenida con el flupyradifurone (Cuadro 2, Figuras 1B y 2A); diversos autores han comprobado la efectividad de esta molécula también en un rango diferente de dosis (Chen *et al.*, 2017; Qureshi *et al*., 2014; Wen *et al*., 2021; López *et al*., 2022). Se ha indicado la posible incidencia de efectos subletales por este producto (Boina *et al.,* 2011; Chen *et al.* 2017), y sobretodo, negativos como la hormoligosis (Chen *et al*., 2017); sin embargo, en las dosis exploradas en las evaluaciones, los resultados no evidenciaron su posible incidencia, ya que fueron efectivas aún al 50% de la dosis original (Cuadro 2). Efectos subletales positivos es posible que ocurriera en ciantraniliprole (Cuadro 1), ya que presentó el mismo patrón de efectividad observado en otros estudios, sobretodo una mortalidad

desarrollada en forma lenta, asociada a efectos antialimentarios (Boina *et al*., 2011; Ammar *et al*., 2015; Chen *et al.* 2022). Esta característica es denotada para ambos insecticidas porque se les asocia efectos en la reducción de adquisición, transmisión y diseminación de (*Candidatus Liberibacter)*, la bacteria asociada al Huanglongbig, con lo cual podrían contribuir al manejo de la enfermedad (Ammar *et al*., 2015; Wen *et al.*, 2021; Chen *et al*., 2022).

Cuadro 3. Efecto de la mezcla del bioinsecticida neem-canela con dosis diversas de aceite mineral en la mortalidad de ninfas de *Diaphorina citri* en plantas de naranjo.

Tratamiento	Densidad inicial[a]	Promedio mortalidad ninfas (%) + desviación estándar (n=7)				
		24 h dat	48 h dat	72 h dat	Semana 1 dat	Semana 2 dat
Nim-Ca	48.6±25.1	31.5±33.5a	63.0±25.8a	72.1±20.3a	86.4±19.3	100a
Nim-Ca + 1 L ac.	54.9±35.0	35.2±27.7a	73.0±16.2a	81.6±12.5a	96.0±6.5	100a
Nim-Ca + 2 L ac.	50.4±34.3	44.6±27.0a	67.7±25.5a	71.4±27.3a	93.3±8.7	95.9±6.0ab
Nim-Ca + 3 L ac.	52.3±30.0	39.4±24.3a	54.5±18.2a	64.3±23.0a	87.3±9.2	98.4±4.3a
Testigo	43.3±29.2	0b	0b	0b	63.0±34.5	72.4±36.7b
P (gl= 4, 24)	0.993	0.003	<0.001	<0.001	0.017	0.009

Neem-Ca®= Nim-canela, 1 L/ha. ac. = aceite mineral. *a*= No. promedio de ninfas/brote. dat= después de la aplicación de tratamientos. Promedios en las columnas seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey α=0.05).

Un efecto que se omitió cuantificar y que es importante, es el *status* de sanidad que ambos insecticidas le confirieron a la planta, ya que en éstas fue visible la ocurrencia de brotes vegetativos nuevos, completamente sanos, y que contrastaban con la condición obtenida con los tratamientos de la mezcla neem-canela-aceite, donde generalmente se observó ausencia de brotación nueva y tejido maduro o lignificado, que creemos careció de atracción para la presencia de adultos en la planta, lo que explicaría los incrementos en abundancia en ciantraniliprole y flupyradifurone, mientras que ésta fue mínima o nula en el bioinsecticida (Figura 1-2). En flupyradifurone dicho patrón de abundancia fue aún más visible (Figura 1B); sin embargo, los adultos probablemente murieron al alimentarse del tejido con presencia residual del insecticida, con lo que se provocó niveles poblacionales reducidos del vector.

Cuadro 4. Costos de los tratamientos insecticidas evaluados para el control de *Diaphorina citri* en plantas de naranjo.

Ingrediente activo	Nombre	Costo (pesos)/dosis del producto comercial			
		50%	66%	75%	100%
Ciantraniliprole	Benevia®	$821.81	$1084.80	$1232.71	$1643.62
Flupyradifurone	Sivanto®	$714.75	$943.47	$1072.11	$1429.50
		Sin aceite	**+ 1 l aceite**	**+ 2 l aceite**	**+ 3 l aceite**
Extracto de nim-canela	Neem-Ca®	$160.00	$360.00	$560.00	$760.00

Benevia dosis al 100%= 400 mL de producto comercial/ha. Sivanto dosis al 100%= 750 mL de producto comercial/ha. Neem-Ca= 1 L de producto comercial/ha. Nota precautoria: La mención de los productos comerciales no significa patrocinio o respaldo por parte de las instituciones e investigadores involucrados en el estudio; tampoco son responsables de los precios de los productos o variaciones que pudiesen existir en diferentes regiones del país. Aquí son usados como una referencia para el análisis económico de las dosis diversas evaluadas.

La información del Cuadro 4, es una referencia del costo económico de cada tratamiento insecticida evaluado; en ese sentido, los tratamientos del insecticida a base de neem y canela muestran el menor costo económico; sin embargo, es necesario considerar que, aunque el costo de los insecticidas sintéticos es mayor, en ocasiones, de acuerdo a la abundancia y daño de (*D. citri)* y otros insectos plaga, la fenología del cultivo y las condiciones de desarrollo, así como la presencia de enemigos naturales y polinizadores, podría ser preferible elegir uno de ellos y obtener beneficios mejores.

Con los resultados obtenidos de las dosis evaluadas de los insecticidas selectivos, así como de las mezclas de aceite con el bioinsecticida, es posible utilizar dosis económicamente viables (Cuadro 4), para ser utilizadas en la citricultura de México, ya que se estaría en la oportunidad de aplicar insecticidas con características sobresalientes para el manejo del huanglongbing e impacto reducido en organismos no-blanco (Qureshi *et al.*, 2014; Ammar *et al.*, 2015; Chen *et al*., 2017). Además, también existe la posibilidad de que los ahorros producidos por el uso de dosis efectivas, menores al 100%, permitieran incrementar el número de aplicaciones de insecticidas para el control del vector o simplemente reducir el costo económico que representa su manejo (Díaz-Padilla *et al*., 2021). Es necesario denotar la importancia del monitoreo de desarrollo de la resistencia contra estos productos (Tiwari y Stelinski, 2013; Chen *et al*., 2022). López *et al*. (2022) registraron 100% de mortalidad en (*D. citri)* con ciantraniliprole en evaluaciones también en México; sin embargo, en el estudio presente, la mortalidad del insecto siempre fue menor a dicha tasa. Por su parte, Chen *et al*. (2022) indican de la presencia de

poblaciones del vector con diversos niveles de resistencia a ciantraniliprole en la citricultura de Florida, U.S.A. Una estrategia para el manejo preventivo de la resistencia a insecticidas es la rotación y alternancia de éstos con diferente modo de acción, y si es posible, sitio de acción diferente (IRAC, 2022). Su utilización será fundamental para proteger y propiciar la vida útil prolongada y efectiva de estos productos en el manejo de (*D. citri).*

Conclusiones

Dosis de ciantraniliprole en el rango de 66-100% de la dosis comercial, flupryradifurone en dosis de 50-100% de la dosis comercial y de la mezcla de extractos comerciales naturales Neem-Ca en dosis de 1 L/ha más uno o dos litros de aceite mineral, constituyen alternativas efectivas y económicamente viables para el control de *D. citri.*

Agradecimientos

Se agradece al Comité Estatal de Sanidad Vegetal del estado de Michoacán (CESAVEMICH) los recursos financieros para el desarrollo de la presente investigación (proyecto en convenio INIFAP-21582735257).

Literatura Citada

Ammar, E.-D., D.G. Hall, and J.M. Alvarez. 2015. Effect of cyantraniliprole, a novel insecticide, on the inoculation of *Candidatus* Liberibacter asiaticus associated with citrus huanglongbing by the Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae). J. Econ. Entomol. 108(2): 399–404.

Bassanezi, R.B., S.A. Lopes, M.P. Miranda, N.A. Wulff, H.X.L Volpe, and A.J. Ayres. 2020. Overview of citrus huanglongbing spread and management strategies in Brazil. Trop. Plant Pathol. 45: 251–264.

Bejarano, F. (Ed.). 2017. Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C., Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Impresos Gama. Texcoco, Edo. México, México. 351 pp.

Boina D.R., Y. Youn, S. Folimonova, and L.L. Stelinski. 2011. Effects of pymetrozine, an antifeedant of Hemiptera, on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, feeding behavior, survival, and transmission of *Candidatus* Liberibacter asiaticus. Pest Manag Sci 67:146–155.

Bové, J.M. 2006. Huanglongbing: A destructive, newly emerging, century old disease of citrus. *J. Plant Pathol.* 88: 7-37.

Chen, X.D., J.A. Qureshi, and L.L. Stelinski. 2022. Monitoring of *Diaphorina citri* populations from Florida reveals reduced susceptibility to cyantraniliprole and thiamethoxam. *J. Appl. Entomol.* 146:725–733.

Chen, X.D., M. Seo, L.L. Stelinski. 2017. Behavioral and hormetic effects of the butenolide insecticide, flupyradifurone, on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri.* Crop Protection 98: 102-107.

Cortez, E., J. Loera, L. Hernández, J. Barrera, A. Fontes, U. Díaz *et al*. 2013. Manual para el Uso de Insecticidas Convencionales y Alternativos en el Manejo de *Diaphorina citri* Kuwayama en Cítricos, en México. SAGARPA-INIFAP. Folleto Técnico Núm. 37. ISBN: 978-607-37-0016-0. Juan José Ríos, Sinaloa, México. 56 p.

Díaz-Padilla, G., J.I. López-Arroyo, R.A. Guajardo-Panes and I. Sánchez-Cohen. 2021. Spatial Distribution and Development of Sequential Sampling Plans for *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). Agronomy 11, 1434.

Ellsworth, P.C. and J.L. Martínez-Carillo. 2001. IPM for *Bemisia tabaci*; a case study from North America. Crop Protection, 20: 853-869.

García-Ávila, C.J., F.J. Trujillo-Arriaga, A. Quezada-Salinas, I. Ruiz-Galván, D. Bravo-Pérez, J. M. Pineda-Ríos *et al*. 2021. Holistic area-wide approach for successfully managing citrus greening (Huanglongbing) in Mexico. In: J. Hendrichs, R. Pereira and M. J. B. Vreysen (eds.), Area-Wide Integrated Pest Management: Development and field application, pp. 33–49. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Gottwald, T.R. 2010. Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. Annu. Rev. Phytopathol. 48, 119–139.

Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). 2022. IRAC Mode of Action Classification Scheme. Issued, June 2022; Version 10.3. https://irac-online.org/mode-of-action/

Leong, S.C.T., F. Abang, A. Beattie, R.J.H. Kueh, and S.K. Wong. 2012. Impacts of horticultural mineral oils and two insecticide practices on population fluctuation of *Diaphorina citri* and spread of huanglongbing in a citrus orchard in Sarawak. Sci. World J.

López, M.A., E. Cortez-Mondaca, and J.I. López-Arroyo. 2022. Effective insecticides for the control of Asian citrus psyllid nymphs in Persian lime. Southwestern Ent. (en prensa).

Monzo, C., J.A. Qureshi, and P.A. Stansly. 2014. Insecticide sprays, natural enemy assemblages and predation on Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). Bull. Entomol Res, 104: 576-585.

Mora-Aguilera, G., P. García-Robles, J.I. López-Arroyo, J. Flores-Sánchez, G. Acevedo-Sánchez, S. Domínguez-Monge *et al*. 2014. Situación actual y perspectivas del manejo del HLB de los cítricos. Revista Mexicana de Fitopatología. 32(2):108-119.

National Research Council. 2010. Strategic Planning for the Florida Citrus Industry: Addressing Citrus Greening Disease. Washington, DC: The National Academies Press.

Qureshi, J.A., B.C. Kostyk, and P.A. Stansly. 2014. Insecticidal suppression of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) vector of huanglongbing pathogens. PLoS ONE 9, e112331.

Systat Software, Inc. 2013. SigmaPlot v. 12.5. Systat Software Inc. San Jose, Ca.

Tiwari, S. and L.L. Stelinski. 2013. Effects of cyantraniliprole, a novel anthranilic diamide insecticide, against Asian citrus psyllid under laboratory and field conditions. Pest Manag Sci.

UTZ. 2015. List of banned pesticides and pesticides watchlist Version 1.0. www.utz.org. Acceso 11 de Agosto 2020.

U.S. Department of Agriculture's Foreign Agricultural Service. 2022. Expectations for Brazil's 2022–23 Orange Crop. Citrus Magazine. 13(27): 2 pp.

Weathersbee III, A.A. and C.L. McKenzie. 2005. Effect of a neem biopesticide on repellency, mortality, oviposition, and development of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae). Florida Ent. 88(4): 401-407.

Wen, Y., H. Meng, C. Zhao, F. Lin, and H. Xu. 2021. Evaluation of flupyradifurone for the management of the Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* via dripping irrigation systems. Pest Manag. Sci 77: 2584-2590.

CONTROL MICROBIAL DE MOSCA BLANCA (*Trialeurodes vaporariorum*, Westwood) EN BERENJENA (*Solanum melongena*), EN INVERNADERO

Héctor Cabrera Mireles[1]*, Félix David Murillo Cuevas[2], Aaron Santiago Peralta[1], Magali Jimenez Jimenez[1], Jacel García Adame[2], Cecilia Reyes Loyola[1], Andrés Vásquez Hernández[1], Arturo Andrés Gomes[1], Jimena Ortega Patricio[1] y Rubén Uriel Herrera Bonilla[1]

Resumen

La mosca blanca se encuentra entre las principales plagas de los cultivos, en especial solanáceas y cucurbitáceas; la especie más abundante es la *Trialuerodes vaporariorum*. La implementación de una agricultura sostenible para el control de plagas a partir del uso de bioplaguicidas, permitirá el manejo y uso racional de los recursos naturales, seguridad alimentaria y la reducción de la contaminación al medio ambiente; bajo este contexto en la presente investigación se evaluó el control microbial para controlar la mosca blanca en el cultivo de berenjena bajo un sistema de agricultura protegida. Se evaluaron dos bioplaguicidas, *Isaria javanica* 307y *Beuveria bassiana* y un plaguicida sintético Movento. Se evaluaron tres bioestimulantes *Trichoderma harzianum*®+ *Rhizophagus intraradices*®, Genifix®, Mix® y el correspondiente testigo. Se evaluó la eficiencia de los productos en cinco fechas posteriores a la aplicación (1, 3, 5, 7 y 14 días después de la aplicación, dda) Para el desarrollo del experimento, se llevó a cabo un diseño factorial en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con interacción (Bioplaguicidas-Bioestimulantes). Los datos de los muestreos fueron transformados a eficiencia (%). *Isaria javanica* 307 presentó mayor eficiencia de control; Movento y *Beauberia bassiana* se comportaron similarmente. *Isaria javanica* 307 causó una mortalidad de huevos del 66% a 1 dda, y con su mayor eficiencia de 95% a los 7 dda. Los bioestimulantes no contribuyeron al control de la mosca blanca.

Palabras clave: entomopatógenos, evaluación, eficiencia, muestreo, mortalidad

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia. hector_cabrera@hotmail.com
[2] Instituto Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Introducción

La producción de hortalizas, esta experimentado no sólo en México, sino en el mundo una tendencia de crecimiento, influido principalmente por los cambios en los estilos de vida y los patrones de consumo donde la propensión es consumir vegetales frescos y de calidad (Araméndiz, *et al*., 2008). Sin embargo, un factor importante a cumplir es el criterio de "calidad" debido al uso indiscriminado de plaguicidas para el control de las diferentes plagas en los cultivos. Por lo tanto, en la actualidad se está optando por la agricultura protegida, añadiendo que estas estructuras nos ayudan a reducir la incidencia de plagas y las inclemencias del tiempo. La mosca blanca se encuentra entre las principales plagas de los cultivos, en especial solanáceas y cucurbitáceas (Basso *et al*., 2001). La especie más abundante es la *Trialuerodes vaporariorum*. Afecta el crecimiento, transmite virus que provocan enfermedades y favorece el desarrollo de fumagina en hojas y frutos (Scotta *et al*., 2014). Su alimentación también provoca un debilitamiento por la extracción de nutrientes (Toledo, 2019). Este mismo autor, menciona que tradicionalmente el control de la mosquita blanca ha sido con productos químicos, de los cuales, se tiende a abusar o emplear malas prácticas en su aplicación, generando un uso masivo del plaguicida propiciando la resistencia de la plaga a diferentes grupos de insecticidas y contaminando el medio ambiente.

La implementación de una agricultura sostenible para el control de plagas a partir del uso de bioplaguicidas, permitirá el manejo y uso racional de los recursos naturales, seguridad alimentaria y la reducción de la contaminación al medio ambiente (Figueroa *et al*., 2019; García-Hernández *et al*., 2020). El desarrollo de nuevos bioplaguicidas estimula la modernización de la agricultura y sin duda, va a sustituir gradualmente a una cantidad indefinida de plaguicidas químicos (Nava-Pérez *et al*., 2012).

Los biofertilizantes son tecnologías limpias apropiadas dentro de los esquemas de certificación nacional e internacional, porque ofrecen soluciones a problemas de deficiencia de nutrientes en el suelo, permiten la sustitución total o parcial de fertilizantes de síntesis con restricciones para su uso en tecnologías limpias, contribuyen con la disminución de los costos de producción y son compatibles con la protección al ambiente. A pesar de sus propiedades, los biofertilizantes no reemplazan en un 100% al fertilizante químico, pero como se ha visto, se puede sustituir hasta un 50% de éste, logrando reducir los costos de producción, debido a las

menores cantidades de fertilizantes de síntesis y al menor costo de los biofertilizantes. El uso de estos bio-insumos en agricultura contribuye con el mejoramiento de la competitividad y la sostenibilidad de los sistemas de producción Roveda *et al*. (2008). Bajo este contexto en la presente investigación se evaluó el control microbial para controlar la mosca blanca en el cultivo de berenjena bajo un sistema de agricultura protegida.

Materiales y Métodos

Tratamientos con bioplaguicidas

Se evaluaron dos bioplaguicidas y un plaguicida sintético contrastados con un tratamiento en blanco, el insecticida comercial Movento® en dosis de 1.25 mL/L, los hongos entomopatógenos *Isaria javanica* (CHE-CNRCB 307), *Beuveria bassiana, ambos a dosis de* 5.0 mL/L y el correspondiente testigo (sin aplicación). Para la aplicación de los productos, inicialmente se ajustó el pH del agua a 5.5 utilizando el acidificante y buferizante DAP-PLUS 1.2 mL/L de agua complementando con el adherente no ionio INEX-A 1 mL/L de agua. Se aplicaron los productos con una bomba eléctrica con capacidad de 20 L de agua, cuidando del tamaño de la gota para que fuera lo más fina posible para tener una mayor cobertura del haz y envés de las hojas. Las aplicaciones se realizaron por la tarde después de las 4.00 pm con ello se consiguió una mayor efectividad por la aplicación de los hongos entomopatógenos; debido que a temperaturas mayores de 37°C genera que los hongos pueden morir.

Tratamientos con bioestimulantes

Se evaluaron tres bioestimulantes y el correspondiente testigo, BE 1 *Trichoderma harzianum* cepa T22 de PHC® 0.5% + *Rhizophagus intraradices*® cepa INIFAP; BE2 Genifix® cepas de *Bacillus* del TecNM-ITUG; BE 3 Mix® comercial (mezcla de *Trichoderma harzianum T. viridae, T. asperellum y T. koningii*) y BE 4 Testigo (agua), estos se aplicaron cada 15 días en charola de germinación y cada mes en invernadero.

Delimitación de parcelas

Las parcelas se ubicaron dentro de un invernadero tipo tropical con ventana cenital para favorecer la salida de aire caliente, con dimensiones de 12 m de ancho y por 50 m de largo (600 m2) con domo con cubierta de plástico transparente y laterales de malla blanca antiáfidos.

Se aplicó un acolchado plástico blanco-negro, calibre 90. Se formaron ocho camas de siembra a todo lo largo del invernadero, con una altura aproximada de 40 cm y 1.00 m de ancho y 46.5 m de largo y pasillos de 0.50 m de ancho. Para este experimento solo utilizamos dos camas**.**

La delimitación de parcelas consistió en un diseño, en parcelas divididas en bloques completamente al azar; las parcelas grandes correspondieron a los Bioestimulantes y los Bioplaguicidas correspondieron a la parcela chica.

La parcela experimental consistió en seis plantas, en arreglo de doble hilera con tres plantas por hilera; la parcela útil correspondió a las dos plantas centrales de cada parcela experimental. Cada bloque consistió en los cuatro bioestimulantes (parcelas grandes) y cada bioestimulante contuvo a los cuatro tratamientos de bioplaguicidas. El experimento se repitió en dos camas de siembra. Cada cama contuvo dos bloques cada uno con cuatro parcelas grandes con cuatro parcelas chicas cada una y cada una de estas con tres plantas por hilera: 2x4x4x3=96 plantas por hilera, lo que da a 6 plantas en doble hilera por cada una de las 16 parcelas chicas por cada uno de los cuatro bloques.

Diseño de muestreo

De cada parcela experimental se muestrearon dos plantas centrales (parcela útil) de las cuales se tomaron dos hojas de cada una, una en la parte superior y la otra de la parte media de un tamaño de hoja que varió de seis a ocho cm de longitud en las cuales se registró la presencia de mosca blanca por estado de desarrollo.

Lo primero que se contabilizó fueron los adultos presentes en el envés de la hoja, debido a su gran capacidad de vuelo y no se debía disturbar la planta para su conteo.

Para el conteo de huevos y ninfas se utilizó un molde de papel con un espacio de muestra de 1.44 cm^2 (1.2 x 1.2 cm), el cual se colocó en el envés de la hoja en forma de romboide, en la segunda nervadura de la hoja. El primer muestreo se realizó por la mañana antes de la aplicación de los bioplaguicidas y plaguicida; repitiendo cada muestreo el día 1, 3, 5, 7 y 14 después de la aplicación de los productos.

Diseño estadístico

Para el desarrollo del experimento, se llevó a cabo un diseño factorial en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con interacción. Las variables de respuesta fueron: número de huevos vivos, número de ninfas vivas y número de adultos vivos

Los datos de los muestreos fueron transformados a eficiencia (%) mediante la fórmula de Henderson y Tilton, (Henderson y Tilton, 1955) donde:

$$\text{Eficiencia}\,\% = \left(1 - \frac{(\text{n en Co antes del tratamiento} * \text{n en T después del tratamiento})}{(\text{n en Co después del tratamiento} * \text{n en T antes del tratamiento})}\right) * 100$$

Donde: n = número de insectos, T = tratado, Co = control

Para el análisis estadístico se utilizó el programa GLMM univariado, mediante los paquetes estadísticos SPSS 20 e INFOSTAT, obteniendo el análisis de varianza de los factores independientes y su interacción. La prueba de medias se realizó con la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Resultados y Discusión

Se registraron diferencias estadísticas significativas entre la eficiencia de los plaguicidas en huevo ($F_{2,389}$=6.59, p=0.0015), y total de organismos ($F_{2,821}$=3.68, p=0.0257), no se registraron diferencias en ninfa ($F_{2,388}$=1.94, p= 0.145) y adulto ($F_{2,800}$=0.93, p= 0.395). En la Figura 1, se muestra que el bioplaguicida *Isaria javanica* 307 fue eficiente en el control de huevos de mosca blanca con promedio de 77% siendo significativamente diferente a *Beauberia bassiana* y al producto comercial Movento.

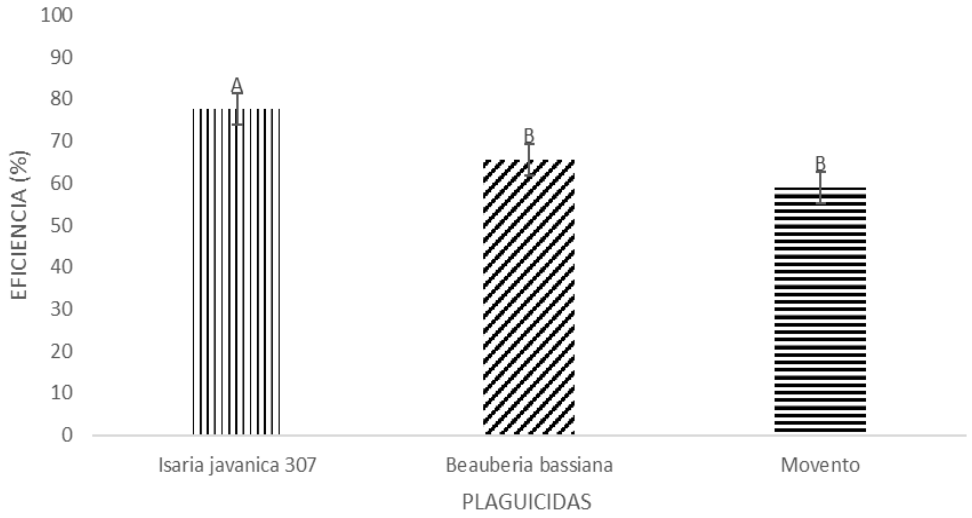


Figura 1. Eficiencia de plaguicidas en el control de huevos de mosca blanca en berenjena en ambiente protegido.

Sanidad vegetal

Tomando en cuenta los días después de la aplicación (dda) en la etapa de huevo se observó que *Isaria javanica* 307 registró el mayor porcentaje de eficiencia durante todos los días evaluados, a tan solo 1 día después de la aplicación se registró el 66% de control y alcanzó el mayor porcentaje al día 7 con 95% de eficiencia; *Beauveria bassiana* y Movento alcanzaron el mayor porcentaje a los 14 dda ambos con 79% de eficiencia (Figura 2).

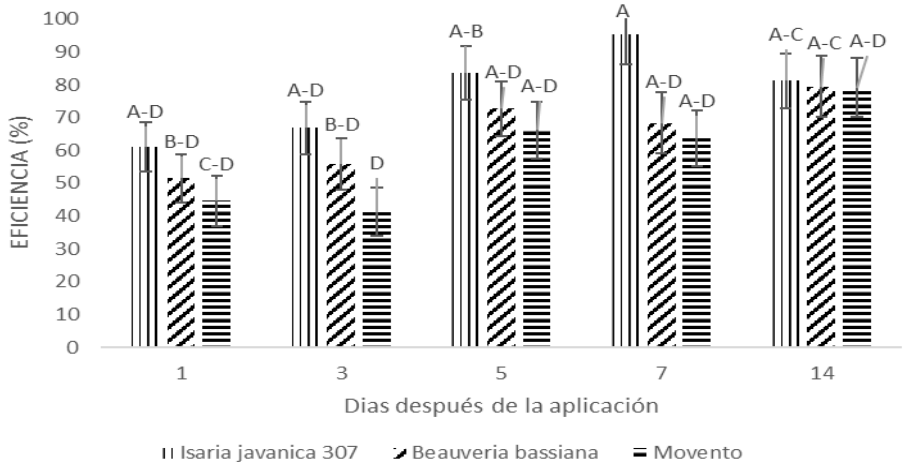


Figura 2. Eficiencia de plaguicidas con respecto a los días después de la aplicación (dda) contra huevos de mosca blanca en berenjena en ambiente protegido.

En relación con la interacción bioestimulante*plaguicida se registraron diferencias significativas ($F_{6,821}$=2.48, p=0.0222), observándose que los bioestimulantes no contribuyeron al control de huevos de mosca blanca ya que la mayor eficiencia se dio en *Isaria javanica* 307 y *Beauberia bassiana* sin bioestimulante (testigo) con promedio arriba del 80% (Figura 3).

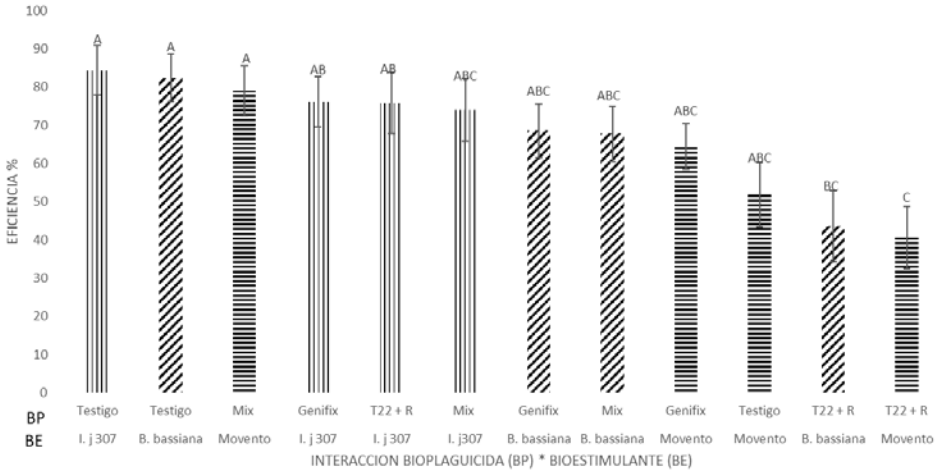


Figura 3. Eficiencia de interacción plaguicida*bioestimulante en el control de huevos de mosca blanca en berenjena en ambiente protegido.

Tomando en cuenta el total de organismos registrados, se observó que *Isaria javanica* 307 presentó mayor eficiencia de control con promedio de 63% y compartió similitud estadística con Movento y fue significativamente diferente a *Beauberia bassiana* (Figura 4).

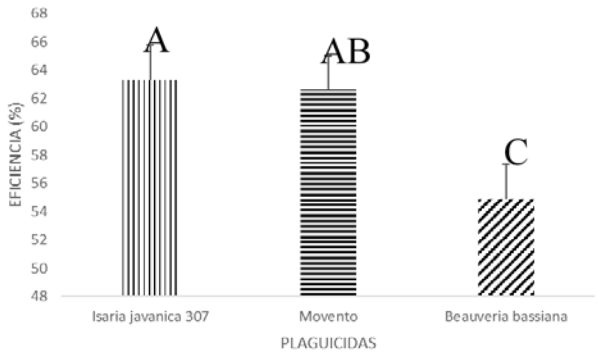


Figura 4. Eficiencia de plaguicidas contra total de organismos registrados (suma de huevo, ninfa y adulto) de mosca blanca en berenjena en ambiente protegido.

Los mico-insecticidas (productos formulados con hongos entomopatógenos) constituyen una pequeña fracción de los biopesticidas (Butt *et al*., 2001). Existen más de 700 especies en 100 géneros en el mundo, pero pocos son estudiados intensivamente, por su forma característica de infección, son los microorganismos más importantes que infectan insectos chupadores como áfidos, mosquita blanca, escamas, chicharritas y chinches (*Alatorre, 2007*).

García-Gutiérrez y González-Maldonado (2010), evaluaron bioinsecticidas elaborados a base de hongos entomopatógenos para el control de plagas de hortalizas, sobre plantaciones de lechuga (*Lactuca sativa* L.), rábano (*Rhapanus sativus)*, cebolla (*Allium cepa* L.), repollo (*Brassica oleracea var*. *Capitata)*, papa (*Solanum tuberosum* L). y cilantro (*Coriandrum sativum* L). todos los aislamientos causaron mortalidades superiores al 80% a las 72h, respecto al control, resultandos efectivos para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabaco)*. Los hongos entomopatógenos pertenecientes al género *Isaria* (Hypocreales: Cordycipitaceae) son candidatos prometedores para el control microbiano de plagas de insectos, refieren que *I. javanica=I fumosorosea*. (Gallou, 2016). *I.fumosorosea* (Wize) Brown & Smith, como *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, causaron porcentajes de mortalidad superiores al 70% y 80% para ninfas de *T. vaporariorum* y *B. tabaci*, Además, se determinó el efecto de CEP 315 sobre ninfas de *T*. vaporariorum parasitadas con *Eretmocerus* sp. Haldeman (Hymenoptera: Aphelinidae), observándose solo un 20% de infección en las ninfas parasitadas y un 70% de

infección en las ninfas no parasitadas. La aplicación de *I. fumosorosea* cepa 315 suspensión en plantaciones de tomate y berenjena ubicadas bajo cubierta en Los Hornos, partido de La Plata, Buenos Aires, ocasionó la infección de individuos de “mosca blanca” a partir del cuarto día y continuó hasta los 15 días posteriores a la aplicación, (D'Alessandro, 2010).

Scorsetti *et al*. (2008) realizaron pruebas de patogenicidad contra ninfas de T. vaporariorum utilizando una suspensión conidial (1 × 107 conidios/ml) de los hongos. Se obtuvo una tasa de mortalidad entre el 26,6% y el 76,6% a los 7 días después de la infección, causada por *Lecanicillium lecanii* (Zimmerm.) Zare & W. Gams, *L. muscarium* (Petch) Zare & W. Gams, *L. longisporum* (Petch) Zare & W. Gams, *Isaria fumosorosea* Wize e *I. javanica* (Frieder. & Bally) Samson & Hywel-Jones. En cuanto a los resultados obtenidos con *Isaria javanica*, son similares a lo reportado por Scorsetti, *et al*. (2008) quienes señalaron que se realizaron pruebas de patogenicidad contra ninfas de *T. vaporariorum* utilizando una suspensión conidial (1×10^7 conidios/ml) de los hongos, donde se obtuvo una tasa de mortalidad entre el 26,6% y el 76,6% a los 7 días después de la infección. Cabanillas y Jones, (2009) señalan que el tiempo medio hasta la muerte fue menor para los segundos instars (3 días) que para los terceros instars (4 días) cuando se expusieron a 1000 esporas/mm^2. La micosis en moscas blancas adultas se hizo evidente después de infecciones tardías de mosca blanca *Bemisia tabaci* causadas por este hongo. Los resultados obtenidos en este trabajo con *Beauveria bassiana*, son coincidentes con lo reportado por diferentes autores, como Orozco-Santos *et al*. (2000), quienes observaron que *B. bassiana* redujo la población de *B. argentifolii* en cultivo de melón en condiciones de campo con respecto al testigo, con un control de ninfas entre 68,9 a 81,7%. Quesada-Moraga *et al*., (2006), reportaron que de 25 aislamientos de *B. bassiana* todos fueron patógenos para ambas especies de mosca blanca, mientras que las tasas de mortalidad variaron de 3 a 85%. Chang-Su *et al*., (2014), señalaron que la actividad insecticida de *B. bassiana* M130 en invernadero fue del 55.2% en la prueba de caja de Petri, del 84,6% en la prueba de maceta y del 45,3% en la prueba de campo.

Conclusiones

Los bioplaguicidas evaluados demostraron eficiencia para controlar poblaciones de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de berenjena en sistema de producción protegida de invernadero. Por otro lado, el bio-plaguicida (*Isaria javanica)* Cepa 307 mostró mayor eficiencia en el control de huevo y suma total de organismos superando al insecticida comercial. De la misma forma, el bioplaguicida *Beauveria bassiana* mostró similar eficiencia que el insecticida comercial. No obstante, en las etapas de ninfa y adulto de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* los dos bioplaguicidas evaluados resultaron con similar eficiencia que el insecticida comercial. Es importante mencionar que, en la eficiencia de los bioplaguicidas a través del tiempo, sobresalió *Isaria javanica* 307 por sus mayores índices de eficiencia desde el primer día hasta el séptimo. En contraste, los bioestimulantes no parecieron influir en la eficiencia de los bioplaguicidas.

Literatura Citada

Alatorre, R. R. 2007. Hongos entomopatógenos. pp. 127-143. En: L. A. Rodríguez del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.). Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.

Araméndiz T. H., C. Cardona A. y D. Pérez P. 2008. Hibridación artificial en berenjena (Solanum melongena L.) Efecto sobre la producción de frutos y semillas.

Basso, C., J. Franco, G. Grille, y C. Pascal, 2001. Distribución espacial de Trialeurodes vaporariorum (Homoptera: *Aleyrodidae*) en plantas de tomate. Bol SanVeg: Plagas, 27, 475-487.

Butt, T. M., C. Jackson. y N. Magan. 2001. Introduction–fungal biological control agents: progress, problems and potential. En: Fungi as biocontrol agents progress, problems and potential. T. M. Butt, C. Jackson y N. Magan (eds.). CABI, Wallingford, Oxon. 1-8 pp.

Cabanillas H. E., A. Jones W. 2009. Pathogenicity of Isaria sp. (Hypocreales: *Clavicipitaceae*) against the sweet potato whitefly B biotype, Bemisia tabaci (Hemiptera: *Aleyrodidae*), Crop Protection, 28(4):333-337. ISSN 0261-2194, https://doi.org/10.1016/j.cropro.

Chang-Su K-B. L, K. Beam-Soo, N. Young-Ho, S. Kee-Sun, J-W. K., K. Jang-Eok, *et al*. 2014. A technique for the prevention of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) using the entomopathogenic fungus Beauveria bassiana M130 J. Microbiol. Biotechnol. 24(1): 1–7. http://dx.doi.org/10.4014/jmb.1306.06033

D'Alessandro, C.P. 2010. Hongos patógenos de la mosca blanca (Hemiptera:*Aleyrodidae)*:Diversidad, patología y variación estacional en cultivos hortícolas. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Naturalis Repositorio Institucional. Tesis doctoral.http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20120126001036

Figueroa G., A.M., E A. Castro T. y H T. Castro S. 2019. Efecto bioplaguicida de extractos vegetales para el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Acta Biológica Colombiana, 24 (1):58-66. https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69333

Gallou A, M.G. Serna-Domínguez, A.M. Berlanga-Padilla, M.A. Ayala-Zermeño, M.A. Mellín-Rosas, R. Montesinos-Matías, *et al*. 2016. Species clarification of Isaria isolates used as biocontrol agents against *Diaphorina citri* (Hemiptera: *Liviidae*) in Mexico. Fungal Biol. 2016 Mar; 120(3):414-23. doi: 10.1016/j.funbio.2015.11.009.

García-Gutiérrez, C. y M. B. González-Maldonado. 2010. Uso de bioinsecticidas para el control de plagas de hortalizas en comunidades rurales. Ra Ximhai Vol. 6(1): 17-22.

García-Hernández, S. A., Marín-Sánchez, J., Romero-Méndez, M., Hernández-Pérez, C., López-Aguirre, S. 2020. Productive and quality response of six varieties of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to organic fertilization in Guadalzacar, S.L.P. Revista Bio Ciencias 7, e743. doi: https://doi.org/10.15741/revbio.07.e743

Henderson, C.F. and E. W. Tilton, 1955. Tests with acaricides against the brow wheat mite, J. Econ. Entomol. 48:157-161.

Nava-Pérez, E., C. García-Gutiérrez, J. R. Camacho-Báez, y E. L. Vázquez-Montoya, 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México. Ra Ximhai, vol. 8(3b):17-29.

Orozco-Santos, M., J.F. Larios, J.L. Pérez y N.R.R. Vásquez. 2000. Uso de Beauveria bassiana para el control de *Bemisia argentifolii* en melón. Manejo Integrado de Plagas, 56:45-51.

Quesada-Moraga E., E.A.A. Maranhao, P. Valverde-García, y C. Santiago-Álvarez. 2006. Selection of *Beauveria bassiana* isolates for control of the whiteflies Bemisia tabaci and Trialeurodes vaporariorum on the basis of their virulence, thermal requirements, and toxicogenic activity, Biological Control, Volume 36(3):274-287. ISSN 1049-9644, https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.09.022.

Roveda G., L. Cabra y M. Ramírez (eds.) 2008. Uso de microorganismos con potencial como biofertilizantes en el cultivo de mora. Centro de Investigaciones Tibaitatá. Corporación colombiana de investigación agropecuaria.

Scorsetti, A.C., R.A. Humber, C. De Gregorio, y L.C.C. López. 2008. New records of entomopathogenic fungi infecting *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*, pests of horticultural crops, in Argentina. BioControl 53, 787 https://doi.org/10.1007/s10526-007-9118-9

Scotta, R. R, D.A.E. Sánchez y C. Arregui, M. 2014. Determinación de las pérdidas causadas por la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) en cultivos de tomate bajo invernadero. Fave. Sección ciencias agrarias, 13(1), 29-34.

Toledo P. C. 2019. *Beauveria bassiana* con flupyradifurone para controlar *Trialeurodes vaporariorum* Vuill en el cultivo del ejote franés. Agronomía Mesoamericana, vol. 30 núm. 3, 647-657.

CONTROL MICROBIAL DE MOSCA BLANCA, *Bemisia tabaci* (Westwood) EN JITOMATE (*Solanum lycopersicum*) EN INVERNADERO

Héctor Cabrera Mireles[1]*, Félix David Murillo Cuevas[2], Rubén Uriel Herrera Bonilla[1], Magali Jimenez Jimenez[1], Jacel García Adame[2], Cecilia Reyes Loyola[1], Andrés Vásquez Hernández[1], Arturo Andrés Gomes[1], Jimena Ortega Patricio[1] y Aaron Santiago Peralta[1]

Resumen

La mosca blanca, *Trialuerodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*, se encuentran entre las principales plagas de los cultivos, en especial solanáceas y cucurbitáceas. Afectan el crecimiento, transmite virus que provocan enfermedades y favorece el desarrollo de fumagina. Tradicionalmente el control de la mosquita blanca ha sido con productos químicos, de los cuales, se tiende a abusar o emplear malas prácticas en su aplicación, propicia la resistencia de las plagas a diferentes grupos de insecticidas y contamina el medio ambiente. Los bioestimulantes agrícolas son microorganismos que se aplican a las plantas para mejorar la eficiencia nutricional y la calidad del cultivo. Los beneficios de la simbiosis entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) generalmente se asocian a la nutrición vegetal, aunque, también está relacionada con la resistencia inducida en el control de patógenos foliares, comedores de hojas y necrótrofos. El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de bioplaguicidas y su interacción con bioestimulantes bajo condiciones de invernadero en un clima cálido subhúmedo para el control de mosca blanca, *Bemisia tabaci*. Se evaluaron dos bioplaguicidas, *Isaria javanica* y *Beuveria bassiana* y un insecticida sintético, Movento®, contrastados con un tratamiento en blanco. Se evaluaron tres bioestimulantes, *Trichoderma harzianum* + *Rhizophagus intraradices*, Genifix® y Mix® con su correspondiente testigo. se llevó a cabo un diseño factorial en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con interacción. Se registró diferencia estadística significativa entre la eficiencia de los plaguicidas en ninfas; sin embargo, no se registraron diferencias en huevos ni adultos.

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia. hector_cabrera@hotmail.com
[2] Instituto Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

En el control de ninfas sobresalió *I. javanica* 307. En el total de organismos sobresalió *Beauberia bassiana.* Se demostró que los bioplaguicidas evaluados igualaron o superaron al insecticida comercial Movento en el control de ninfas de mosca blanca, lo cual los hace ser buenos prospectos para programas de manejo de poblaciones de mosca blanca, *B. tabaci*. Los bioplaguicidas *Isaria javanica* 307 y *Beauveria bassiana* resultaron similares por su mayor eficiencia para controlar a la población total de estados de desarrollo de *B. tabaci* y los dos superaron al insecticida comercial Movento, en invernadero en ambiente tropical.

Palabras clave: entomopatógenos, evaluación, eficiencia, muestreo, mortalidad

Introducción

El cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) por la demanda que tiene en el mercado local, nacional e internacional, es una de las hortalizas de mayor consumo *per cápita* a nivel mundial y de las más ampliamente cultivadas en invernadero tanto por su importancia economica, como por ser una fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes. La producción de jitomate a campo abierto se hace cada vez más difícil, debido a condiciones ambientales adversas y a la incidencia de plagas y enfermedades que afectan la productividad del cultivo (Carrillo *et al*, 2003). Sin embargo, Ruiz y Aquino (1999), como se citó en Carrillo, (2003) mencionan que las pérdidas en producción observadas frecuentemente alcanzan el 100%, especialmente en el periodo primaveral, en donde se observan las mayores densidades de mosca blanca.

Las tecnologías utilizadas actualmente en la agricultura protegida incluyen invernaderos, casas sombra, sistemas de túnel alto, entre otros, que permiten a los agricultores mejorar la rentabilidad al incrementar la productividad. De acuerdo con Castañeda (2007) el sistema de producción en invernadero ofrece la ventaja de que establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Permitiendo protegerlo del viento, plagas, enfermedades, etc. Esta protección permite controlar factores como la temperatura, humedad y hacer un control químico, biológico efectivo para proteger el cultivo, logrando un rendimiento más alto que el del sistema tradicional a cielo abierto. La mosca blanca se encuentra entre las principales plagas de los cultivos, en especial solanáceas y cucurbitáceas (Basso *et al*., 2001); las

especies más abundante son *Trialuerodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*. Ambas afectan el crecimiento, transmiten virus que provocan enfermedades y favorecen el desarrollo de fumagina en hojas y frutos (Scotta *et al*., 2014), su alimentación también provoca un debilitamiento por la extracción de nutrientes (Toledo, 2019).

Tradicionalmente el control de la mosquita blanca ha sido con productos químicos, de los cuales, se tiende a abusar o emplear malas prácticas en su aplicación (Toledo, 2019); tal situación ha dado lugar el uso masivo de plaguicidas propiciando la resistencia de la plaga a diferentes grupos de insecticidas que contaminan el medio ambiente.

La implementación de una agricultura sostenible para el control de plagas a partir del uso de bioplaguicidas, permitirá el manejo y uso racional de los recursos naturales, seguridad alimentaria y la reducción de la contaminación al medio ambiente (Figueroa *et al*., 2019; García-Hernández *et al*., 2020). El desarrollo de nuevos bioplaguicidas estimula la modernización de la agricultura y sin duda, va a sustituir gradualmente a una cantidad indefinida de plaguicidas químicos (Nava-Pérez *et al*., 2012).

Uno de los insecticidas de uso actual mas eficiente para control de mosca blanca es el insecticida comercial Movento® O Teq de Bayer (Bayer, 2022), el cual es activo sobre un amplio grupo de plagas del grupo de los homópteros (pulgones, moscas blancas y cochinillas). Este insecticida actúa especialmente por ingestión y muestra un marcado comportamiento sistémico ascendente y descendente. Los bioestimulantes agrícolas son microorganismos que se aplican a las plantas para mejorar la eficiencia nutricional y la calidad del cultivo, siendo algunos de éstos bioestimulantes, productos comerciales que contienen una mezcla de dichos microorganismos (Du jardin, 2015). Los biofertilizantes, pueden considerarse como una subcategoría de bioestimulantes, los cuales aumentan la eficiencia en el uso de nutrientes y abren nuevas vías de adquisición de nutrientes por parte de las plantas (Du jardin, 2015).

Los bioestimulantes microbianos incluyen hongos micorrícicos y no micorrícicos, bacterias endosimbióticas y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Calvo, *et al*., 2013; Calvo *et al*., 2014; Halpern *et al*., 2015).

Murillo, *et al*., (2021) mencionan que “los bioestimulantes en la horticultura son alternativas importantes, de tal manera que requieren ser evaluados local y temporalmente, para garantizar la eficiencia de estos y de esta manera definir mecanismos que optimicen su uso”.

Los beneficios de la simbiosis entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) generalmente se asocian a la nutrición vegetal, aunque, también está relacionada con el incremento de la tolerancia-resistencia de plantas a los estreses bióticos (MIR=resistencia adquirida por micorrizas). La resistencia inducida HFMA (MIR) es importante en el control de patógenos foliares, comedores de hojas y necrótrofos; incluso, se ha encontrado protección de plantas micorrizadas tanto a nivel local como sistémico, relacionada con los niveles de ácido jasmónico en tejidos (Ramírez y Rodríguez, 2012; Kloppholz, *et al*., 2011).

La baja rentabilidad de la actividad agrícola impulsa la investigación para desarrollar nuevos insumos, con el fin de proveer innovaciones tecnológicas que tiendan a maximizar el ingreso. Bajo estas condiciones, se presenta la alternativa de utilizar tecnologías compatibles con la actividad microbiológica para favorecer la nutrición de las plantas (Grageda-Cabrera, *et al*., 2012). El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad de bioplaguicidas que son productos orgánicos y su interacción con bioestimulantes de uso comercial, bajo condiciones de invernadero tipo cenital en un clima cálido subhúmedo para el control de mosca blanca *Bemisia tabaci*.

Materiales y Métodos

Diseño de tratamientos

Bioplaguicidas. Se evaluaron dos bioplaguicidas y un plaguicida sintético contrastados con un tratamiento en blanco, el insecticida comercial Movento® en dosis de 1.25 mL/L, los hongos entomopatógenos *Isaria javanica* (CHE-CNRCB 307), *Beuveria bassiana, ambos a dosis de* 5.0 mL/L y el correspondiente testigo sin aplicación.

Bioestimulantes. Se evaluaron tres bioestimulantes y el correspondiente testigo, BE 1 *Trichoderma harzianum cepa T22 de PHC® 0.5% + Rhizophagus intraradices® cepa INIFAP, en dosis de* 20 mL/planta cada mes; *BE2* Genifix® cepas de Bacillus del TecNM-ITUG 10 mL/planta cada mes; BE 3 Mix® comercial (mezcla de *Trichoderma harzianum T. viridae, T. asperellum y T. koningii*) 20 mL/planta cada mes y BE 4 Testigo.

Inoculación en charola germinadora

La metodología para la evaluación comenzó con la inoculación de semilla al momento de la siembra en charola con los tratamientos de los bioestimulantes: T22® 0.5% + R, Genifix®, Mix® y Testigo. Esto se repitió de manera quincenal hasta el día de su trasplante en el invernadero.

Delimitación de parcelas en invernadero

La delimitación de parcelas correspondió a un diseño en parcelas divididas en bloques completamente al azar; las parcelas grandes correspondieron a los Bioestimulantes y los Bioplaguicidas correspondieron a la parcela chica.

La parcela experimental consistió en seis plantas, en arreglo de doble hilera con tres plantas por hilera; la parcela útil correspondió a las dos plantas centrales de cada parcela experimental. Cada bloque consistió en los cuatro bioestimulantes (parcelas grandes) y cada bioestimulante contuvo a los cuatro tratamientos de bioplaguicidas. El experimento se repitió en dos camas de siembra. Cada cama contuvo dos bloques cada uno con cuatro parcelas grandes con cuatro parcelas chicas cada una y cada una de estas con tres plantas por hilera: 2x4x4x3=96 plantas por hilera por cama, lo que da a lugar 6 plantas en doble hilera por cada una de las 16 parcelas chicas por cada uno de los cuatro bloques

Diseño de muestreo

De cada parcela experimental se muestrearon dos plantas centrales (parcela útil) de las cuales se tomaron dos hojas al azar, una arriba y otra en la parte media de la planta, las cuales se colocaron de manera individual en bolsitas de plástico transparente previamente identificadas con respecto al diseño experimental para llevar un orden de cada tratamiento. Al momento en que se obtuvieron las dos hojas de muestra se contabilizó la presencia de mosca blanca adulta. Las bolsas fueron resguardadas en una hielera con una temperatura baja y llevadas al laboratorio de entomología del INIFAP donde se registró el número de organismos, por estado de desarrollo (huevo y ninfa) y se clasificaron en vivos, muertos y micosados. Para los conteos se utilizó un espacio de muestra de 1.2 x 1.2 cm; 1.44 cm^2, el cual se colocó en el envés de la hoja, colocando el área de muestreo desde la primera nervatura en forma diagonal en posición de la nervadura central. Los conteos se realizaron con microscopio estereoscópico. El primer muestreo se realizó por la mañana antes de la aplicación de los bioplaguicidas y plaguicida; cada muestreo se repitió en los días 1, 3, 5, 7 y 14 después de la aplicación de los productos.

Aplicación de los bioplaguicidas

La aspersión se realizó el mismo día en que se ejecutó el primer muestreo; el muestreo inicial se efectuó a partir de las 8:00 am en adelante y la aspersión se realizó ese mismo día partir de las 4:00 pm. La aplicación de los bioplaguicidas se realizó en bombas de aspersión diferentes para evitar contaminación entre productos. La forma de aspersión en gotas muy finas y a alta presión generando una neblina de producto para una adherencia eficaz por toda la planta, las aplicaciones fueron dirigidas el haz y el envés de las hojas del jitomate.

Diseño estadístico

Para el desarrollo del experimento, se llevó a cabo un diseño factorial en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con interacción. Los factores correspondieron a Bioplaguicidas (BP) (cuatro niveles), Bioestimulantes (BA) (cuatro niveles), Días después de la aplicación (dda) (cinco niveles) y las interacciones BP*BE, BP*dda. Las variables de respuesta fueron: número de huevos vivos, número de ninfas vivas y número de adultos vivos Los datos de los muestreos fueron transformados a eficiencia (%) mediante la fórmula de Henderson y Tilton, (Henderson y Tilton, 1955) donde:

$$\text{Eficiencia}\,\% = \left(1 - \frac{(\text{n en Co antes del tratamiento} * \text{n en T después del tratamiento})}{(\text{n en Co después del tratamiento} * \text{n en T antes del tratamiento})}\right) * 100$$

Donde: n = número de insectos, T = tratado, Co = control

Para el análisis estadístico se utilizó el programa GLMM univariado, mediante los paquetes estadísticos SPSS 20 e INFOSTAT, obteniendo el análisis de varianza de los factores independientes y su interacción. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Resultados

Se registró diferencia estadística significativa entre la eficiencia de los plaguicidas en ninfas ($F_{2,444}$=3.26, *P*=0.039), y total de organismos ($F_{2,639}$ =3.34, *P*=0.035); no se registraron diferencias en adultos ($F_{2,474}$ =0.02, *P*=0.982), y huevos ($F_{2,344}$ =2.53, *P*=0.081). En la Figura 1 se muestra la eficiencia de plaguicidas contra ninfas, se observa que *Isaria javanica* 307

presentó el mayor promedio y fue estadísticamente diferente a *Beauberia bassiana* y compartió similitud con el producto comercial Movento.

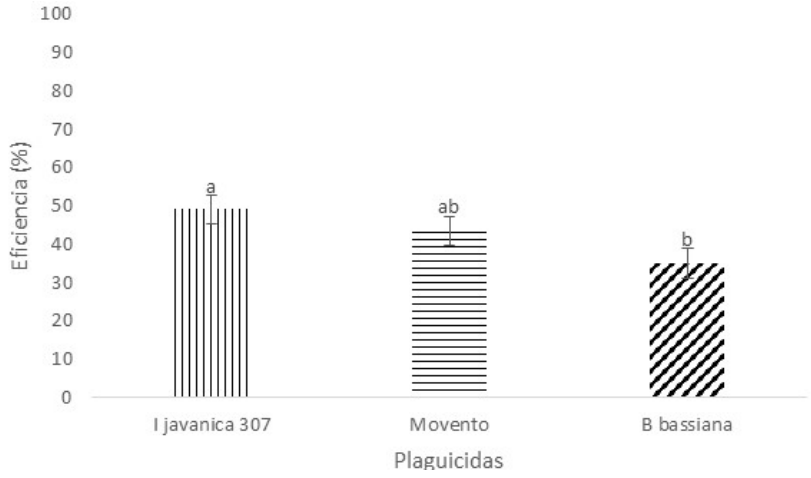


Figura 1. Eficiencia de plaguicidas contra ninfas de mosca blanca en jitomate variedad Atrevido en ambiente protegido.

En la interacción plaguicida*bioestimulante (Figura 2), en ninfas, se registró diferencia estadística altamente significativa ($F_{6,444}$ =6.86, *P*=0.0001), la mejor interacción fue *Isaria javanica* 307 * Genyfix con mayor promedio de 78% de eficiencia y compartió similitud estadística con T22+R* Movento e *I. javanica* 307 y Testigo * Movento y completamente diferente a Mix en todas sus interacciones.

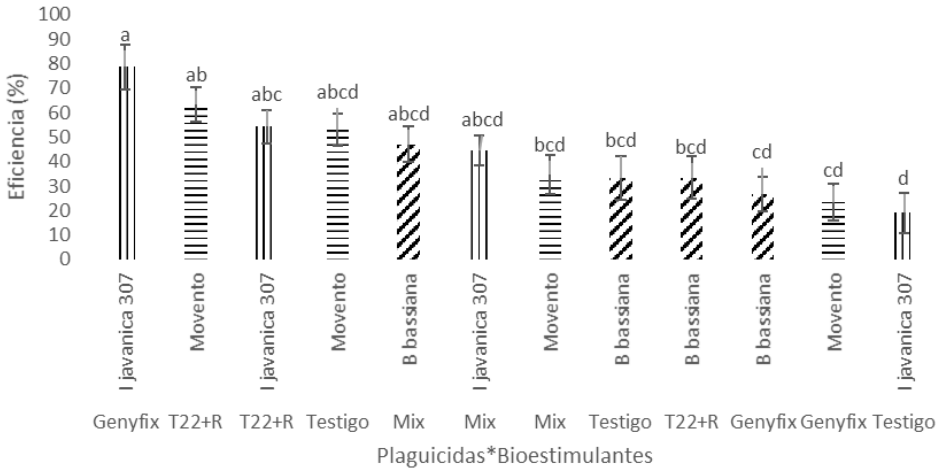


Figura 2. Eficiencia en la interacción plaguicidas*bioestimulantes en el control de ninfas de mosca blanca en jitomate variedad Atrevido en ambiente protegido.

Tomando en cuenta el total de organismos de la mosca blanca se observó que *Beauberia bassiana* presentó mayor porcentaje de control y fue significativamente diferente a Movento y compartió similitud estadística con *Isaria javanica* 307 (Figura 3).

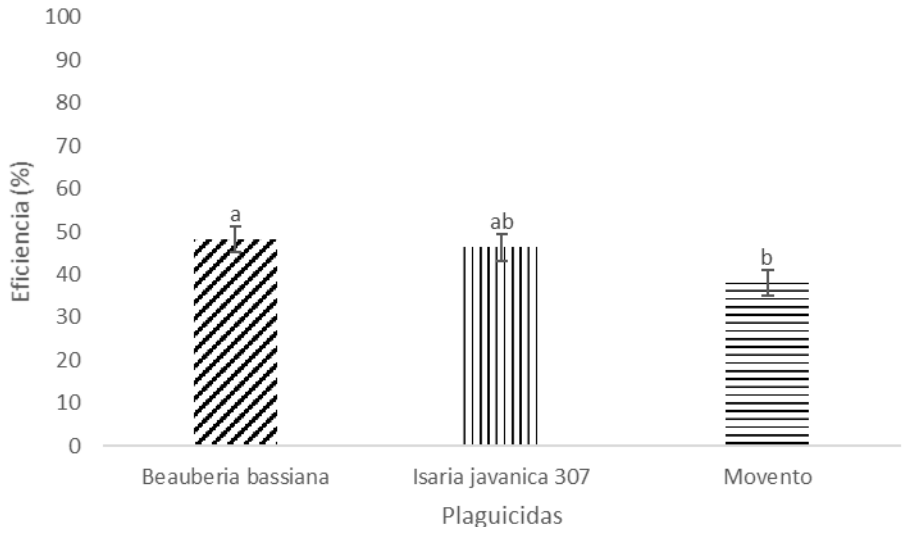


Figura 3. Eficiencia de plaguicidas contra mosca blanca en jitomate variedad Atrevido en ambiente protegido.

Respecto a la interacción plaguicida*bioestimulante (Figura 4), en el total de organismos se observó diferencia estadística ($F_{6,639}$ =2.57, *P*=0.018), la mejor interacción se dio en *Beauberia bassiana* * Testigo y diferente estadísticamente a Movento * Mix.

Cuando se registró la eficiencia de los plaguicidas tomando en cuenta los días después de la aplicación en cada estadio de la plaga se pudo observar la variación de eficiencia de los plaguicidas a través del tiempo. Para el caso de huevos se observó que *Beauberia bassiana* presentó el mayor promedio en todo el tiempo de estudio llegando al día 14 con 80%; en el caso de ninfas fue *Isaria javanica* 307 quien presentó mejores promedios con el máximo valor en el día 5 con 54%, en la gráfica de adultos se observa que en *B. bassiana* y Movento se registraron los promedios más altos cada uno en diferente día de estudio, pero cabe señalar que el mejor promedio se dio en *B. bassiana* al día 3 con 79% de eficiencia.

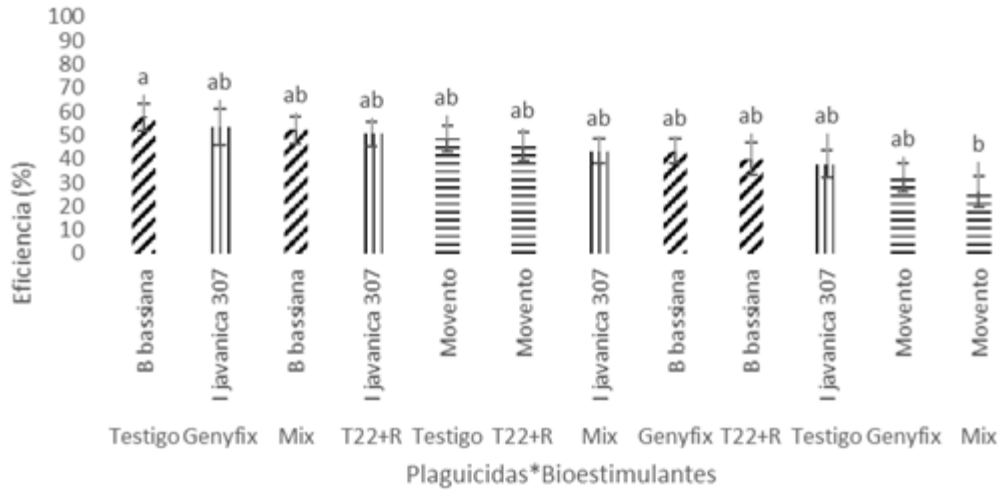


Figura 4. Eficiencia en la interacción plaguicidas*bioestimulante contra mosca blanca en jitomate variedad Atrevido en ambiente protegido.

Nuestros resultados difieren con lo reportado por Góngora-Gamboa, *et al*. (2020), quienes observaron que el tratamiento químico evaluado fue el más efectivo para suprimir poblaciones de adultos de *B. tabaci* cuando las poblaciones fueron bajas, pero cuando hubo incremento poblacional de *B. tabaci*, el tratamiento Biorracional Intermedio fue el más efectivo.

Dos Santos, *et al*. (2018) reportaron que todos los aislados de *I. javanica* a 5 × 107 conidios/mL infligieron mortalidad ninfal hasta en un 62,4%. Las combinaciones con el hongo y buprofezina o espiromesifen aumentaron la mortalidad ninfal en un 10% y 24%, respectivamente, mientras que en nuestro trabajo se alcanzaron valores promedio de mortalidad de hasta 90% con *Isaria javanica* 307 en combinación con el bioestimulante Genifix, lo cual representa una estrategia más amigable ya que no utiliza insecticidas sintéticos.

En este documento, se reporta la interacción positiva de bioestimulantes que potencian la eficiencia de bioplaguicidas (Figura 5), como se demuestra con el tratamiento T22+R y con el Genifix, lo cual concuerda con muchos estudios han mostrado efectos beneficios de la utilización de *Glomus mosseae, Glomus intraradices, Glomus clarum, Gigaspora gigantea,* y *Gigaspora margarita* en diversos cultivos, por mejoramiento de crecimiento, nutrición, toma de agua y resistencia a plagas (Guenoune *et al*., 2001; Abdel-Fattah y Shabana 2002; Hacisalihoglu *et al*., 2005; Chandanie *et al*., 2006; Abdel-Fattah, *et al*., 2011).

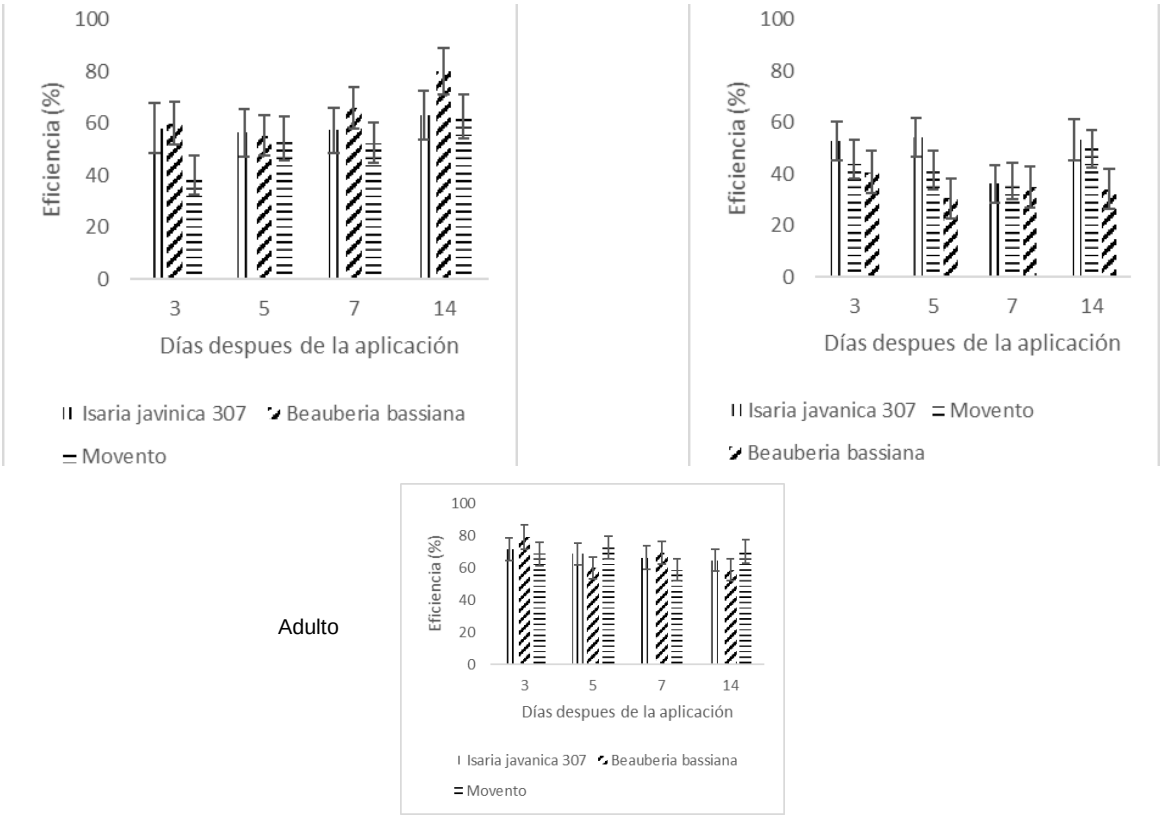


Figura 5. Eficiencia de plaguicidas en relación a los días después de la aplicación en el control de mosca blanca en jitomate variedad Atrevido en ambiente protegido.

Conclusiones

1. Los bioplaguicidas evaluados igualaron o superaron al insecticida comercial Movento en el control de ninfas de mosca blanca, lo cual los hace ser buenos prospectos para programas de manejo de poblaciones de mosca blanca, *B. tabaci*, en invernadero en ambiente tropical; 2. El estado de ninfa de mosca blanca resultó más eficientemente controlado por el entomopatógeno *Isaria javanica* 307 en jitomate en invernadero, así como la combinación del bioplaguicida *Isaria javanica* 307 con el bioestimulante Genifix resultó con mayor eficiencia para controlar ninfas de *B. tabaci*, lo cual fue similar al efecto del bioestimulante T22+R en combinación con el bioplaguicida *I. javanica* 307 y con el insecticida Movento; 3. Los bioplaguicidas *Isaria javanica 307* y *Beauveria bassiana* resultaron similares por su mayor eficiencia para controlar a la población total de estados de desarrollo de mosca blanca, *B. tabaci* y los dos superaron al insecticida comercial Movento.

Literatura Citada

Abdel-Fattah, G. M. y Y. M. Shabana. 2002. Efficacy of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus clarum*) in protection of cowpea plants from root rot pathogen *Rhizoctonia solani*. J Plant Dis Protect. 109(2):207-215.

Abdel-Fattah, G. M., S. A. El-Haddadb, E. E. Hafezc and Y. M. Rashadd. 2011. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. Microbiological Research. 166: 268-281.

Basso, C., J. Franco, G. Grille, y C. Pascal, 2001. Distribución espacial de *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en plantas de tomate. *Bol* SanVeg: Plagas. *27*:475-487.

Bayer. 2022. https://www.cropscience.bayer.es/Productos/Insecticides/Movento-150-O-Teq Consultado 20 julio 2022.

Calvo, P. B., D. Watts, R. N. Ames, J. W. Kloepper and H. A. Torbert. 2013. Microbial-based inoculants impact nitrous oxide emissions from an incubated soil medium containing urea fertilizers. J Environ Qual 42:704–712. https://doi.org/10.2134/jeq2012.0300

Calvo, P., L. Nelson, y W. Kloepper, J. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil 383, 3–41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Carrillo, R. J.C., S. J.L.Chávez, O. G. Rodríguez, V. R. Enríquez y A. Y. Villegas. 2013. Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de Jitomate (*Solanum Lycopersicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6:*1081-1091.

Castañeda, M. R., E. Ventura, R. del R. Peniche-Vera y G. Herrera R. 1999. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. Agrociencia, 41(3):317-335. ISSN 1405-31952007

Chandanie, W.A., M. O. T. I. Kubota and M. M. Hyakumachi. 2006. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* and plant growth promoting fungus *Phoma* sp. on their root colonization and disease suppression of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Annu Rep Int Res Inst Environ Sci. 24: 91-102.

Du jardin. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 3-14.

Dumas-Gaudot, E., A. Gollotte, C. Cordier, S. Gianinazzi and V. Gianinazzi- Pearson V. 2000. Modulation of host defence systems. *In*: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Academic Publishers. 173-200.

Figueroa, G. A.M., E A. Castro T. y H T. Castro S. 2019. Efecto bioplaguicida de extractos vegetales para el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Acta Biológica Colombiana, *24* (1):58-66. https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69333

García-Hernández, S. A., J. Marín-Sánchez, M. Romero-Méndez, C. Hernández-Pérez y S. López-Aguirre. 2020. Productive and quality response of six varieties of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to organic fertilization in Guadalzacar, S.L.P. Revista Bio Ciencias 7, e743. Doi: https://doi.org/10.15741/revbio.07.e743.

Góngora-Gamboa, C. de J., E. Ruiz-Sánchez, H. S. Ballina-Gómez y A. González- Góngora-Gamboa *et a*l. 2020. Efecto de insecticidas biorracionales y neonicotinoides en las poblaciones de *Bemisia tabaci* y rendimiento de fruto en tomate. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 23: #13.

Grageda-Cabrera, O. A., A. Díaz-Franco, J. J. Peña-Cabriales y J. A. Vera-Nuñez. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3(6):1261-1274.

Halpern, M., A. Bar-Tal, M. Ofek, D. Minz, T. Muller and U. Yermiyahu. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *In*: Sparks, D. L. (Ed.). Advances in Agronomy.129:141-174. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001.

Kloppholz, S., H. Kuhn and N. Requena. 2011. A secreted fungal effector of Glomus intraradices promotes symbiotic biotrophy. Curr Biol. 21: 1204-1209.

Nava-Pérez, E., C. García-Gutiérrez, J. R. Camacho-Báez, y E. L. Vázquez-Montoya, 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México. Ra Ximhai, vol. 8(3b):17-29. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177003.

Murillo, C., F. Adame-García, J. Villegas-Narváez, J. Cabrera-Mireles, A. Vásquez- Hernández y J. Juárez Castañeda. 2021. Bioestimulantes en la calidad de frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de macrotúnel. *In*: Zetina, L. R., O. H. Tosquy V., A. L. Del Ángel P., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., V. A. Esqueda E y C. Perdomo M. (eds). 2021. Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades. P: 135-144. Libro electrónico. 2116 p.

Ramírez, G. M. y A. Rodríguez. 2012. Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión Plant defense mechanisms and responses in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: a review. Rev. Colomb. Biotecnol. XIV(1): 271-284.

Ruiz, J.V. y T. Aquino B. 1999. Manejo de *Bemisia tabaci* mediante barreras vivas y *Paecilomyces* en Oaxaca, México. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología Número 52. CATIE, Turrialba(CostaRica). ISSN1016-0469. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7192.

Scotta, R. R., D. A. E. Sánchez y C. Arregui M. 2014. Determinación de las pérdidas causadas por la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*) en cultivos de tomate bajo invernadero. *Fave. Sección ciencias agrarias*, *13*(1), 29-34. Recuperado en 07 de mayo de 2022. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192014000100003&lng=es&tlng=es

Toledo, P. C. 2019. *Beauveria bassiana* con flupyradifurone para controlar *Trialeurodes vaporariorum* Vuill en el cultivo del ejote franés. Agronomía Mesoamericana, vol. 30 núm. 3, 647-657.

COMBATE CON FUNGICIDAS QUÍMICOS SINTÉTICOS DE ESPECIES AGRESIVAS DE ANTRACNOSIS EN PAPAYA DE TABASCO

Rebeca Rodríguez Falconi[1], Jorge Gustavo Rodríguez Escobar[2]*, Iván López Córdoba[3]

Resumen

El interés por conocer cómo combatir problemas fitosanitarios entre los que destaca la antracnosis de la fruta del cultivo de papaya de Tabasco, fue el motivo para desarrollar la presente investigación enfocada a evaluar el efecto de fungicidas sintéticos comerciales contra tres aislamientos de la antracnosis de frutos. La investigación se realizó en los laboratorios de los Campos Experimentales de Huimanguillo, Tabasco y Cotaxtla Veracruz del INIFAP. En el laboratorio, in vitro, se realizó el control químico sobre tres de los aislamientos extraídos de frutas de Tabasco. Los fungicidas que se utilizaron fueron seis, los cuales se evaluaron con tres distintas concentraciones del producto (mitad de la dosis recomendada, dosis recomendada y doble de dosis recomendada) y disueltos en agua con distinto potencial de Hidrógeno (pH 5 y pH 6), con cinco repeticiones. Los datos se analizaron como un factorial A(3)xF(6)xC(3)xP(2). Se obtuvo significancia para varios factores (Tukey α= 0.05), por el interés de la aplicabilidad de la información se tomaron los factores individuales y la interacción de factores. Para el factor aislamientos, el aislamiento dos: H2-2F2, fue el que presentó mayor inhibición del hongo. Del factor fungicidas presentaron significancia benomyl y fludioxonil más ciprodinil, Para el factor de concentraciones de fungicidas destacó la dosis comercial. Para pH del agua de dilución que sobresalió fue el pH 5. Para la interacción de factores presentaron significancia cuatro.

[1] Campo Experimental Rio Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Km. 61 Carr. Matamoros-Reynosa. C.P. 88900. Rio Bravo, Tamaulipas, México.
[2] Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Km. 34.5 Carr. Córdoba-Veracruz. C.P. 94270. Medellín de Bravo, Veracruz, México. *Autor por correspondencia: rodriguez.gustavo@inifap.gob.mx
[3] Instituto Tecnológico de Huimanguillo, TecNM. Km.98.1 Carr. Del Golfo Malpaso-El Bellote. C.P. 86400. Huimanguillo, Tabasco, México.

tratamientos: 1) aislamiento H3-F3-M1, tratado con el fungicida benomil, a la concentración comercial, a un pH 5 del agua de dilución; 2) aislamiento 1-E, tratado con el fungicida benomil, a la concentración baja, a un pH 6; 3) aislamiento 1-E, tratado con el fungicida ciprodinil más fludioxonil, a la concentración alta, a un pH 5; y 4) es aislamiento H2-2F2, tratado con el fungicida Buscalid más pyraclostrobin, a la concentración comercial, con un pH 5 del agua de dilución.

Palabras clave: aislamientos, *Colletotrichum* spp., benomil, ciprodinil más fludioxonil, inhibición

Introducción

El cultivo de papaya se convierte en una alternativa para los productores de Tabasco. En México se cultivan 20,806.19 ha de papaya y en Tabasco se siembran 214 ha en cinco municipios: Balancán, Cunduacán, Centro, Tacotalpa y Huimanguillo; éste estado destaca por presentar un rendimiento promedio de 78.86 t/ha, lo que lo coloca como el tercer estado con más alto rendimiento del país (SIAP, 2022). Como uno de los resultados de los talleres de captación de la demanda de investigación y transferencia de tecnología para el cultivo de papaya los productores y técnicos del estado de Veracruz y algunos del estado de Tabasco sugirieron identificar cuáles son las especies o aislamientos del hongo *Colletotrichum* que se asocian a la antracnosis y que les ocasiona pérdidas en sus cultivos. La antracnosis es una enfermedad importante en papaya, es causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (teleomorfo: *Glomerella cingulata*), es la principal enfermedad postcosecha en los trópicos, sin embargo, en ocasiones es sustituida por poblaciones *C. truncatum* (Aktaruzzama *et al*., 2017), en México ambas especies son muy importantes por ser la causa de antracnosis en frutos (Rojo-Baez *et al*., 2017). En Veracruz de 35 aislamientos se identificaron dos especies: *C. capsici* y *C. truncatum* (Rodríguez *et al*., 2018); mientras que de Yucatán se obtuvieron 37 aislamientos y de estos identificaron seis morfotipos (Torres *et al*., 2013).

En huertos de papaya de Veracruz se obtuvieron aislamientos sobre los que se usaron fungicidas *in vitro* con dos pH (5 y 6), el ciprodinil más fludioxonil funcionó en los dos pH de

dilución del fungicida, su mejor efecto de inhibición lo presentó en pH 6, tuvo efecto sobre seis aislamientos, mientras que el benomil al mismo pH presentó efecto sobre cinco aislamientos, sin embargo en pH 5 solo afectó un aislamiento; en adición el efecto de los seis fungicidas a éste pH sobre los aislamientos del hongo fue menor; respecto a la concentración del agroquímico para inhibir el hongo destaca la dosis comercial en gran medida asociada a la dosis del doble del producto como más efectiva (Rodríguez *et al*., 2021). En Yucatán se evaluó la sensibilidad de *C. truncatum* a cuatro fungicidas: azoxystrobin, thiabendazol, ciprodinil más fludioxonil y mancozeb, los aislamientos fueron resistentes a azoxystrobin y thiabendazol y susceptible a los dos últimos fungicidas (Torres–Calzada *et al.*, 2015). Estudios *in vitro* realizados en Morelos evaluaron la sensibilidad a siete fungicidas: benomil, difenoconazol, azoxystrobin, trifloxystrobin, oxicloruro de cobre, fluoxastrobin y captan, a dosis alta, media y baja; como resultado benomil, difenoconazol y captan lograron más del 50% de inhibición para *C. acutatum* , mientras que azoxystrobin no alcanzaron el 50% de inhibición del hongo, para el factor dosis de los fungicidas y la interacción no se presentó efecto significativo (Guillén *et al*., 2017). En Colombia se evaluó el efecto *in vitro* de cuatro fungicidas: benomil, carbendazim, clorotalonil y dodine sobre *Colletotrichum* gloeosporioides, causante de la antracnosis de la uva, se midió la inhibición del crecimiento milelial. El benomil y el clorotalonil fueron los más eficientes; se usaron cinco repeticiones. Los benzimidazoles: benomil, y carbendazim fueron los mejores, se usaron tres dosis de fungicidas y en esta investigación con la dosis comercial de benomil la esporulación de *C*. *gloeosporioides* fue inhibida en mayor tasa (López y Castaño, 2020).

Modo de acción de los fungicidas (MoA) se refiere al proceso celular específico que inhibe cada fungicida en particular (Cuadro 2). El código FRAC se refiere a una insensibilidad adquirida y heredada de un hongo a un agente antifúngico (fungicida) específico. En campo cuando se presenta resistencia a uno de los miembros del grupo, es probable, aunque no cierto que se presente resistencia cruzada a otros miembros del grupo. El uso de diversos fungicidas para el control es benéfico, sin embargo, el uso continuo de MoA durante años presenta riesgos al incrementar la posibilidad de desarrollo de resistencia. Respecto a la resistencia registrada para los fungicidas se menciona lo siguiente: azoxystrobin, benomyl, pyraclostrobin y difenoconazol se indica que es común inducir la resistencia en algunas especies de hongos, aunque presentan diferentes modos de acción, fludioxonil se considera un producto de bajo a mediano riesgo, ciprodinil un producto de mediano riesgo, buscalid de mediano a alto riesgo,

y mancozeb generalmente se considera dentro de un grupo de bajo riesgo para inducir resistencia a fungicidas, presenta actividad multisitio (FRAC, 2022; FRAC España, 2022).

Con base a lo citado, al interés por el cultivo de papaya de productores de Tabasco por conocer cómo combatir problemas fitosanitarios entre los que destaca la antracnosis de la fruta, se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de fungicidas sintéticos comerciales contra tres aislamientos de la antracnosis de frutos de papaya de Tabasco in vitro.

Cuadro 2. Fungicidas evaluados en la investigación de control de aislamientos obtenidos de huertos de papaya en Tabasco.

Nombre técnico	Grupo químico	MoA	FRAC
Azoxystrobin	Metoxiacrilatos	C. Respiración	11
Benomyl	Benzimidazoles	B. Citoesqueleto y proteína motora	1
Mancozeb	Ditiocarbomatos	M. Fungicidas Actividad multisitio	M 03
Buscalid + pyraclostrobin	Pyridinocarboxamidas	C. Respiración	7
	Metoxicarbomatos	C. Respiración	11
Ciprodinil + fludioxonil	Anilinopyrimidinas	D. Aminoácidos y síntesis de proteínas	9
	Fenilpyrroles	E. Señales de transducción	12
Difenoconazol	Triazoles	G1. Biosíntesis del esterol membranas	3

Materiales y Métodos

La investigación fue realizada en los laboratorios de los Campos Experimentales de Huimanguillo, Tabasco y Cotaxtla Veracruz (latitud 18°56’03”, longitud 96°11’23”), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El muestreo se inició en el mes de enero en el estado de Tabasco en donde se muestrearon tres huertos de papaya del municipio de Huimanguillo.

Se aplicó un diseño estadístico factorial, con cuatro factores: aislamientos, fungicidas, concentración de fungicidas y pH del agua de dilución. Los fungicidas que se utilizaron fueron seis (Cuadro 1), los cuales se evaluaron con tres distintas concentraciones del producto (mitad de la dosis recomendada, dosis recomendada y doble de dosis recomendada) y disueltos en agua con distinto potencial de Hidrógeno (pH 5 y pH 6), con cinco repeticiones. De los huertos visitados, por medio de un muestreo dirigido, se colectaron frutas de las cuales se obtuvieron

aislamientos; de éstos se seleccionaron los tres más agresivos por su velocidad de crecimiento y el tamaño de la mancha. La información de la colecta fue registrada con ubicación por GPS, clave o productor, fecha de colecta y genotipo (Cuadro 2). Al colectar se cuidó que la fruta no presentara golpes, raspaduras, maduración por el sol y que no tuviera contacto con el suelo para evitar tener alteraciones en la investigación; se envolvieron en papel estraza y se llevaron al laboratorio del CE-Huimanguillo. Todas las frutas se encontraban en la etapa fisiológica de madurez, es decir, con una o dos vetas de maduración.

Cuadro 2. Información de los tres huertos de papaya muestreados en los municipios de Huimanguillo y Cárdenas, Tabasco.

Coordenadas Latitud Longitud	Clave	Colectado	Genotipo
1. 18°00´13" 93°16´41"	1. 1-E	Enero	1 MSXJ
2. 17°46´26" 93°41´78"	2. H2-2F2	Enero	2 Criolla
3. 17°49´37" 93°23´08"	3. H3-F3-M1	Enero	3 Criolla

Los agroquímicos se pesaron en una balanza analítica MettlerH31AR, se usó agua destilada y el pH se ajustó con un potenciómetro Corning pHmeter 220.

Al llegar al laboratorio la fruta fue medida y pesada, se lavó para eliminar la materia orgánica adherida en la fruta. Las papayas se colocaron dentro de la cámara húmeda para provocar la presencia de *Colletotrichum.* Los hongos que se extrajeron se inocularon en frutas sanas para realizar los postulados de Koch y obtener los patógenos más agresivos.

Control *in vitro.* En el laboratorio de fitopatología del Campo Experimental Cotaxtla se realizó el control químico sobre los aislamientos extraídos de frutas de Tabasco. Los fungicidas utilizados fueron seis (Cuadro 1), los cuales se evaluaron con tres distintas concentraciones del producto (mitad de la dosis recomendada, dosis recomendada y doble de dosis recomendada) y disueltos en agua con distinto potencial de Hidrógeno (pH 5 y pH 6). Un aislamiento expuesto a una concentración y disuelta en un pH se repitió en cinco ocasiones. Se incubaron, por 24 horas, 90 cajas Petri con PDA, se usó una dosis de inoculo $1X10^6$ de esporas por mililitro. En cada caja inoculada se colocaron siete discos de papel filtro de 5 mm, seis perimetralmente equidistantes y el séptimo al centro. Se aplicó 30 µl de tratamiento en cada uno de los seis discos, y en el testigo solo agua estéril. La variable de estudio fue la

inhibición del hongo, en milímetros, medida tanto a lo largo como a lo ancho para este estudio se tomó la media. Los datos se analizaron como un factorial A(3)xF(6)xC(3)xP(2). Se obtuvo significancia para varios factores (Tukey α= 0.05), por el interés de la aplicabilidad de la información se tomaron los factores individuales y la interacción de factores. Se usó el analizador SAS versión 9.4 (SAS, 2022).

Resultados y Discusión

El resultado de la comparación de medias por el análisis de varianza (ANOVA), para un factorial A(3)xF(6)xC(3)xP(2), con cinco repeticiones, que permitió evaluar el efecto de fungicidas químicos sintéticos contra especies agresivas de antracnosis en papaya de Tabasco, indica que hay significancia (α= 0.05) para el factorial aislamientos, fungicidas, concentración de fungicidas, pH del agua de dilución y la interacción de factores (Cuadro 3); además de que se apreciaron interacciones dobles y triples de factores. Por el interés del manejo que se da a las fuentes de variación de un factor por los productores y técnicos, además del costo que representa manejar varios factores simultáneamente solo se tomarán en cuenta las fuentes de variación de un factor y la interacción de factores. Se analizaron 540 datos.

Cuadro 3. Análisis de varianza para los factores que tuvieron un efecto inhibitorio, del crecimiento de tres aislamientos del hongo *Colletotrichum* spp., desarrollado *in vitro*.

Origen	Grados libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F
Aislamientos	2	16.7387	8.3693	48.77	<0.0001
Fungicidas	5	99.4525	19.8905	115.9	<0.0001
Concentración	2	2.2799	1.1399	6.64	0.0015
pH	1	5.3902	5.3902	31.41	<0.0001
Aisl*Fung	10	44.0785	4.4079	2569	<0.0001
Aisl*pH	2	5.4721	2.736	15.94	<0.0001
Fung*pH	5	3.5832	0.7166	4.18	0.0011
Aisl*Fung*Conc	20	6.5724	0.3286	1.81	0.0109
Aisl*Conc+ pH	4	3.043	0.7607	4.43	0.0017

Continúa Cuadro 3…

Origen	Grados libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr>F
Fung*Conc*ph	10	5.2784	0.5278	3.08	0.0009
Aisl*Fung*Conc*pH	24	11.7999	0.4916	2.86	<0.0001

Aisl= Aislamientos; Fung= Fungicidas, Conc= Concentración, pH= potencial de hidrógeno.

Factor aislamiento. El test de Tukey (α= 0.05), nos indica que el aislamiento dos (H2-2F2) es el que presenta mayor inhibición del hongo respecto a los aislamientos uno (1-E) y tres (H3-F3-M1); su sensibilidad a los tratamientos lo distingue de los otros aislamientos (figura 1). En Tabasco se obtuvieron 11 aislamientos que reprodujeron síntomas de manchas y pudriciones de la fruta, se evaluaron por la técnica de postulados de Koch y se seleccionaron cuatro aislamientos agresivos en fruta, para esta investigación se evaluaron tres, en investigaciones similares de papaya se obtuvieron 37 aislamientos de Yucatán (Torres *et al*., 2013) y 35 aislamientos de Veracruz (Rodríguez *et al*., 2018), de los aislamientos de Veracruz se identificaron: *C. capsici* y *C. truncatum* lo que nos hace pensar que tal vez haya más de una especie en Tabasco.

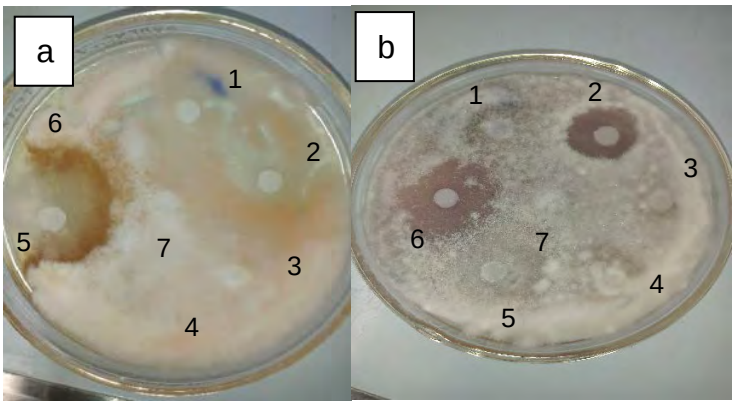


Figura 1. a) asilamiento H2-2F2 pH 5 a concentración comercial; b)1E a concentración baja pH 6

Factor fungicida. Se observó significancia en el dos (benomyl) y el cinco (fludioxonil más ciprodinil), ambos de tipo sistémico. Los fungicidas uno (azoxystrobin) y el tres (mancozeb) presentaron el menor efecto de inhibición de los aislamientos del hongo. En una investigación con aislamientos de *Colletotrichum* spp. obtenidos de huertos de Veracruz los dos fungicidas citados presentaron un efecto similar en la inhibición del hongo *in vitro*, mientras que en esta investigación el mejor efecto inhibitorio fue para benomil seguido de ciprodinil más fludioxonil

para los aislamientos de Tabasco; para los aislamientos de Veracruz presentó mejor efecto el ciprodinil más fludioxonil, seguido del benomil (Rodríguez *et al*., 2021). Resultados similares a este trabajo se registraron en investigaciones realizadas en Morelos, donde el benomil y difenoconazol lograron más del 50% de inhibición para *C. acutatum,* mientras que en Colombia los benzimidazoles: benomil, y carbendazim, fueron los mejores (Guillén *et al*., 2017; López y Castaño, 2020). Para estos aislamientos de Tabasco el menor efecto de inhibición del patógeno lo presentó azoxystrobin igual comportamiento se presentó con aislamientos de frutos de papaya de Veracruz y de Yucatán (Rodríguez *et al*., 2021; Torres-Calzada *et al.*, 2015), y para *C. acutatum* de Morelos (Guillén *et al*., 2017). Recientemente las empresa de agroquímicos para minimizar el efecto de resistencia a sus productos han generado grupos de trabajo y éstos diseñaron el uso de los MoA de los fungicidas y los códigos FRAC, en ellos se indica que es común inducir la resistencia en algunas especies de los hongos hacia los fungicidas como se indica para azoxystrobin, benomyl, pyraclostrobin y difenoconazol, mensaje que nos sirve para dar un adecuado manejo a los agroproductos a pesar de que sean sobresalientes en estas investigaciones (FRAC, 2022; FRAC España, 2022).

Factor concentración de fungicidas. Destacó la dosis comercial con significancia en diferencia de medias, este efecto de la dosis comercial también se presentó en la investigación desarrollada para siete aislamientos de antracnosis de Veracruz (Rodríguez *et al*., 2021), y resultados similares se obtuvieron en Colombia para *C. gloeosporioides* con benomil (López y Castaño, 2020), y en un estudio realizado en Morelos para *C. acutatum* el factor dosis no presentó efecto significativo (Guillén *et al*., 2017).

Fuente de variación pH del agua. Sobresalió el pH 5, en esta solución funcionaron mejor los fungicidas para esta investigación, estos resultados son semejantes a los registrados para evaluar el efecto inhibidor de 5 fungicidas para controlar cinco aislamientos de *Colletotrichum* spp. de Veracruz, cabe mencionar que cada fungicida funcionó sobre un aislamiento excepto por el mancozeb que a ese pH inhibió cinco aislamientos (Rodríguez *et al*., 2021).

Interacción de factores presentaron significancia cuatro tratamientos: 1) A3-Fung 2-concentración comercial-pH 5, 2) A1-Fung 2-concentración baja-pH 6, 3) A1-Fung 5-concentración alta-pH 5, 4) A2-Fung 4-concentración comercial-pH 5, se interpreta de la siguiente manera. 1) igual a aislamiento H3-F3-M1, tratado con el fungicida benomil, a la concentración comercial, a un pH 5 del agua de dilución; 2) es aislamiento 1-E, tratado con el

fungicida benomil, a la concentración baja, a un pH 6 del agua de dilución; 3) el aislamiento 1-E, tratado con el fungicida ciprodinil más fludioxonil, a la concentración alta, a un pH 5 del agua de dilución; y 4) el aislamiento H2-2F2, tratado con el fungicida Buscalid más pyraclostrobin, a la concentración comercial, con un pH 5 del agua de dilución, como se aprecia de los 108 tratamientos estos cuatro fueron los que presentaron significancia. Destaca el aislamiento uno dos veces, el fungicida benomil dos veces, igual la concentración comercial dos veces y el pH 5 en tres ocasiones se repite, lo cual se relaciona con los resultados obtenido para los factores simples de esta investigación.

Conclusiones

1. El aislamiento dos del hongo (H2-2F2) de Tabasco, para esta investigación, es el que presenta mayor sensibilidad a los tratamientos con fungicidas. 2. Los fungicidas benomyl y fludioxonil más ciprodinil presentaron mejor efecto de inhibición de estos aislamientos del hongo. 3. La concentración del fungicida más destacada fue la dosis comercial. 4. Respecto al pH del agua de dilución sobresalió el pH 5. 5. Para la interacción de factores presentaron significancia cuatro tratamientos: 1) aislamiento H3-F3-M1, tratado con el fungicida benomil, a la concentración comercial, a un pH 5 del agua de dilución; 2) aislamiento 1-E, tratado con el fungicida benomil, a la concentración baja, a un pH 6 del agua de dilución; 3) aislamiento 1-E, tratado con el fungicida ciprodinil más fludioxonil, a la concentración alta, a un pH 5 del agua de dilución; y 4) es aislamiento H2-2F2, tratado con el fungicida Buscalid más pyraclostrobin, a la concentración comercial, con un pH 5 del agua de dilución.

Literatura Citada

Aktaruzzaman, Md., T. Afroz, L. Young-Gyu and K. Byung-Sup. 2017. Post-harvest anthracnose of papaya caused by *Colletotrichum truncatum* in Korea. Eur. J. Plant Pathol. 150 (1): 259-265.

Arce-Araya, C., I. Varela B. y S. Torres. 2019. Inhibición del crecimiento micelial de hongos asociados a antracnosis en ñame (*Dioscorea alata*). Agronomía Mesoamericana. 30(2):381-395.

Fungicide Resistance Action Committee (FRAC Code List). 2022. Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC groups on product label. 17 p. https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2 [consultado el 30 de Julio de 2022]

Fungicide Resistance Action Committee (FRAC España). 2022. Clasificación de fungicidas y bactericidas según el modo de acción. Segunda edición. 26 p. https://www.aepla.es/wp-content/uploads/2022/04/FOLLETO-Clasificacion-MdA-de-fungicidas-y-bactericidas_2022.pdf [consultado el 30 de julio de 2022]

Guillén, S. D., C. I. Cadenas V., I. Alia T., V. López M., M. Andrade R. y P. Juárez L. 2017. Inhibición colonial in vitro de un aislado de *Colletotrichum acutatum* Simmonds a tratamientos con fungicidas. Revista Centro Agrícola. 44(4):11-16.

López, Z. S. P. y J. Castaño Z. 2020. Efecto in vitro de cuatro fungicidas sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, causante de la antracnosis de la uva variedad Red Globe. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 44(172):747-758.

Rodríguez, E. J.G., R. Rodríguez F. y C. G. Rodríguez Q. 2021. *Colletotrichum* spp. procedente de frutos de papaya, del centro de Veracruz, su control con fungicidas y efecto del pH del agua. Brasilian Journal of Animal and Environmental Research. ISSN: 2595-573X. DOI: 10.34188/bjaerv4n3-133. 4(3): 4512-4523 .

Rodríguez, Q. C.G., R. Rodríguez F. y J. G. Rodríguez E. 2018. Identificación de *Colletotrichum* spp. en frutos de papaya del centro del estado de Veracruz. Año 2. Núm. 1. p. 225-235. *In*: Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático. Medellín, Ver., México.

Rojo-Báez, I., B. Álvarez-Rodríguez, R. S. García-Estrada, J. León-Félix, A. Sañudo-Barajas and R. Allende-Molar. 2017. Current status of *Colletotrichum* spp. *in* Mexico: Taxonomy, characterization, pathogenesis and control. Revista Mexicana de Fitopatología 35(3): 549-570.

SAS Institute. 2018. SAS/STAT user guide. Versión 9.4 SAS Institute. Cary, NC. USA.

Torres, C. C., R. Tapia-Tussell, I. Higuera-Ciapara and D. Perez-Brito. 2013. Morphological, pathological and genetic diversity of Colletotrichum species responsable for anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.). Eur. J. PlantPathol. 135:67-79.

Torres-Calzada, C., R. Tapia-Tussell, I. Higuera-Ciapara, R. Martin-Mex, A. Nexticapan-Garcez, and D. Perez-Brito. 2015. Sensitivity of *Colletotrichum truncatum* to four fungicides and characterization of thiabendazole-resistant isolates. Plant Dis. 99:1590-1595.

EVALUACIÓN *in vitro* DE EXTRACTOS ORGÁNICOS SOBRE LA ECLOSIÓN DEL NEMATODO AGALLADOR *Meloidogyne paranaensis*

Rafael Diego Rodríguez Málaga[1], María del Carmen Núñez Camargo[1] y Daniel López Lima[1]

Resumen

Los nematodos fitoparásitos son una de las principales limitantes para la producción de muchos cultivos en todo el mundo. Para su control, se realizan aplicaciones de nematicidas químicos; sin embargo, el uso de estos productos es cada vez más limitado, debido a las restricciones por los problemas de contaminación ambiental que genera su uso. Actualmente existen opciones con menor impacto ambiental como los extractos orgánicos con actividad nematicida, que comúnmente tienen efecto nematostático sobre estadios móviles, lo que evita que estos patógenos se alimenten y dañen la planta. Sin embargo, existe poca información sobre el efecto de estos extractos sobre la eclosión de huevos. La inhibición de la eclosión de huevos de nematodos, puede incluirse como una estrategia preventiva dentro de los programas de manejo integrado. En este trabajo, se evaluó el efecto del extracto de *Myrothecium verrucaria*, *Ricinus communis*, *Larrea tridentata* y el nematicida químico abamenctina sobre la eclosión de huevos del nematodo agallador *Meloidogyne paranaensis in vitro*. Los huevos se extrajeron de raíces de tomate infestado y se colocaron en una placa de pozos de 2000 µL, donde se les adicionaron los extractos y el nematicida por separado. Adicionalmente, a un grupo de pozos se les adicionó agua purificada como control no tratado. La placa se mantuvo a 28ºC durante 5 d. Posteriormente se cuantificaron los juveniles J2 eclosionados en cada tratamiento y se compararon con el porcentaje de eclosión en el control. Los tratamientos con aplicación de abamectina y el extracto de *M. verrucaria* presentaron el menor porcentaje de eclosión relativo, por debajo del 10%. El extracto de *R. communis* presentó una eclosión de 39.5%. En contraste, el extracto de *L. tridentata* no mostró efecto significativo en la inhibición de la eclosión con 69.8%. Los resultados indican que el extracto

[1] Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas. *rafaeldiego34@gmail.com

de *M. verrucaria* tiene un efecto similar que el nematicida químico abamectina para inhibir la eclosión de huevos de *M. paranaensis*. Se requieren realizar pruebas con suelo y planta infestados para determinar su uso potencial en el tratamiento pre-trasplante en suelos infestados con este nematodo.

Palabras clave: control biológico, actividad nematicida, nematicida botánico

Introducción

Los nematodos fitoparásitos son organismos pequeños que se alimentan de las raíces de las plantas utilizando sus estiletes, los cuales se pueden dividir en: ectoparásitos que son aquellos que se encuentran fuera de la planta utilizando su estilete para penetrar y alimentarse de la raíz. Los semi-endoparásitos, que pueden penetrar parcialmente la planta en algún momento de su ciclo de vida. De igual forma se encuentran los nematodos endoparásitos migratorios, lo cuales se movilizan dentro de las raíces alimentándose. Y por último los nematodos endoparásitos sedentarios que son aquellos que pasan la mayor parte de su ciclo de vida de forma sedentaria dentro del tejido vegetal (Palomares *et al.*, 2017; Vieira y Gleason, 2019).

Diversos nematodos fitoparásitos afectan a las plantas, entre ellos se encuentran los géneros: *Globodera*, *Heterodera*, *Pratylenchus*, *Radopholus* y *Meloidogyne*, sin embargo, el género *Meloidogyne* es considerado uno de los más perjudiciales en la agricultura, debido a su amplia distribución y número de hospederos, que incluye cultivos de hortalizas, frutales, oleaginosas, granos e incluso arvenses (Fernández, 2007; Khalil, 2013; Guzmán *et al.,* 2020).

Para su control se utilizan diversos compuestos químicos como los carbamatos y organofosforados, los cuales con un uso reiterado pueden generar afectaciones ambientales como contaminación del suelo y de cuerpos de agua, además de daños a la salud humana, tanto de agricultores como de consumidores finales (Iler, 2017). Una alternativa viable para su control es el uso de productos de origen natural con capacidad nematicida, tal es el caso de algunos extractos derivados de la fermentación de microorganismos y extractos provenientes de plantas (Viera *et al.,* 2020).

Comúnmente las pruebas de efectividad biológica de nematicidas se realizan sobre estadios activos de nematodos, sin embargo, dentro del manejo integrado de estos parásitos, se debe tomar en cuenta los estadios de latencia, como son los huevos, los cuales permanecen en los restos vegetales o en el suelo hasta que se presenten condiciones adecuadas para eclosionar (Palma, 2017). Por esta razón, es importante incluir en las evaluaciones, la capacidad de los nematicidas para inhibir la eclosión de huevos, con el objetivo de realizar aplicaciones preventivas para disminuir el nivel de poblaciones de nematodos en los campos agrícolas infestados antes de establecer un nuevo cultivo. Actualmente ya se encuentran disponibles en el mercado diversos productos biológicos y botánicos para el control de nematodos fitoparásitos, pero se requiere realizar estudios para generar información acerca de su efectividad. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del extracto de *Myrothecium verrucaria* cepa AARC-0255 y los extractos de *Larrea tridentata* y *Ricinus communis* sobre la eclosión de huevos del nematodo agallador *Meloidogyne paranaensis* en condiciones *in vitro*.

Materiales y Métodos

Para la evaluación de los nematicidas se utilizaron huevos de *M. paranaensis* obtenidos de la cría en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) previamente inoculadas (Figura 1a), provenientes del Laboratorio de Parasitología y Control Biológico de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. Las plantas se sometieron a una extracción de huevos mediante la técnica de triturado en hipoclorito de sodio y tamizado-centrifugado de las raíces (Van Bezooijen, 2006). Posteriormente se cuantificó el número de huevos presentes en la suspensión obtenida de la extracción en una cámara de conteo Sedgwick-Rafter con la ayuda de un microscopio compuesto Nikon Alphaphot YS2-T. Después, 575 huevos contenidos en 500 µL de agua se colocaron por separado en pozos de 2000 µL dentro de una placa de poliestireno (Corning Incorporated Costar®) (Figura 1b). Los tratamientos consistieron en la aplicación de 500 µL de una solución al 5% de cada uno de los nematicidas evaluados, distribuidos en diseño experimental completamente al azar (con tres repeticiones) en la placa de pozos. El primer tratamiento evaluado fue el nematicida biológico

DiTera DF® (Valent®) formulado con 10% de extractos solidos secos y solubles obtenidos de la fermentación del hongo *Myrothecium verrucaria* cepa AARC-0255 al 90%. El segundo tratamiento fue el producto Biotika Gober® (Fagro®) formulado con 90% de extractos de la planta *Larrea tridentata*. El tercero fue el nematicida botánico Biotika Ricinus® (Fagro®) formulado con 90% de extractos de *Ricinus communis*. El siguiente tratamiento consistió en la aplicación del nematicida químico Oregón 60 SC® de la empresa FMC® formulado con abamectina al 5.41% como control químico. Asimismo, un grupo de pozos se dejaron sin aplicación de nematicidas como control no tratado. Todos los tratamientos se aplicaron a una concentración de 5% del producto comercial. La placa se mantuvo a 28°C en una incubadora Binder BD53-UL. Después de 120 horas se le adicionó a cada pozo una gota de yodo de lugol con el fin de detener la eclosión (Figura 2a) (Sikandar *et al.,* 2020). Posteriormente, el contenido de cada pozo se trasfirió a una cámara de conteo Sedgwick-Rafter y se cuantificó el número de juveniles J2 eclosionados (Figura 2b) bajo el microscopio compuesto (Nikon Alphaphot YS2-T). Con los datos obtenidos, se determinó el porcentaje de eclosión en función de la cantidad de huevos colocados al principio del experimento en cada pozo y el porcentaje de eclosión relativo, en función del número de juveniles J2 eclosionados en el control no tratado.

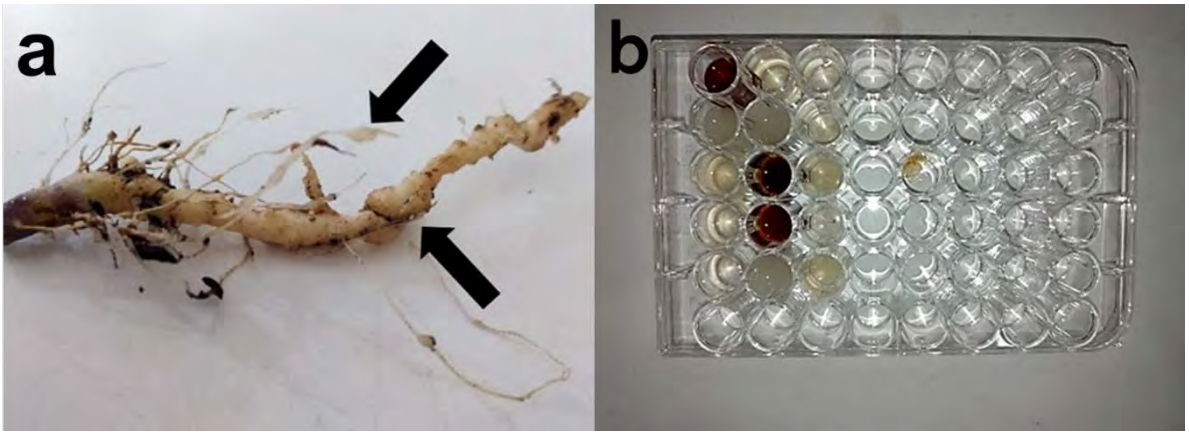


Figura 1. Montaje de experimento, a) raíz de tomate infestada con *Meloidogyne paranaensis* y b) establecimiento del experimento en placa de micropozos con los diferentes tratamientos.



Figura 2. *Meloidogyne paranaensis* a) huevos viables utilizados en el experimento 40X y b) Juveniles J2 eclosionados 120 horas después del inicio del experimento en el tratamiento control 100X.

Los datos se sometieron a una prueba de normalidad de Shapiro Wilk, a un análisis de varianza no paramétrico (prueba Kruskal-Wallis) y a la prueba de comparaciones múltiples de medias y rangos para comparar las diferencias entre tratamientos. Todos los datos se analizaron con el programa Statistica 12.5.

Resultados y Discusión

Los extractos de *M. verrucaria* y la abamectina presentaron un bajo nivel de eclosión de huevos, menor al 1% para ambos tratamientos. Respecto a los tratamientos botánicos, *R. communis* mostró un nivel de eclosión de 2.6%, el extracto de *L. tridentata* y el control no tratado presentaron los niveles más altos de eclosión con 4.6 y 6.7%. Asimismo, los extractos de *M. verrucaria* y el nematicida químico abamectina presentaron un porcentaje de eclosión relativo de 12 y 12.4% respectivamente. Los tratamientos a base de extractos botánicos mostraron un porcentaje relativo de eclosión de 39.5 y 69.8 para *R. comunis y L. tridentata* respectivamente (Figura 3). Recientemente se ha demostrado que la cepa ZM-2 de *M. verrucaria* tiene efecto directo sobre la inhibición de la eclosión de huevos de *Heterodera*

glicinis y *M. incognita*, lo que coincide con los resultados de este estudio (Wu *et al.*, 2020). Con este trabajo se demuestra que los extractos de fermentación de *M. verrucaria* tiene una capacidad similar a la abamectina para inhibir la eclosión de huevos de *M*. *paranaensis*, por lo que, puede ser una alternativa al uso de nematicidas químicos para el control de este nematodo.

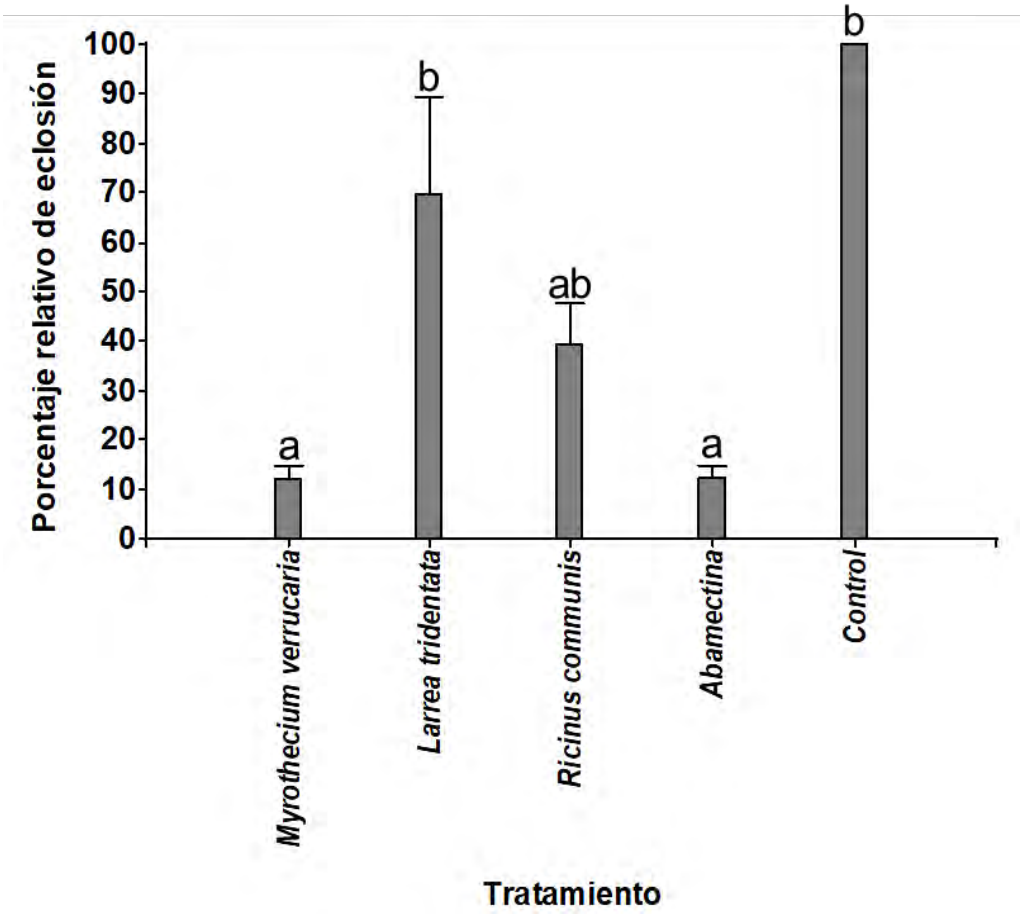


Figura 3. Porcentaje de eclosión relativo en los diferentes tratamientos 120 horas después de la aplicación. Letras diferentes en las barras indican diferencias entre los tratamientos después de un análisis de varianza Kruskal-Wallis y la prueba de comparaciones múltiples ($H_{(4, N=15)}=10.83333$, $p=0.0285$).

El extracto de *L*. *tridentata* no mostró actividad de inhibición sobre la eclosión de huevos, de igual forma Beltrán (2002), menciona que no se encontraron efectos nematicidas con el uso de este extracto. Huerta (1986) citado por Lira (2003), realizó pruebas *in vitro* con resina de *L*. *tridentata* y concluye en que inactiva el movimiento de los nematodos de los géneros

Tylenchus, *Ditylenchus* y *Rhabditis*, pero no se realizaron pruebas sobre el género *Meloidogyne* y no se evalúa su efecto sobre la eclosión de huevos. A su vez, De Anda (2003), realizó ensayos *in vitro* sobre dos géneros de nematodos (*Rhabditis* y *Dorylaimus*), sin embargo, los datos obtenidos no son consistentes, por lo que, el uso de este extracto no es recomendable.

El extracto de *R*. *communis* tuvo un efecto notorio sobre la eclosión de huevos respecto al control no tratado. Se tiene evidencia de que el uso de este extracto reduce el porcentaje de eclosión de huevos del género *Meloidogyne* en plantas de tomate con diferentes concentraciones, siendo las aplicaciones con dosis altas las de mayor efecto (Adamako y Kwoseh, 2013). De igual forma Armas *et al.* (2020), mencionan que el uso de enmiendas con *Ricinus* en altas concentraciones (20 y 30%) disminuyen el número de nódulos en plantas de tomate, por lo tanto, el uso de este extracto puede ser viable en concentraciones más altas, puesto que en el presente estudio se utilizó una concentración al 5%.

Los resultados de este trabajo indican que los extractos de *M*. *verrucaria* y *R*. *communis* tienen potencial para usarse como tratamiento pre-trasplante en suelos infestados con *M. paranaensis*. Es necesario realizar más estudios en suelo infestado para determinar dosis adecuadas y tiempos de aplicación para mejorar su efectividad.

Conclusiones

1. El extracto biológico de *M*. *verrucaria* cepa AARC-0255 tiene un efecto similar al de la abamectina en la inhibición de la eclosión de huevos de *M*. *paranaensis,* por lo que, puede ser una opción viable al uso de nematicidas de origen químico. 2. El extracto de *R*. *communis* inhibe la eclosión de huevos de *M. paranaensis*, pero se requiere probar con concentraciones más altas para mejorar su efectividad. 3. Es necesario realizar estudios *in vivo* con diferentes concentraciones para corroborar la efectividad de los extractos de *M. verrucaria* y *R. communis* en suelo y plantas infestadas con *M. paranaensis*.

Literatura Citada

Adamako, J. and C. C. K. Kwoseh. 2013. Effect of castor bean (*Ricinus communis*) aqueous extracts on the performance of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on tamato (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of Science and Technology 33(1):1-11.

Armas, M. L., Y. J. Barrios C., J. I. Briceño M., I. A. Alzugaray A. and S. N. Murga G. 2020. Effect of *Ricinus communis* foliage on *Meloidogyne* sp. root-galling in tomate plants. REBIOL 40(1):39-45.

Beltrán, G. F. 2002. Biofumigación con solarización y extracto de resina de *Larrea tridentata* para el control de nematodos fitoparásitos en el cultivo de chile. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México. 43 p.

De Anda, V. J. 2003. Biofumigación con solarización y extracto de resina *Larrea tridentata*: una alternativa tecnológica para el control de malezas y nematodos en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var: itálica). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México. 69 p.

Fernández, G. E. 2007. Manejo de fitonematodos en la agricultura cubana. Fitosanidad 11:57-60.

Guzmán, P. O. A., C. Zamorano M and H. C. López N. 2020. Physiological interactions of plants with plant parasitic nematodes: A review. Boletín Científico 24(2):190-255.

Iler, I. D. C. 2017. Evaluación de la actividad *in vitro* de aceites esenciales frente a *Meloidogyne*. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. 9 p.

Khalil, M. S. 2013. Abamectin and Azadirachtin as eco-friendly promising biorational tools in integrated nematodes management programs. Plant Pathology & Microbiology 4(4):174.

Lira, S. R. H. 2003. Estado actual del conocimiento de las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]. Revista Mexicana de Fitopatología 21(2):214-222.

Palma, M. K. L. 2017. Efecto nematicida del Nemathor 20L® y Nemakill® contra el “nematodo del nudo de la raíz” *Meloidogyne* spp. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú. 8 p.

Palomares, R. J. E., C. Escobar, J. Cabrera, A. Vovlas and P. Castillo. 2017. Anatomical alterations in plant tissues induced by plant-parasitic nematodes. Frontiers in Plant Science 8:1-16.

Sikandar, A., M. Zhang, Y. Wang, X. Zhu, X. Liu, H. Fan *et al*. 2020. *In vitro* evaluation of *Penicillium chrysogenum* Snef1216 against *Meloidogyne incognita* (root-knot nematode). Scientific Reports 10:8342.

Van Bezooijen, J. 2006. Methods and techniques for nematology. Wageningen University. Wageningen. 112 p.

Vieira, P. and C. Gleason. 2019. Plant-parasitic nematode effectors insights into their diversity and new tools for their identification. Current Opinion in Plant Biology 50:37-43.

Viera, A. W. F., C. M. Tello T., A. A. Martínez S., D. F. Navia S., L. A. Medina R., A. G. Delgado P. *et al*. 2020. Biological control: A tool for sustainable agriculture with a point of view of its benefits in Ecuador. Journal of the Selva Andina Biosphere 8(2):128-149.

Wu, H.Y., L. Y. Zhang and X. and B. Zhou. 2020. Effects of *Myrothecium verrucaria* ZW 2 fermentation filtrates on various plant parasitic nematodes. Journal of Plant Diseases and Protection 127:545-552.

CONTROL BIOLÓGICO DE LA ROYA ASIÁTICA DE LA SOYA POR ACTINOBACTERIAS

Ángel Ismael Narváez Rodríguez[1], Raúl Rodríguez Guerra[2]*, Moisés Felipe Victoriano[3], Zeferino Vicente Hernández[1], J. Isabel López Arroyo[2], Isidro Humberto Almeyda León[2] y Kenzy Ivveth Peña Carrillo[2]

Resumen

La roya asiática de la soya causada por el hongo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow ocurre en importantes estados productores de este cultivo en México. Las principales estrategias para su control consisten en el uso de genotipos resistentes y uso de fungicidas. Se desconoce la existencia de resistencia absoluta contra este fitopatógeno y el uso de fungicidas puede reducir la sustentabilidad del cultivo por el riesgo a la salud y al ambiente, así como por el desarrollo de poblaciones resistentes a éstos. Microorganismos micoparásitos y productores de antibióticos han sido identificados con potencial para el biocontrol de *P. pachyrhizi*; sin embargo, se carece de información acerca de la capacidad que pueden tener las actinobacterias en su control. En esta investigación se evaluaron actinobacterias para determinar su capacidad de biocontrol contra la roya asiática de la soya. Éstas fueron reportadas previamente por afectar la germinación de urediosporas del fitopatógeno en un ensayo *in vitro*. Los bioensayos fueron realizados en laboratorio mediante la técnica de hoja desprendida, utilizando foliolos de la variedad Huasteca 700. Datos de siete variables fueron registrados y sometidos a pruebas de normalidad antes de ser analizados mediante un análisis estadístico paramétrico (ANVA) o no paramétrico (kruskal-Wallis). Sólo la variable porcentaje de área dañada determinada mediante el programa IMAGEJ) no mostró diferencias entre tratamientos. Las actinobacterias previamente reportadas por causar bajo porcentaje de germinación (MT-8, MT-23, MT-42), sobresalieron por mostrar menor porcentaje de área dañada evaluada visualmente, así como nivel de esporulación evaluado al estereoscopio y

[1] Profesional independiente.
[2] 2INIFAP, Campo Experimental General Terán. *Autor de correspondencia: rodriguez.raul@inifap.gob.mx
[3] 3INIFAP, Campo Experimental Huastecas.

visualmente, uredios totales, uredios abiertos y el porcentaje de área foliar cubierta con uredios. El morfotipo 42 fue el más sobresaliente considerando los porcentajes de inhibición de las seis variables que mostraron diferencias entre tratamientos. Los resultados demuestran el potencial de biocontrol de actinobacterias contra la roya asiática de la soya *P*. *pachyrhizi*.

Palabras clave: *Phakopsora pachyrhizi*, biocontrol, hoja desprendida

Introducción

El hongo *Phakopsora pachyrhizi*, causante de la roya asiática de la soya, está distribuido en todo en el mundo y genera elevadas pérdidas en rendimiento. En México, se distribuye en los principales estados productores de soya donde causa pérdidas de un 50 al 100% (Cárcamo-Rodríguez *et al*., 2006; Terán *et al*., 2007). García-Rodríguez *et al*. (2018) menciona que las principales estrategias para el control de la enfermedad son el uso de variedades resistentes y el uso de fungicidas. La búsqueda de antagonistas con potencial para el biocontrol de la roya asiática de la soya ha sido limitada, identificándose algunas bacterias y hongos (Twizeyimana y Hartman, 2019; Dorighello *et al*., 2015; Ward *et al*., 2012) con esta capacidad; sin embargo, se desconoce el potencial de actinobacterias como agentes de biocontrol de la roya asiática. Recientemente hemos identificado cepas de actinobacterias, aisladas de suelo del municipio de El Mante, Tamaulipas, capaces de reducir significativamente la germinación de urediosporas de *P*. *pachyrhizi* en pruebas *in vitro*, así como actinobacterias que no causan un efecto sobre su germinación (Narváez-Rodríguez *et al*., 2022). Considerando el potencial antagónico y de biocontrol que han mostrado las actinobacterias contra diversos fitopatógenos, en esta investigación, mediante la técnica de hoja desprendida, se evaluó la capacidad de biocontrol de cepas de actinobacterias inhibidoras de la germinación de urediosporas de esta roya. Lo anterior puede llevar a la identificación de cepas de actinobacterias con potencial para el biocontrol de *P*. *pachyrhizi*.

Materiales y Métodos

Producción de urediosporas

Se utilizó una población de *P. pachyrhizi* colectada en 2021 sobre la variedad de soya Huasteca 400, la cual se multiplicó en el Campo Experimental Las Huastecas (CEHUAS), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), sobre foliolos de soya variedad Huasteca 700 de acuerdo a la metodología desarrollada por el Japan International Research Center for Agricultural Sciences (Yamanaka *et al*., 2021). El inóculo del fitopatógeno se elaboró en una suspensión de agua destilada con Tween 20® al 0.04%, y a una concentración de 10^4 urediosporas mL^{-1}.

Cepas de actinobacterias

Con base a los resultados obtenidos previamente por Narváez-Rodríguez *et al*. (2022), siete morfotipos de actinobacterias fueron reactivadas en el medio agar nutritivo; cuatro morfotipos (MT-19, MT-23, MT-38, MT-39) que causaron elevado porcentaje de germinación (84 a 94%) y tres (MT-8, MT-32, MT-42) con bajo porcentaje de germinación (24 a 44%). Las actinobacterias se crecieron en agitación (90 rpm) en un volumen de 100 mL de caldo nutritivo por 10 días, en el Campo Experimental General Terán del INIFAP. Cada colonia fue transferida a un recipiente y mezclada con ayuda de un batidor de mano (T-fal®). Posteriormente se transfirió a un atomizador para su aplicación.

Establecimiento del experimento

Foliolos de soya aparentemente sanos de la variedad Huasteca 700 fueron colectados de plantas crecidas en microtunel, y fueron colocados en pares con el envés hacia arriba en cajas Petri de 12 x 12 cm. La porción basal de los foliolos se cubrió con papel esterilizado KIMTECH SCIENCE y se humedeció con agua destilada. Todos los foliolos fueron inoculados con urediosporas con ayuda de un pincel (Yamanaka *et al*., 2021) y posteriormente fueron asperjados con siete atomizaciones de cada actinobacteria o caldo nutritivo (CN) desde una distancia aproximada de 20 cm. Los foliolos fueron mantenidos en oscuridad por 12 hr y posteriormente en un fotoperiodo de 12:12 horas en luz y obscuridad. Con una muestra de las urediosporas utilizadas, se determinó el porcentaje de germinación en agar agua al 0.5% sobre un portaobjetos después de 12 horas. Se establecieron nueve tratamientos (un testigo absoluto sólo con urediosporas, un testigo asperjado con caldo nutritivo, y las siete actinobacterias

asperjadas). Cada tratamiento consistió de seis repeticiones (foliolo) y se establecieron bajo un diseño completamente al azar en el CEHUAS.

Variables y análisis estadístico

A los 15 días de establecido el experimento se revisó el envés de los foliolos y se registró el porcentaje de área dañada mediante el programa IMAGEJ y también se evaluó de manera visual. Con los protocolos descritos por el JIRCAS (Yamanka *et al*., 2021) se evaluó el nivel de esporulación al estereoscopio, nivel de esporulación de manera visual, uredios totales (promedio de uredios en 30 lesiones) y uredios abiertos (promedio de uredios abiertos en 30 lesiones); también se evaluó visualmente el porcentaje de área foliar cubierto con uredios. Los datos de las variables fueron sometidos a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para determinar si cumplían con una distribución normal y someterlos a pruebas paramétricas o no paramétricas según el caso. Los datos se analizaron mediante ANOVA y Kruskal-Wallis en el Programa INFOSTAT (V. 2020).

Resultados y Discusión

La germinación de urediosporas utilizadas en el experimento fue de 92%. Los datos de porcentaje de área dañada determinados con el programa IMAGEJ, uredios totales y uredios abiertas fueron analizados mediante la prueba paramétrica análisis de varianza (ANVA) completamente al azar. De estas variables no se encontró diferencias estadísticas entre tratamientos para la primera variable, mientras que para uredios totales y abiertos se encontraron diferencias altamente significativas (p= 0.01) entre tratamientos (Cuadro 1).

Las variables porcentaje de área dañada determinado visualmente, nivel de esporulación evaluado al estereoscopio, nivel de esporulación evaluado de manera visual y porcentaje de área con uredios determinado visualmente se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Se encontró diferencias altamente significativas (p= 0.01) entre tratamientos, y en el Cuadro 2, se muestra la comparación de sus medianas para esas variables.

Cuadro 1. Efecto de actinobacterias y testigos sobre foliolos inoculados con urediosporas de roya asiática de la soya para tres variables analizadas mediante ANOVA.

Tratamiento	Porcentaje de área dañada determinada con el programa IMAGEJ	Uredios totales	Uredios abiertos
Testigo absoluto	37.1	3.5 b	3.5 b
Testigo agar nutritivo	32.1 a*	4.0 b (-14.3)**	4.0 b (-14.3)
MT-8	46.1 a	0.3 a (91.4)	0.3 a (91.4)
MT-19	35.3 a	3.6 b (-2.9)	3.6 b (-2.9)
MT-23	19.3 a	3.4 b (2.9)	3.3 b (5.6)
MT-32	27.2 a	1.5 a (57.1)	1.1 a (68.6)
MT-38	27.4 a	3.4 b (2.9)	3.0 b (14.3)
MT-39	33.7 a	0.4 a (88.6)	0.3 a (91.4)
MT-42	32.7 a	0.1 a (97.1)	0.1 a (97.1)

*Promedios dentro de columna seguidos con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey; p <0.05).
**Valores entre paréntesis representa el porcentaje de inhibición de la variable para cada tratamiento respecto al testigo absoluto.

Cuadro 2. Efecto de actinobacterias y testigos sobre foliolos inoculados con urediosporas de roya asiática de la soya para cuatro variables analizadas mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

	Porcentaje de área dañada (visual), (H= 29.64; p= 0.0001)		Nivel de esporulación (estereoscopio), (H= 42.77; p= 0.0001)		Nivel de esporulación (visual), (H= 39.85; p= 0.0001)		Porcentaje de área con uredios (H= 39.0; p= 0.0001)	
Tratamiento	Media	Mediana	Media	Mediana	Media	Mediana	Media	Mediana
Testigo absoluto	25.0	25.0 c*	2.8	2.82 c	3.0	3.0 b	16.2	15.0 b
Testigo caldo nutritivo	15.0 (40.0)**	10.0 bc	2.9 (-3.6)	2.94 c	3.0 (0.0)	3.0 b	9.3 (42.6)	9.0 b
MT-8	5.0 (80.0)	5.0 a	0.1 (96.4)	0.10 a	0.0 (100.0)	0.0 a	1.0 (93.8)	1.0 a
MT-19	6.7 (73.2)	5.0 ab	2.6 (7.1)	2.74 bc	2.8 (6.7)	3.0 b	1.7 (89.5)	1.5 a
MT-23	9.2 (63.2)	10.0 abc	2.6 (7.1)	2.67 bc	2.8 (6.7)	3.0 b	3.0 (81.5)	3.0 ab
MT-32	10.0 (60.0)	7.5 ab	0.7 (75.0)	0.77 ab	0.7 (76.7)	0.5 a	2.0 (87.6)	2.0 a
MT-38	26.7 (-6.8)	22.5 c	2.3 (17.9)	3.00 c	2.8 (6.7)	3.0 b	16.7 (-3.1)	15.0 b
MT-39	10.0 (60.0)	10.0 bc	0.1 (96.4)	0.05 a	0.0 (100.0)	0.0 a	1.2 (92.6)	1.0 a
MT-42	5.0 (80.0)	5.0 a	0.1 (96.4)	0.00 a	0.0 (100.0)	0.0 a	1.0 (93.8)	1.0 a

*Medianas dentro de columna seguidas con la misma letra no difieren estadísticamente (p <0.05).
**Valores entre paréntesis representa el porcentaje de inhibición de la variable para cada tratamiento respecto al testigo absoluto.

Los resultados demostraron que los morfotipos de actinobacterias MT-8, MT-32 y MT-42, seleccionados por causar un menor porcentaje de germinación en pruebas *in vitro* (Narváez-Rodríguez *et al*., 2022), de manera consistente presentaron los valores más bajos para porcentaje de área dañada determinado visualmente, nivel de esporulación (estereoscopio), nivel de esporulación (visual) y porcentaje de área con uredios determinado visualmente, así como para uredios totales y abiertos. En la Figura 1 se muestra una imagen con la reacción del testigo absoluto inoculado sólo con urediosporas y con los tres morfotipos sobresalientes.

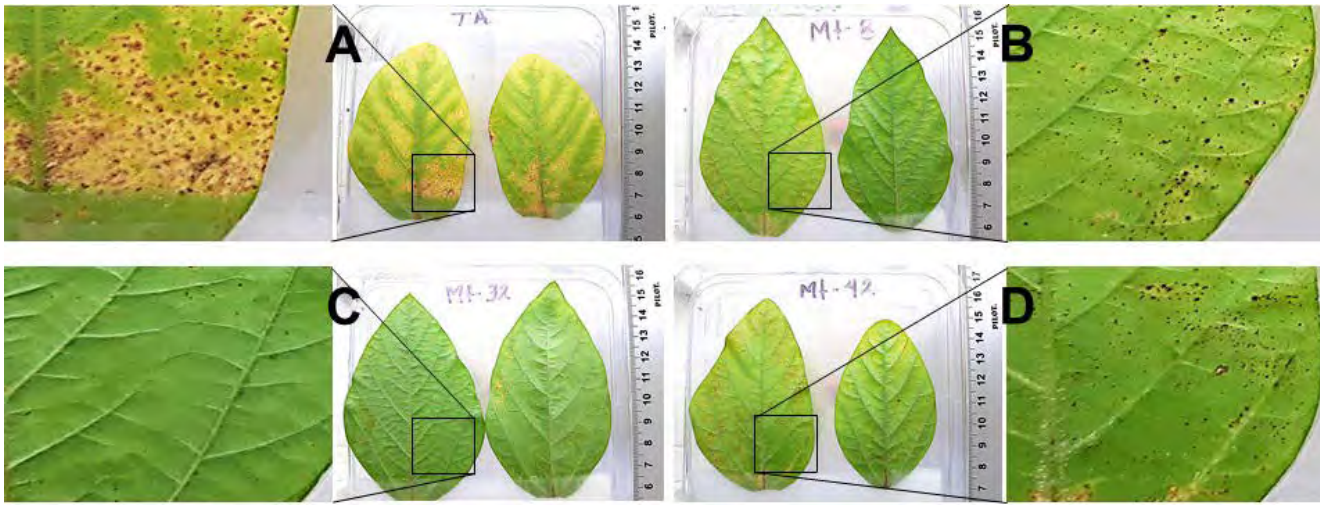


Figura 1. Reacción de foliolos de soya de la variedad Huasteca 700 inoculados con urediosporas de *P. pachyrhizi* en el testigo inoculado sólo con roya (A) y además con los morfotipos MT-8 (B), MT-32 (C) y MT-42 (D). Los recuadros muestran un acercamiento de los foliolos expuestos a los tratamientos señalados; en (A) se muestran lesiones con uredios esporulados, mientras que en (B), (C) Y (D) se muestran lesiones sin uredios.

El morfotipo MT-39 que previamente mostró elevado porcentaje de germinación de urediosporas (Narváez-Rodríguez *et al*., 2022), en esta investigación también mostró resultados sobresalientes excepto por mostrar un elevado porcentaje de área dañada evaluada visualmente. Los demás morfotipos mostraron valores elevados para la mayoría de las variables analizadas, confirmando su falta de capacidad para inhibir la germinación de urediosporas de *P. pachyrhizi*. El morfotipo de actinobacteria MT-42 sobresalió con el menor número de uredios totales (0.01) y uredios abiertos (0.01) (Cuadro 1), así como por el menor porcentaje de área dañada determinado visualmente (5.0), nivel de esporulación evaluado al estereoscopio (0.0), nivel de esporulación evaluado de manera visual (0.0) y porcentaje de área con uredios determinado visualmente (1.0) (Cuadro 2).

Los porcentajes de inhibición causados por los tratamientos con base al testigo absoluto, para cada variable que mostró diferencias estadísticas, se muestra en la Figura 2. En general, todos los tratamientos causaron un efecto inhibitorio sobre las variables analizadas. La aplicación de CN incrementó el área dañada evaluada visualmente, uredios totales y abiertos, así como el morfotipo MT-19 para estas últimas dos variables; mientras que el morfotipo MT-38 incrementó el área dañada evaluada visualmente y área con uredios.

En esta investigación se continuó el estudio de morfotipos de actinobacterias previamente identificadas con capacidad para inhibir la germinación de urediosporas de la roya asiática de la soya, para así determinar su capacidad de biocontrol contra el fitopatógeno mediante la técnica de hoja desprendida. En estudios previos se ha evaluado la capacidad de bacterias del género *Bacillus* y de hongos de los géneros *Trichothecium* y *Simplicillium* para el control de *P. pachyrhizi*, y se desconocen estudios dirigidos a la búsqueda de actinobacterias capaces presentar un efecto de biocontrol contra esta especie de roya.

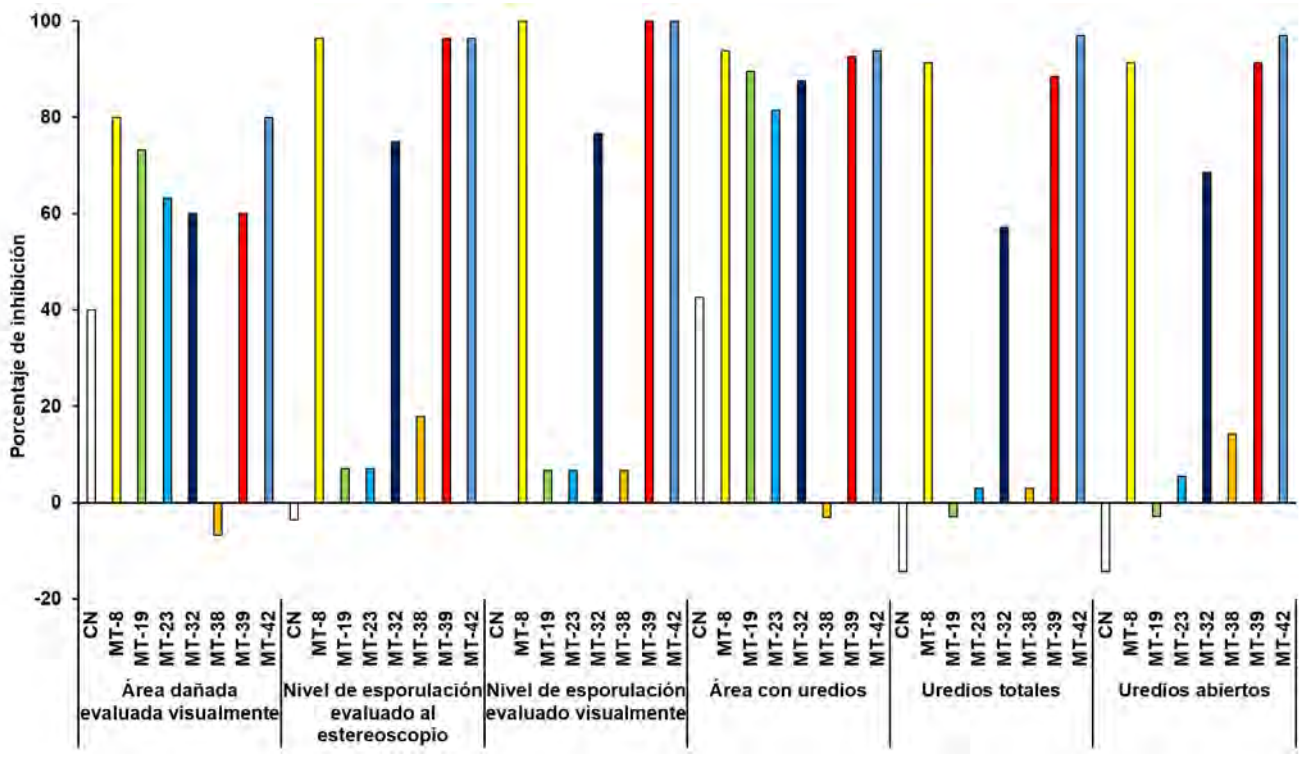


Figura 2. Porcentaje de inhibición de la roya asiática de la soya de siete morfotipos de actinobacterias y caldo nutritivo (CN) con respecto al testigo absoluto (inoculado con urediosporas solamente), en seis variables que mostraron diferencias estadísticas.

Tres cepas de *B*. *subtilis* (Ehrenberg) Cohn y una de *B*. *pumilus* Meyer and Gottheil han sido reportadas por su capacidad de reducir la severidad de la enfermedad en un 61.2 a 98.6% en ensayos con hoja desprendida (Dorighello *et al*., 2015) mientras que aquí se encontró 60% (MT-32) y 80% (MT-8 y MT-42) de inhibición de área dañada evaluada visualmente respecto al testigo. Tanto *Trichothecium roseum* (Pers.) Link (Pankaj *et al*., 2014) como *Simplicillium lanosoniveum* (Beyma) Zare & W. Gams (Gauthier *et al*., 2014) se han reportado como micoparásitos sobre urediosporas de *P*. *pachyrhizi*. Aunque es conocida la capacidad micoparasítica de *Trichoderma* spp. contra diversos hongos fitopatógenos, sólo se ha reportado que *T*. *asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenbergfrente y *T*. *harzianum* Rifai son capaces de producir metabolitos secundarios que reducen la germinación de esporas y la severidad de la soya causada por *P*. *pachyrhizi* (El-Hasan *et al*., 2022). Los resultados de nuestro estudio demuestran la capacidad de actinobacterias para el control de la roya asiática de la soya *P*. *pachyrhizi*.

Conclusiones

1. Este es el primer reporte de actinobacterias que demuestra su potencial de biocontrol contra la roya asiática de la soya *P*. *pachyrhizi*. 2. La actinobacteria MT-42 sobresalió en su capacidad de biocontrol al reducir los efectos de la roya en el follaje de la soya.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, bajo el proyecto 13403834745, para la realización de esta investigación.

Literatura Citada

Cárcamo-Rodríguez, A., J. Aguilar R. and J. R. Hernández. 2006. First report of Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. Plant Disease 90(9):1260.

Dorighello, D. V., W. Bettiol, N. B., Maia and R. M. V. B. de Campos. 2015. Controlling asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) with *Bacillus* spp. and coffee oil. Crop Protection 67:59-65.

García-Rodríguez, J. C., G. Asencio-Luciano, A. P. Terán-Vargas, N. Maldonado-Moreno y J. E. de-la-Rosa-Flores. 2018. Avances en el estudio de la roya asiática de la soya (*Phakopsora pachyrhizi*) en México. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan 6(1):6-14.

Gauthier, N. W., K. Maruthachalam, K. V. Subbarao, M. Brown, Y. Xiao, C. L. Robertson and R. W. Schneider. 2014. Mycoparasitism of *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust pathogen, by *Simplicillium lanosoniveum*. Biological Control 76:87-94.

El-Hasan, A., F. Walker, I. Klaiber, J. Schöne, J. Pfannstiel and R. T. Voegele. 2022. New approaches to manage Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) using *Trichoderma* spp. or their antifungal secondary metabolites. Metabolites 12(6):507.

Narváez-Rodríguez, Á.I., Z. Vicente-Hernández, M. Felipe-Victoriano, J. I. López-Arroyo, I. A. Almeyda-León, K. I. Peña-Carrillo y R. Rodríguez-Guerra. 2022. Selección de actinobacterias contra *Phakopsora pachyrhizi* causante de la roya asiática de la soya. Memorias del VI Congreso Mundial de Agricultura Tropical, Tampico, Tamaulipas, pp:67-70.

Pankaj, B., N. Tiamerenao, D. N. Upadhyay and C. Satish. 2014. Evaluation of different fungi as mycoparasite for eco-friendly management of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). Journal of Eco-Friendly Agriculture 9(1):101-103.

Terán, V. A. P., G. Ascencio L., N. Maldonado M. y J. Ávila V. 2007. La roya asiática de la soya en México. Folleto Técnico Núm. 22. CIRNE- INIFAP, Altamira, Tamaulipas, México. 53 p.

Twizeyimana, M. and G. L. Hartman. 2019. Effect of selected biopesticides in reducing soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) development. Plant Disease 103(9):2460-2466.

Yamanaka, N., M. Kato, H. Akamatsu and Y. Yamaoka. 2021. Laboratory manual for studies on soybean rust resistance (version 26). Japan International Research Center of Agricultural Sciences (JIRCAS). 51 p.

Ward, N. A., C. L. Robertson, A. K. Chanda and R. W. Schneider. 2012. Effects of *Simplicillium lanosoniveum* on *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust pathogen, and its use as a biological control agent. Phytopathology 102(8):749-760.

MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO PARA REDUCIR EL IMPACTO DEL HLB EN LIMÓN PERSA

Emiliano Loeza Kuk[1]* y Claudia Tania Lomas Barrié[1]

Resumen

Un porcentaje significativo de las plantaciones de cítricos del sureste de México presentan incidencia de plantas infectadas con la bacteria *C*. Liberibacter asiaticus, causante del Huanglonging de los cítricos (HLB). Con el tiempo, la infección reduce del vigor de la planta, la densidad foliar y finalmente la productividad. En condiciones de alta incidencia en la región, la erradicación deja de ser una alternativa viable para los productores, quienes mantienen sus plantas aún con la reducción gradual en la producción, pero al mismo tiempo continúan siendo un foco de infección para huerta libres o de establecimiento reciente. Como una manera de mantener la productividad de las huertas enclavadas en áreas con alta incidencia de HLB, se plantearon una serie de actividades a mejorar la productividad de los árboles con HLB, pero que simultáneamente no representen un mayor riesgo a los vecinos parcelarios o regionales mediante el manejo de las poblaciones de *D. citri*.

Los resultados indican que es posible mantener bajas las poblaciones de *D. citri* a lo largo del año, pero es necesario intensificar su control en épocas con temperaturas frescas al mostrar mayor concentración de *C*Las. Se detectó que este efecto es sinérgico con las aplicaciones regionales en las huertas inmersas en áreas regionales de control. Mientras que la no aplicación contra *D. citri* en áreas afectadas por mosca prieta, permite un incremento de la carga bacteriana en *D. citri*. Las deficiencias nutricionales presentes por el tipo de suelo y/o inducidas por HLB (Zn y Mn), se pueden corregir rápidamente por medio de aplicaciones foliares con opciones económicas, con una mejora en la calidad y estética de los frutos. Estas actividades son viables para convivencia del limón persa con el HLB en zonas de alta incidencia. Sin embargo, al final estas huertas de limón persa con alta incidencia representan

[1] 1Instituto nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CIRSE-Mocochá. *loeza.emiliano@inifap.gob.mx

un riesgo para las plantaciones vecinas de cítricos dulces que sufren un daño mayor en los parámetros productivos, por lo que las poblaciones de *D. citri* deben ser mantenidas en bajos niveles en las épocas frescas.

Palabras clave: huanglongbing, carga bacteriana, sureste mexicano, nutrición

Introducción

En la interacción cítricos - *C*. Liberibacter - *D. citri*, los que han llevado la peor parte son los cítricos. En la literatura se menciona que los cítricos infectados mueren a los pocos años, en realidad la muerte observada en la región es la económica. Es decir, los árboles infectados van perdiendo gradualmente el vigor, hojas, pero sobre todo más importante la cantidad y calidad de frutos producidos. Este daño es más marcado en los cítricos dulces (naranja dulce y toronja), las plantas infectadas inician con amarillamiento en hojas y ramas, reducción del tamaño de hojas y frutos, caída de frutos próximos a madurar. En el cultivo del limón persa el fruto no requiere alcanzar la madurez fisiológica, lo que reduce la posibilidad de perder la producción conforme la infección avanza e incrementa la severidad.

Para manejar la enfermedad, generalmente se recurren a estrategias que van desde prevenir la infección mediada por el insecto a través de la aplicación de productos para reducir su población (Stansly *et al.* 2013), liberación de agentes de control como depredadores o parasitoides (Qureshi *et al.* 2009). Eliminar plantas sintomáticas o infectadas en la huerta, aplicación de productos que activan la respuesta de sistemas de defensa de la planta. En el área de la genética, se realiza la búsqueda de materiales que genéticamente toleren la infección mediante mejoramiento convencional (Gmitter, 2019) modificación del genoma por métodos recombinantes del cítrico (Robertson *et al.,* 2018). Sin embargo, esas estrategias generalmente muestran un punto de inflexión en donde su aplicación supera el beneficio esperado, o el umbral de erradicación necesario para contener la dispersión significa la eliminación total de la huerta. En términos de erradicación, la eliminación total del hospedero es viable para grandes superficies que pueden sufragar el costo inicial del establecimiento y entrada en la producción de la huerta. A pesar de que hay estrategias para reducir la entrada

a producción de las plantas (Skaria and Hanagriff, 2008), o programas de aplicación de plaguicidas para reducir la dispersión de la bacteria, la conformación de la superficie y la tipología de los productores en el sureste juegan en contra de estas estrategias. Esto significa que, en algún momento el citricultor deberá decidir continuar produciendo en un área con alta incidencia y presión de inóculo, o cambiar de cultivo. El objetivo de este documento es ofrecer sugerencias a los productores para mantener el cultivo de los cítricos en un escenario de convivencia con la enfermedad. Desde su conformación, el ánimo de esta actividad no fue la conservación de plantas sintomáticas en ARCOs con baja incidencia, pues actúa en contra de los citricultores vecinos. La evidencia sugiere que el manejo nutricional, sin el control del insecto y la remoción de los árboles enfermos fomenta la acumulación del inóculo en el área (Irey *et al*., 2011). Por lo tanto, en este documento el manejo nutricional y del HLB se visualiza como un factor clave en la productividad dentro del manejo integral del cultivo en áreas con alta incidencia y donde la remoción de árboles enfermos dejó de ser opción para el productor.

Materiales y Métodos

Las huertas elegidas fueron de limón persa con plantas infectadas por HLB. Las huertas están en climas Aw0 (Frontera Comalapa-Chiapas), Aw1(x') (Castamay-Campeche, Dzan-Yucatán, José María Morelos-Quintana Roo), Am(f) (Huimanguillo-Tabasco).

Modificación de la condición sanitaria de las huertas

Las estrategias contempladas incluyeron aplicaciones de productos bioracionales (aceite mineral y sales potásicas), liberación de depredadores (crisopas) según fenología y densidades de insectos plaga. La evaluación se realizó en 25 plantas de la población total que incluyeron las variables de: Incidencia y severidad de HLB en plantas, densidad de *D. citri* y carga de bacteria (*C.* Liberibacter) determinada por PCR en tiempo real cada dos meses (Li *et al.,* 2006) y abundancia de organismos benéficos liberados. Al mismo tiempo se registró la incidencia de otras plagas mediante la instalación quincenal de trampas pegajosas (Figura 1).

Manejo de la condición nutrimental de las huertas sujetas a manejo

La fertilización fue en función de las condiciones nutricionales de la huerta, al inicio de las actividades se realizó el muestreo de un perfil de 20 cm del suelo con una metodología

prestablecida con 12 puntos en la huerta para conformar una muestra compuesta y se repitió al año de las modificaciones. Para los análisis foliares se colectaron hojas maduras de los cuatro puntos cardinales de 20 árboles de cada huerta (Maldonado *et al.,* 2008), antes de iniciar las actividades, a los 10 meses del inicio de las actividades antes de la brotación y a los 18 meses del inicio de las modificaciones.

En el manejo se midió la productividad de la huerta evaluada en 25 árboles con un volumen estándar en cuatro puntos cardinales (50*50*50 cm), también se cotejó con el registro del productor. Para fines comparativos, en las mismas condiciones ambientales se incluyó una huerta o lote testigo con las mismas características, pero sin el manejo sugerido.



Figura 1. Evaluación de variables modificadas por el manejo. Incidencia de HLB, densidad de *D. citri*, incidencia de mosca prieta, áfidos, enemigos naturales y productividad de huerto. Elaboración propia.

Resultados y Discusión

Entre los productores sugeridos por los Comités Estatales de Sanidad Vegetal de los cinco estados, se eligieron a cinco cooperantes cuya actividad se enfocan a la producción de limón persa con plantaciones entre cinco a siete años. Todas las huertas mostraron presencia de HLB con variación en la incidencia (árboles con síntomas de HLB) y severidad (porcentaje del dosel afectado por HLB).

Cuadro 1. Huertas de limón persa incluidas en la modificación del manejo por HLB.

Municipio/Estado	Edad	Portainjerto/ profundidad suelo
Castamay-Campeche, Campeche (Cast)	7 años	N. agrio > 50 cm pH 8.1; franco, bajo en carbonatos
Dzan, Yucatán	6 años	N. agrio/ 30 cm pH 8.2; franco, bajo contenido de carbonatos, pedregoso
José María Morelos, Quintana Roo (JMM)	6 años	N. agrio > 50 cm, pH 8.1, Franco, bajo en carbonatos
Frontera Comalapa, Chiapas (Fcom)	5 años	*C. volkameriana* / 30 cm pH 8.3; arcilla, alto en carbonatos, pedregoso
Huimanguillo, Tabasco (Huim-Tab)	8 años	N. agrio > 50 cm, pH, 5.6, Franco, sin carbonatos, aluminio medio

Condición fitosanitaria de las huertas

Las huertas fueron evaluadas bimestralmente para seguimiento de los cambios en la densidad de plagas y severidad de enfermedades con la integración de medidas para reducir la infestación, dispersión y efecto en la producción de limón persa. El esquema de muestreo directo muestra la condición general de la huerta (Figura 2).

En FCom, Chiapas con alta infestación de mosca prieta, la densidad de las poblaciones de mosca prieta (ninfas o adultos) detectadas en los árboles por muestreo directo no siempre se refleja en las capturas de las trampas; en julio se detectaron 10% de cuadrantes infestados y 590 adultos/trampa. Mientras que en noviembre 23% de cuadrantes infestados y 34 adultos/trampa. En los otros sitios, cuando en los cuadrantes no se detectaron poblaciones de mosca prieta, tampoco en las trampas; excepto Huim-Tab que mostró capturas recurrentes en bajas densidades.

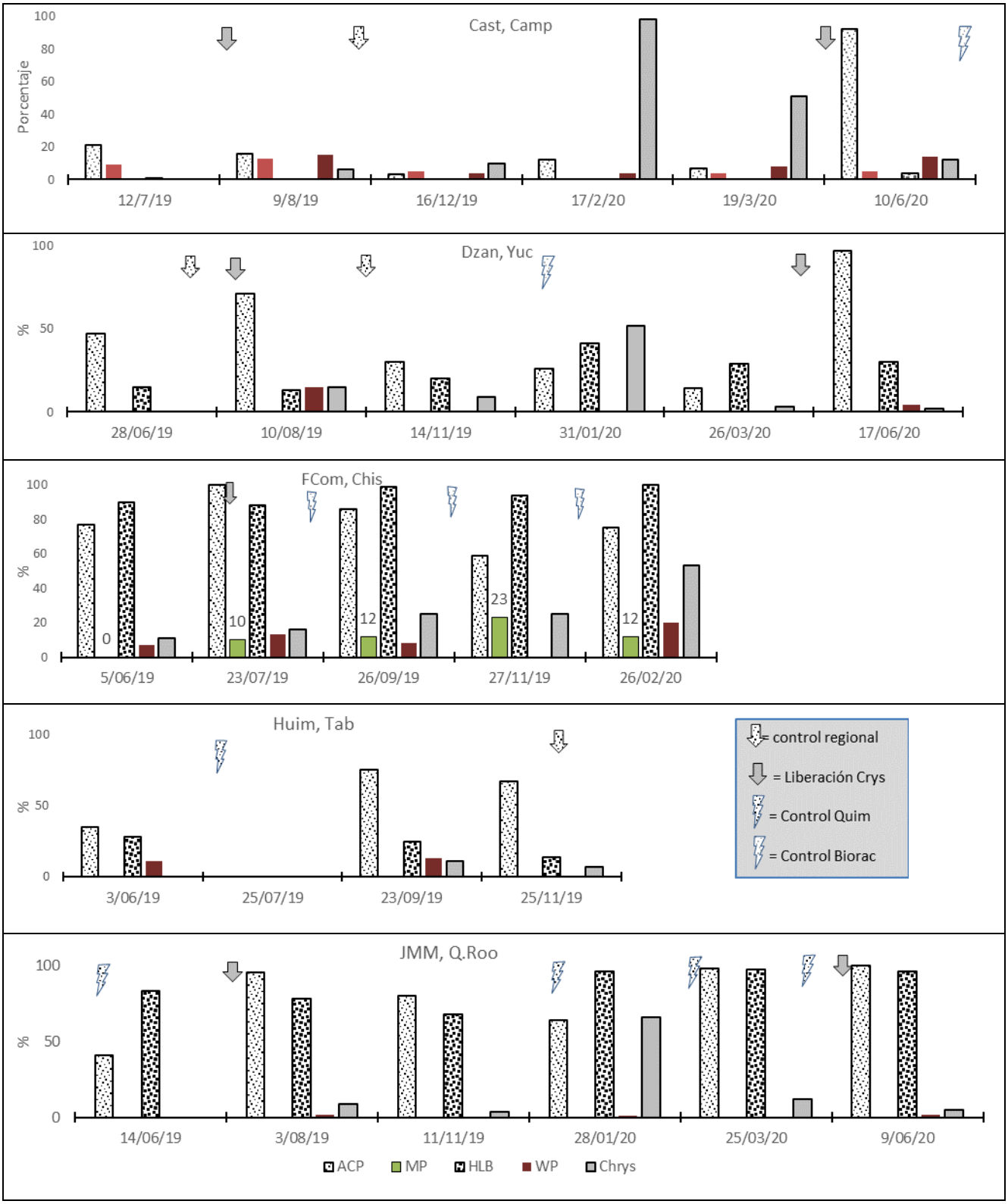


Figura 2. Densidad de plagas en huertas con modificaciones del manejo. Incidencia por cuadrante ACP= *D. citri*, HLB= Huanglongbing, WP= Manchado sectorial. Chrys= Crisopas (n= 25 árboles).

La persistencia en la infestación de mosca prieta fue cerca de 45 días, en ese tiempo existieron trampas con capturas abundantes y otras del mismo sitio con capturas escasas. Esto tiene repercusiones en el manejo del foco de infestación al poder impactar en la población mediante la liberación de parasitoides o depredadores. En apariencia, la población de mosca prieta en Fcom fue afectada negativamente por la aplicación de entomopatógenos (*Isaria javanica*) en noviembre. En este trabajo resalta la huerta de JMM, en donde aún con la integración de medidas de control biológico, con bioracionales e incluso químico, la reducción de la población de *D. citri* en la época de población alta fue escasa. Interesantemente, la huerta de FCom también ubicada en zona sin aplicación regional mostró un registro de *D. citri* bajo comparado con JMM-Q. Roo (Figura 3), es probable que la disponibilidad de alimento sostenga una población constante de depredadores que incidan en la densidad de *D. citri* (Figura 2). En septiembre, el conteo directo detectó 86% de cuadrantes infestados, pero únicamente capturó 5.4 *D. citri*/ trampa. Mientras que en noviembre la huerta JMM localizada en un área citrícola uniforme, rodeada de huertas de limón persa con manejo escaso de la población de *D. citri* presentó 46 *D. citri*/trampa y 80% de cuadrantes infestados.

La eficiencia en la reducción de la población de *D. citri* no se refleja en la persistencia de insectos portadores de la bacteria (Figura 4). De esta manera, en aquellas huertas con una incidencia elevada de HLB (Fcom y JMM), durante la época fresca se pueden encontrar menos *D. citri* pero con alta concentración de *C*Las, concentración que aumentará conforme se acumulan los días frescos y disminuirá con el incremento de la temperatura. Esto se observó para huertas enclavadas en ARCOs sin aplicaciones regionales (JMM y Fcom); mientras que la huerta de Dzan, Yuc. en la época fresca se observó una reducción en las poblaciones de D. *citri* pero sobre todo de la concentración de *C*Las. Un comportamiento similar, aunque en menor escala se detectó en la huerta de Huim-Tab (Figura 4). En un muestreo después de la liberación (DDL) en Dzan 4DDL y Cast 6DDL, únicamente en Castamay se encontró un incremento en crisopas, pero sin efecto inmediato en las poblaciones de *D. citri*. Mientras que en JMM no se detectó un incremento a 11 DDL, ni reducción en la cantidad de adultos de *D. citri* (Figura 4). Este incremento se presentó en posteriormente (febrero y marzo 2020) pero probablemente sin relación con las liberaciones. En la huerta de Chiapas con infestaciones iniciales de mosca prieta, se encontró un incremento consistente y más estable en las poblaciones de crisopas respecto a las otras huertas al contar con alimento durante todo el

año. Además, al aplicar únicamente productos bioracionales (aceite parafínico), la población de depredadores en apariencia no fue afectada sensiblemente

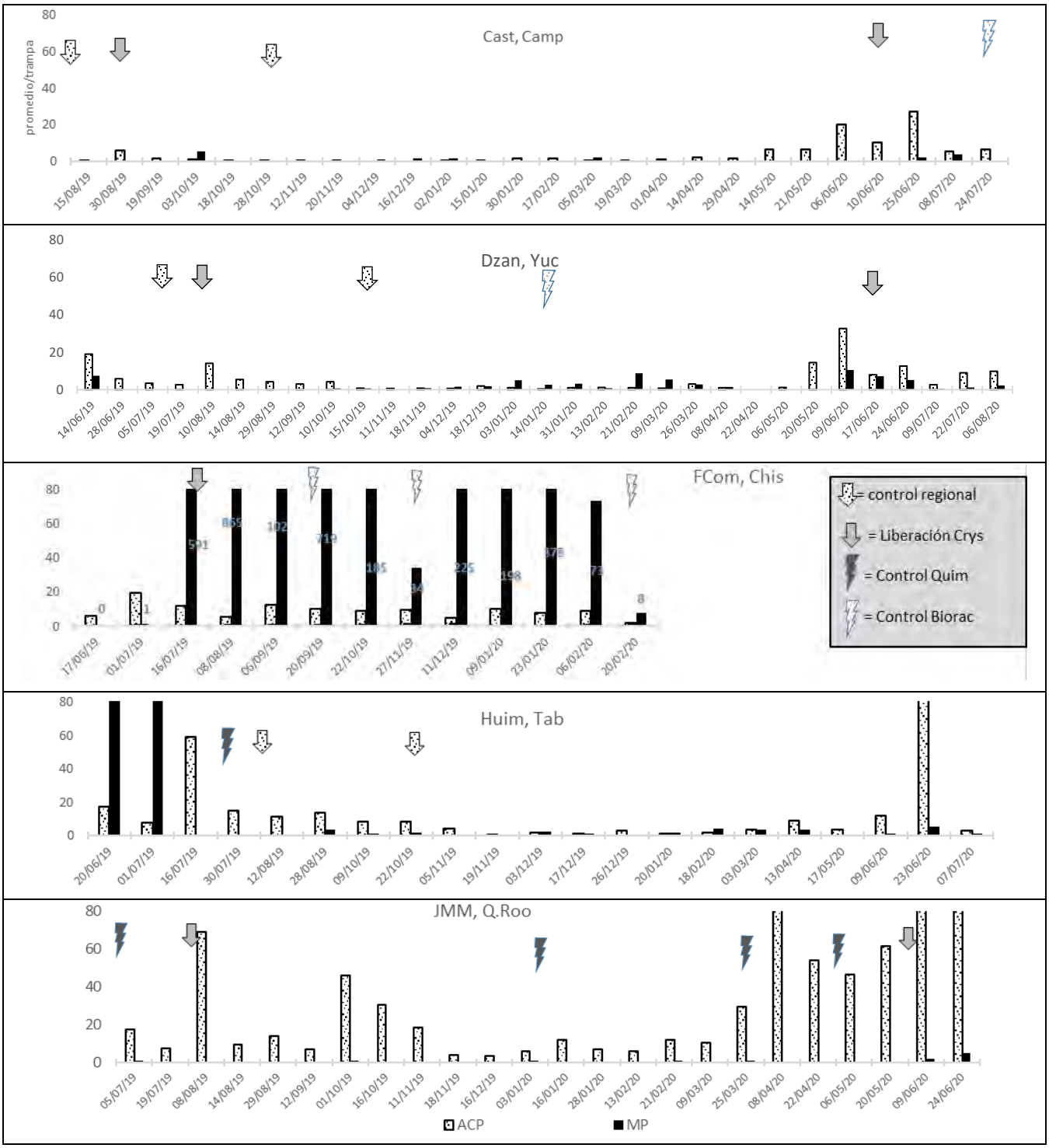


Figura 3. Fluctuación poblacional de insectos de *D. citri* y mosca prieta en trampas de impacto instaladas en las huertas sujetas a manejo.

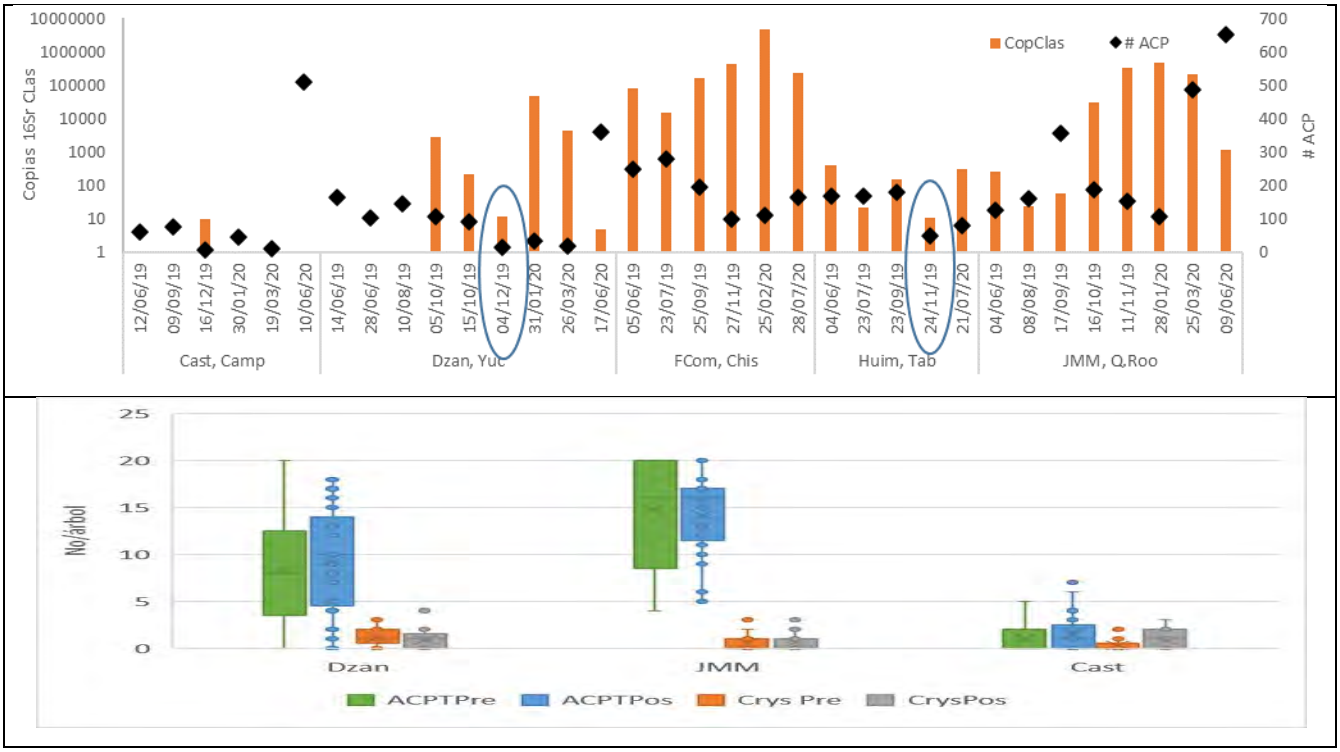


Figura 4. Densidad de *D. citri* (ACP) y concentración de *C*Las en ACP colectadas de huertas sujetas a manejo analizados por PCR cuantitativa. Liberación y detección posterior de crisopas en los sitios.

Condición nutrimental de las huertas sujetas a manejo

En cada huerta se trató de incluir las áreas variables de suelo; sin embargo, en las huertas de Dzan y Frontera Comalapa, la presencia de afloramiento rocoso y pendientes dificultó su obtención además de la limitante de la profundidad del suelo. En la mayoría de las huertas fue necesaria la aplicación de fertilizantes que durante su liberación redujeran el pH. Únicamente el sitio de Tabasco requirió la aplicación de cal agrícola para incrementar el pH del suelo.

Prácticamente todas huertas tuvieron un contenido medio a muy alto de Calcio (2000 a 6000 mg/kg), excepto Huim-Tab (360 mg/kg) por lo que requirió cal agrícola; algo similar ocurrió con la cantidad de potasio y magnesio que aporta el suelo. Mientras que en cuanto a nitratos y fósforo Castamay y Dzan mostraron contenidos bajos (Figura 5). Respecto a los microelementos, las huertas fueron deficientes en Fierro, a excepción de Huim-Tab y Fcom, pero ambas mostraron bajas concentraciones de Boro.

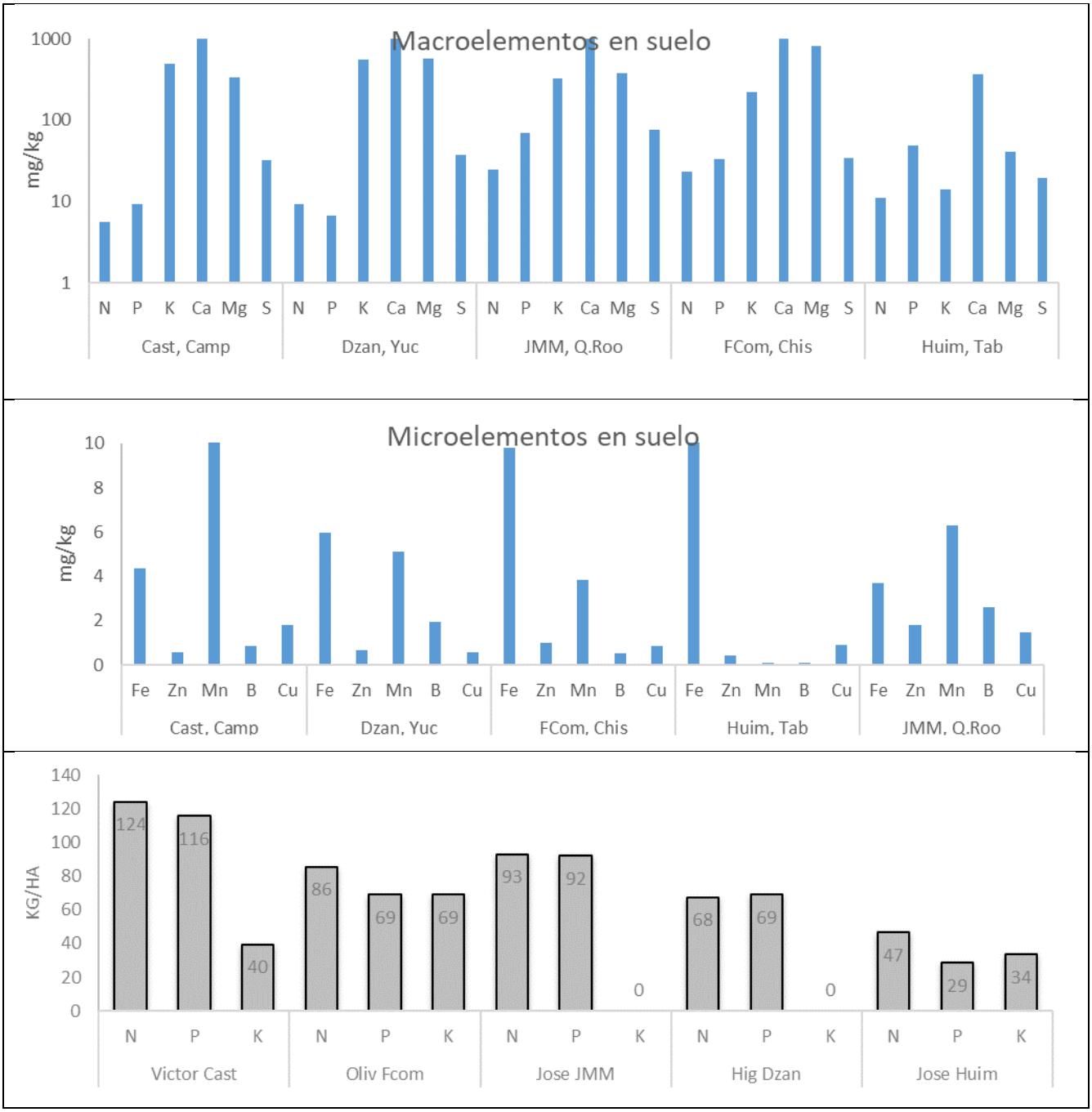


Figura 5. a y b) Concentración de nutrientes en los primeros 20 cm de suelo en huertas de limón persa del Sureste. c) NPK aplicado al suelo para cada huerta.

Con estos resultados, teóricamente cuatro huertas requerirían de correcciones en zinc, manganeso, cuatro de fierro, tres de boro (Harry & Benton,1996). Por lo que se diseñó un programa de aplicación y dosis de fertilización al suelo para cada una de ellas fue calculada en función a la necesidad de los elementos a requerir durante el ciclo de producción, los

aportados por el suelo y la eficiencia de fertilización, la movilidad del elemento, considerando además en la ecuación lo que aplicaría el productor. Mientras que los elementos faltantes como magnesio, zinc, manganeso y boro serían aplicados vía foliar. Esa condición fue la excepción para Frontera Comalapa, que alcanzó los niveles mínimos de nitrógeno, pero no de potasio. A pesar de que el suelo posee una cantidad elevada, posiblemente ligada a la muerte de raíces absorbentes (Johnson and Graham, 2015) (factor no evaluado).

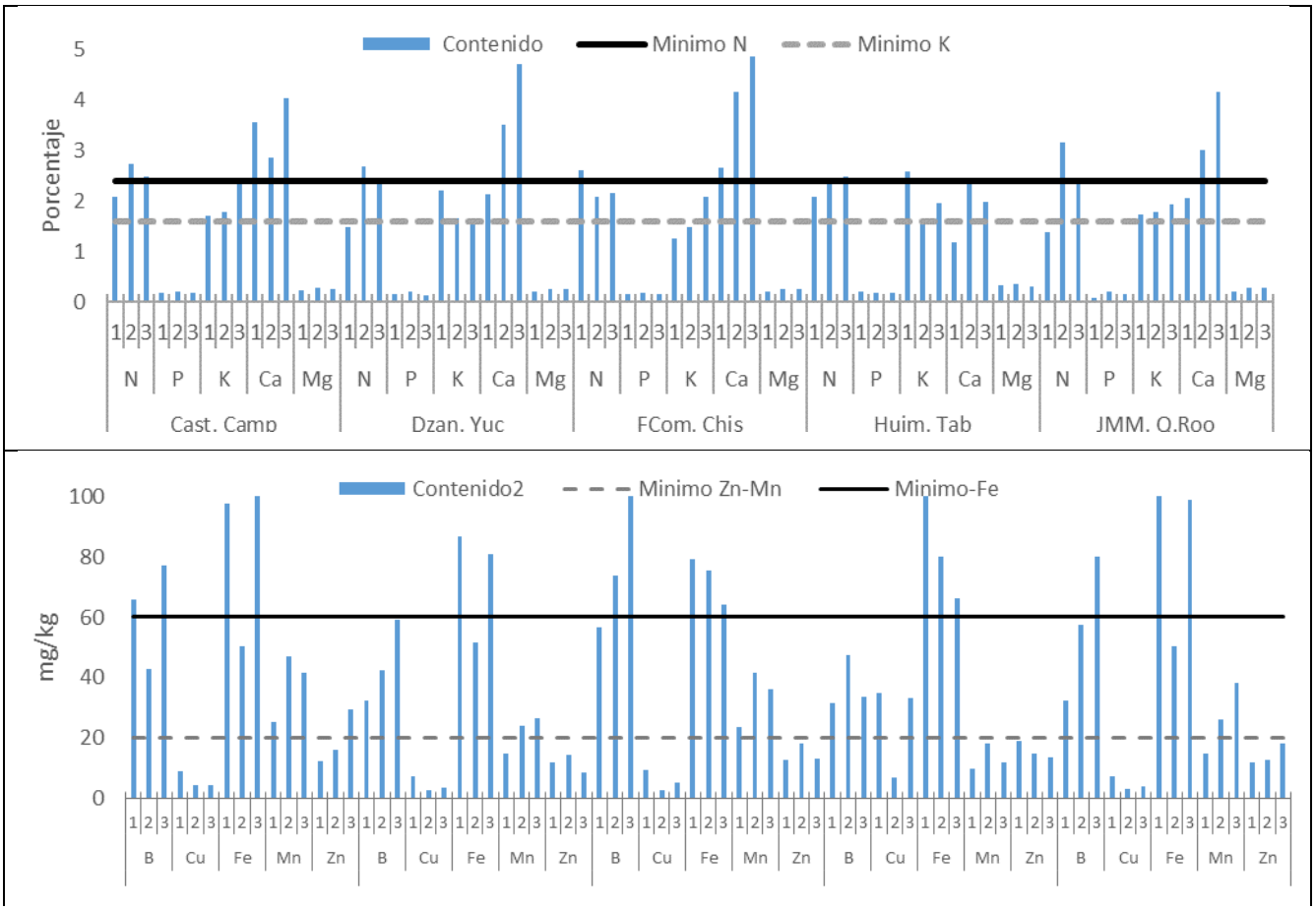


Figura 6. Cambios en el contenido de macro y microelementos en hojas de limón persa del Sureste, evaluadas en Enero 2019, octubre 2019, Junio 2020 (muestras de 20 árboles).

La huerta de FCom inicialmente con baja concentración foliar de potasio, incrementó mediante la aplicación al suelo (69 kg) y vía foliar bimestralmente. Sin embargo, la concentración de nitrógeno en la hoja llegó a niveles bajos, aun cuando el análisis del suelo mostraba niveles moderadamente altos de nitratos la planta no reflejó esa disponibilidad (Figura 6).

Es de resaltar que las aplicaciones foliares de Magnesio, Zinc y manganeso como sulfatos ([Mn 200g + Zn 400g + Mg 2000g + urea foliar 500g]/200l de agua bufferizada) (Mattos *et al.,* 2010) fueron realizadas al menos en dos ocasiones, sin contar a Tabasco. Derivado de ello se observa un incremento del 80 al 120% en la concentración de Manganeso y denota que su deficiencia es fácil de corregir. Sin embargo, las aplicaciones no siempre se realizaron con el *timing* indicado y no corrigieron las deficiencias de Zinc en las huertas excepto en JMM y Castamay, cuya concentración en las hojas aumentó 150 y 240% respectivamente (Figura 6).

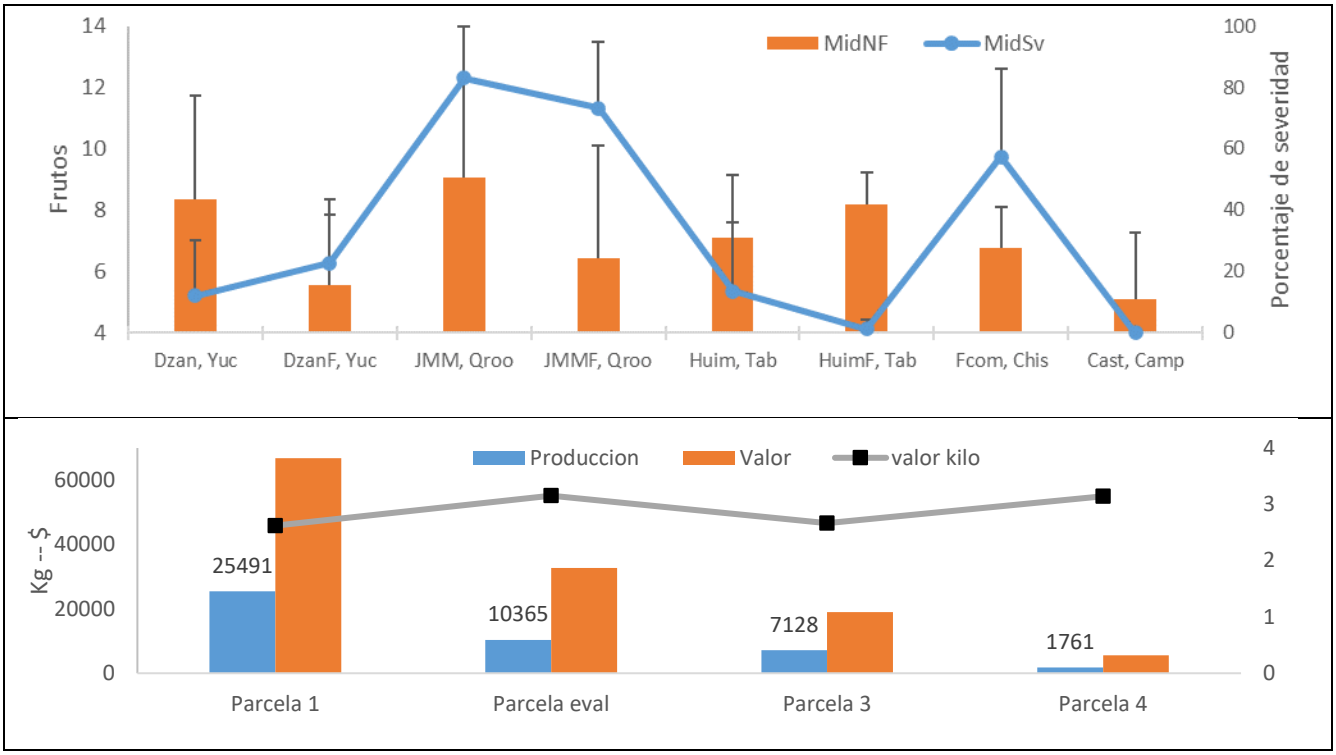


Figura 7. a) Carga de fruto en parcelas de limón persa con cambios en el manejo. *F lote similar a la huerta evaluada. B) Producción de enero a junio de 2020 en huerta evaluada de JMM, Q. Roo (Parcela eval), parcela 3 edad y volumen de copa similar a la parcela objetivo; parcela1 arboles mayores en edad y volumen de copa.

La huerta que recibió mayor cantidad de N y P fue Castamay, también recibió 40 kg de K (Figura 5) y aplicó vía foliar en dos ocasiones nitrato de potasio (1%), fue suficiente para mantener a K en niveles aceptables en la planta, a diferencia de Dzan que no recibió K, para la segunda y tercera fecha de muestreo su contenido foliar apenas alcanzó el nivel aceptable. La producción fue medida en una ocasión estandarizada a un volumen 0.125m^3; por la variabilidad entre árboles, fenología. En dos sitios cuyos productores realizaron las

modificaciones y con la posibilidad de contrastar los valores con un lote aledaño (F), se nota un incremento en la carga de frutos, lo que impacta en la productividad (Figura 7). Este incremento se confirma con los datos registrados por el productor de JMM, Q. Roo.



Figura 8. Cambios en el aspecto de los árboles con las modificaciones en la nutrición. A y B) Fcom, Chiapas sep19 y Feb20; C, D y E) Castamay; JMM, Q. Roo y Dzan Enero 20; F) Huim, Tab. Septiembre 19.

Adicionalmente, los productores notaron empíricamente cambios en la fecha de floración y amarre, lo que se traduce en una sucesión productiva donde los árboles tienen frutos en distintos estados de desarrollo (Figura 8). La estética de los frutos también mejoró al conservar una coloración verde y cáscara rugosa, parámetros catalogados como deseables en frutos destinados al empaque, señalando un menor porcentaje de rebote con las empacadoras. En

un trabajo similar, la aplicación foliar de nitratos no cambió el rendimiento, pero si el número de frutos (Berdeja-Arbeu *et al.,* 2016).

Conclusiones

Con excepción de las huertas de Huimanguillo y Castamay, las plantas de limón persa evaluadas están sometidas fuertemente al estrés fisiológico y presión de inóculo por el HLB. La liberación de Crisopas en huertas infestadas con mosca prieta no contribuyó a reducir su incidencia en la planta, pero presupone una oportunidad para motivar al productor a no aplicar insecticidas de alto impacto y permitir su establecimiento, así como de otros agentes de control. Por las características edáficas en la región, la aplicación de microelementos (Zn, Mn) al suelo tiene poca eficiencia al ser inmovilizados en la solución del suelo. Es factible y económico corregir deficiencias de magnesio por esta vía sin provocar daños en estructuras sensibles.

Agradecimientos

Al comité Estatal de Sanidad Vegetal por el financiamiento otorgado al proyecto: Impacto de las ARCOs en el manejo del HLB para Chiapas, Tabasco y Península de Yucatán (2018). A los productores por permitir el establecimiento de los ensayos en sus huertos. A los comités de Sanidad Vegetal de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, y Yucatán por el apoyo logístico.

Literatura Citada

Berdeja Arbeu, R. Hernandez Sayago, K., Salazar Sandoval. R. I., Vázquez-Cruz, F., Méndez-Gómez, J. y Moreno-Velázquez, D. 2016. Aspersiones foliares con nitratos en lima persa. Acta Agrícola y Pecuaria. 2: 72-77.

Gmitter, F. 2019. Rootstock solution for HLB. Citrus industry news. https://citrusindustry.net/2019/05/02/rootstock-solutions-for-hlb

Harry P. M. and Benton J. J. 1996. Plant Analysis Handbook II. MicroMacro Publishing Inc. USA.

Johnson E. and Graham, J. 2015. Root health in the age of HLB. Citrus Industry 14-18.

Maldonado, T. R., Almaguer, V. G., Álvarez, S. M. E. y Robledo S. E. 2008. Diagnóstico nutrimental y validación de dosis de fertilización para limón persa. Terra Latinoamericana 26: 341-349.

Mattos, J. D. Quaggio, J. A. Cantarella, H. y Boaretto, R. M. 2010. Manejo de la fertilidad del suelo para cítricos de alto rendimiento. Informaciones agronómicas 77:1 -11.

Qureshi, J.A., Rogers, M.E., Hall, D.G. y Stansly, P.A. 2009. Incidence of invasive *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its introduced parasitoid *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in Florida citrus. Journal of Economic Entomology 102, 247–256.

Robertson CJ, Zhang X, Gowda S, Orbović V, Dawson W, Mou Z 2018. Overexpression of the Arabidopsis NPR1 protein in citrus confers tolerance to Huanglongbing. Journal of Citrus Pathology 5:1–8.

Skaria, M and Hanagriff, R. D. Microbuded, high density citrus planting: Is there an opportunity for HLB control and financial returns? https://www.plantmanagementnetwork.org/proceedings/irchlb/2008/presentations/IRCHLB.12.14.pdf

Stansly, P.A., Arevalo, H.A., Qureshi, J.A., Jones, M.M., Hendricks, K., Roberts, P.D. y Roka, F.M. 2013. Vector control and foliar nutrition to maintain economic sustainability of bearing citrus in Florida groves affected by huanglongbing. Pest Management Science. doi:10.1002/ps.3577.

CURVAS DE VUELO DE ÁFIDOS EN EL SURESTE MEXICANO

Claudia Tania Lomas Barrié*[1], Emiliano Loeza Kuk[1], Arisbeth Guadalupe Tec Uicab[1] y Patricia Rivas Valencia[2]

Resumen

Los áfidos conforman un grupo importante de vectores de virus fitopatógenos asociados a pérdidas de producción y cultivos. Sus poblaciones son explosivas a partir de individuos fundatrices alados responsables de formar colonias en lugares aptos. La migración de áfidos está asociada generalmente al cambio de las condiciones ambientales y del hospedero lo que conlleva a la búsqueda de nuevos nichos. Conocer la dinámica de estas migraciones auxilia en el manejo integral de plagas. El objetivo de este trabajo, fue identificar los factores ambientales que generan los picos de vuelo o migración, evaluados con dos métodos de muestreo: 1) trampas amarillas pegajosas en parcelas de cítricos en seis entidades del sureste mexicano y 2) una trampa de succión, durante diferentes años de muestreo, así como la medición de variables ambientales como la temperatura y la humedad. En el muestreo con las trampas amarillas pegajosas se encontró una relación negativa con la temperatura y positiva con la presencia de lluvia que induce brotación del hospedero como factores que definen la migración local. En la trampa de succión mide la migración auxiliada por vientos a alturas de 12m el número de áfidos alados fue mayor cuando las condiciones son propicias para recorrer mayores distancias como los invernales, ya que éstos mantienen temperaturas más frescas que los vientos de verano que no los prefieren las formas aladas. Se encontró que el método de muestreo con la trampa de succión fue más eficiente que las trampas amarillas pegajosas, en términos de variación relativa y de costo de muestreo en periodos largos de muestreo.

Palabras clave: fluctuación, actividad de vuelo, trampa de succión, pulgones

[1] INIFAP, Campo Experimental Mocochá, Yucatán.* lomas.claudia@inifap.gob.mx.
[2] INIFAP, Campo Experimental Valle de México, México.

Introducción

La actividad de vuelo de los áfidos está asociada a variables ambientales, se ha encontrado que las variaciones de temperatura y humedad activan comportamientos migratorios en búsqueda de nuevos nichos. Esta capacidad de vuelo está directamente asociada a la dispersión - transmisión de virus fitopatógenos (Remaudiere, G. 1988), los áfidos son reconocidos entre los vectores más importantes de enfermedades en cultivos agrícolas (Kumar, 2019).

Definir los factores ambientales regionales del sureste mexicano asociados a la migración de áfidos, apoya para el desarrollo de modelos de detección temprana de estos vectores y auxiliar en el manejo integral de plagas.

Existen métodos pasivos y activos para el monitoreo de plagas, las trampas de succión (TS) tipo Rothamsted son consideradas pasivas no selectivas que capturan artrópodos transportados por el canal de viento a 12 m de altura sobre la superficie (Taylor, 1974; Nieto y Seco, 1990). Las trampas amarillas pegajosas (TAP) son consideradas del tipo activas ya que utilizan como estímulo el color amarillo para atraer al artrópodo y al pegarse en ella muere, con lo que se puede estimar el nivel de la población voladora dentro de la huerta (Toledo,2012).

Los afidos asociados a cítricos en la Península de Yucatán de acuerdo a (Patiño-Arellano, 2012) tienen un “pico” de abundancia en el mes de febrero detectados por conteo directo de brotes; este pico se asocia a condiciones climáticas, principalmente a bajas temperaturas. (Cisneros-Hernández, 2003) encontró por conteo directo, dos picos de presencia de áfidos en el municipio de Cuitláhuac, Veracruz (clima Aw2), uno del 17 junio al 1 de julio y otro del 16 de diciembre al 13 de enero. De los catorce áfidos reportados de importancia para los cítricos once se encuentran reportes en México y de estos seis son transmisores del *Citrus Tristeza Virus* (Mora *et al*.,1997).

El objetivo de este trabajo es identificar los factores ambientales precursores de la actividad de vuelo de áfidos y su abundancia, con dos métodos de muestreo, uno pasivo (TAP) y otro activo (TS).

Materiales y Métodos

En la figura 1, se muestra la ubicación de cada uno de los sitios de muestreo. La TS ubicada en el Campo Experimental de Mocochá del INIFAP, en Yucatán y las TAP ubicadas en parcelas de cítricos de productores cooperantes en seis entidades federativas (Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán).

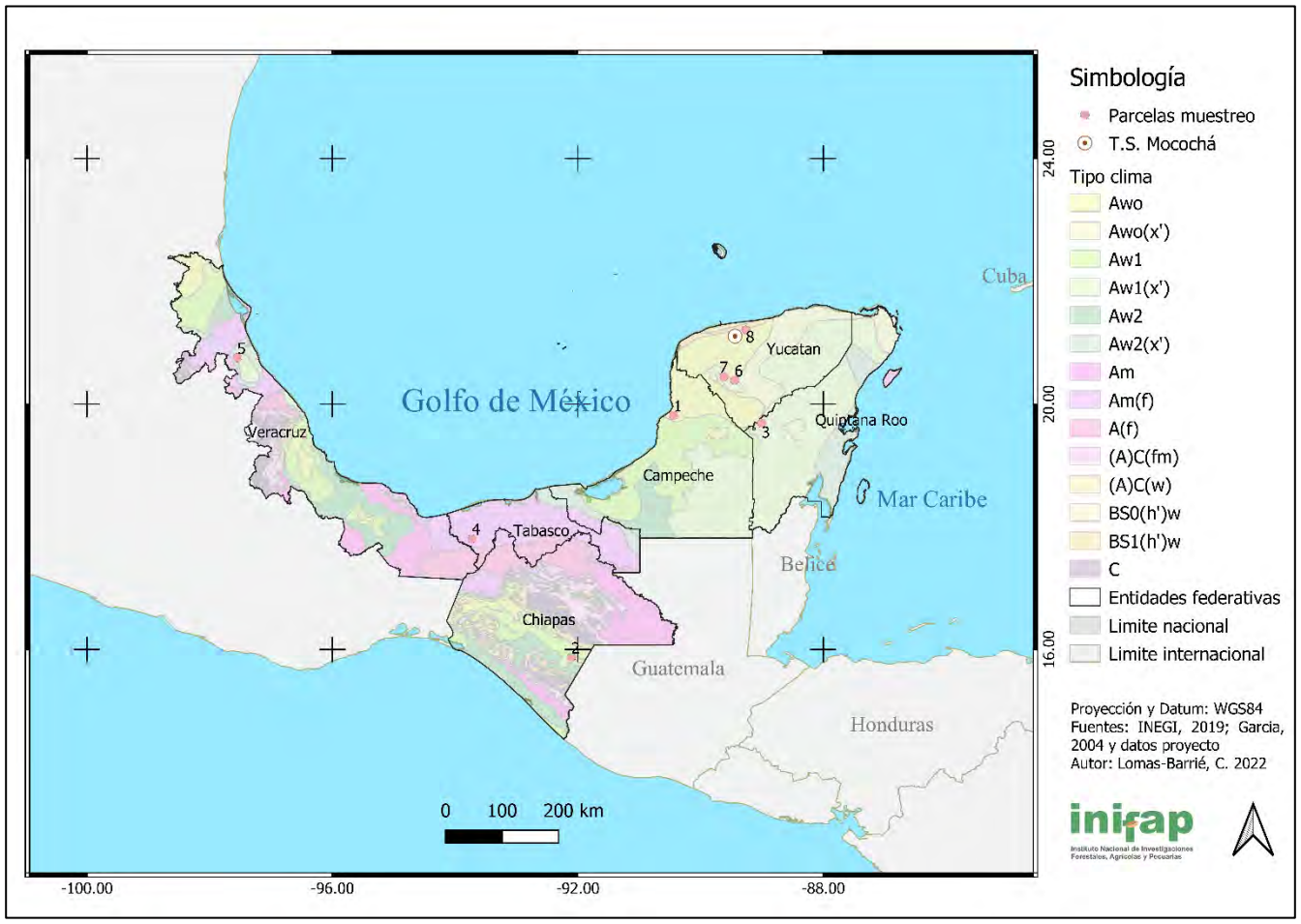


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo. Fuente: INEGI, 2019, García, 2004 y datos muestreo. Autor: Lomas-Barrié, 2022. Elaboración propia.

La TS toma una muestra diaria, con intervalo de 8:43 horas promedio por muestra, los áfidos capturados son identificados morfológicamente, cuantificados y almacenados en alcohol al 70% a 4°C. A 100m lineales de la trampa se encuentra una Estación Meteorológica Automatizada (EMA) de superficie y con sensores a 12m.

Las parcelas elegidas tuvieron manejo agronómico estándar de la región citrícola, conformadas principalmente por limón persa (LP) y en el caso de la ubicada en Veracruz de naranja dulce (ND) con 6 a 12 años de edad y en condición climática representativa de la región. Las TAP se colocaron en cinco de oros en las 4 esquinas de la hectárea y una al centro a 1.2m sobre el follaje de cada árbol; mientras que las de muestreo en T sobre la vía del camino 10 trampas y en el árbol central al fondo 10 trampas más. El muestreo se realizó cada 15 días y en cada sitio se colocó en el centro de la parcela un datalogger equipado con los sensores de humedad relativa, temperatura y precipitación, dentro de una garita de madera a 1m sobre el nivel del suelo. En el Cuadro 1 se muestran las características de cada uno de los sitios muestreados.

Cuadro 1. Características de los sitios de muestreo de áfidos con diferentes metodologías.

Entidad	Municipio	Localidad	Características muestreo				
			Tipo	Área	Periodo	Especie	Clima*
Campeche	Campeche	Castamay	TAP 5 oros	1 ha	09/08/2019 a 19/09/2020	LP	Aw0
Chiapas	Frontera Comalapa	Lindavista	TAP 5 oros	1 ha	09/08/2019 a 19/09/2020	LP	Aw0
Quintana Roo	José Ma. Morelos	El Verdon	TAP 5 oros	1 ha	14/06/2019 a 24/06/2020	LP	Aw1(x')
Tabasco	Huimanguillo		TAP 5 oros	1 ha	05/06/2019 a 07/07/2020	LP	Am(f)
Veracruz	Tihuatlán	Las Puentes	TAP 5 oros	1 ha	04/11/2019 a 08/03/2022	ND	Aw2(x')
Yucatán	Dzán	Nva. Esperanza	TAP 5 oros	1 ha	31/05/2019 a 14/10/2020	LP	Aw1(x')
	Sacalum	Plan Chac	TAP 5 oros	1 ha	09/07/2020 a 09/07/2022	LP	Aw1(x')
	Telchac Pueblo	Buena-ventura	TAP 20 en T	3.5 ha	19/06/2017 a 24/04/2022	LP	Aw0
	Mocochá	C.E. Mocochá	TS	100km	24/11/2017 a 08/07/2022	N.A.	Aw0

*Tipo de clima de acuerdo a (García, 2004).NA=No aplica.

Las TAP una vez colectadas en campo fueron transportadas al laboratorio de fitopatología del C.E. Mocochá en donde fueron revisadas y contabilizadas a través de un estereoscopio para la identificación morfológica de los áfidos capturados.

Para la evaluación de la precisión de muestreo se utilizó la ecuación (1) de precisión relativa neta (PRN) (Badii *et al*. 2011 y Castillo-Márquez, 1998), el coeficiente de variación (CV) y la variación relativa (VR), los cuales se compararon entre los periodos y tipos de muestreo.

(1)

$$PRN = \left(\frac{\left(\sqrt{n}\right) * \bar{y}}{C * s} \right)$$

donde, *n* es el número de veces que se utilizó el procedimiento de muestreo, $\bar{y}$ el promedio de la muestra, *C* el costo total que ocasiona utilizar el muestreo y *s* la desviación estándar.

Para complementar la información del muestreo de áfidos, se compararon las condiciones climáticas de la EMA y los dataloggers colocados durante el muestreo, contra los diagramas ombrotérmicos (Figura 2) que representan los datos climáticos de estaciones convencionales (EC) cercanas a no más de 15km, de largo periodo esto es con más de 30 años de datos, pertenecientes del Servicio Meteorológico Nacional de México.

Condiciones normales de temperatura y precipitación, área achurada roja representa el periodo de sequía, la época de lluvias por el achurado azul, el azul solido representa el superávit de lluvias mayor a 100mm: A) EC 27033 sitio Huimanguillo, B) EC 30132 Tihuatlán, C) EC 23013 José Ma. Morelos, D) EC 31009 Dzán, E) EC 31056 Mocochá y Buenaventura, F) EC 04023 Castamay, y G) EC 07135 Lindavista. Fuente de datos: SMN, 2022. Elaboración propia.

Resultados y Discusión

Para cada uno de los sitios de muestreo se elaboraron las curvas de vuelo de los áfidos (Figura 3), en los que se pueden observar las capturas más abundantes de vuelo en uno o más años. El sitio Huimanguillo ubicado en el clima más húmedo (Am(f)) de los sitios de muestreo, se observan al menos cuatro máximos de áfidos voladores que responden a las condiciones más húmedas y frescas del año y el menor número de áfidos alados se contaron en la semana 21 que es el final de la época menos húmeda (segunda quincena de mayo) de la región. Tihuatlán muestra cuatro máximos muy claros para el año 2020, el clima es Aw2(x') que es el más húmedo de los subhúmedo con régimen de lluvias intermedias.

Los sitios de José Ma. Morelos con seis picos, Dzan con cuatro y Sacalum con tres, todos ubicados en clima Aw1(x') que son subhúmedos con régimen de lluvias intermedias. En el caso de Sacalum, el número de áfidos más abundante es en la época más fresca que inicia en la semana 48 (finales de noviembre) y hasta la semana 13 (segunda quincena de marzo) del siguiente año. Los sitios de Castamay y Lindavista muestran un pico muy abundante en las semanas 35 a la 38 (2 al 22 de septiembre del 2019) y otro pico menor en la época fresca, los dos sitios están ubicados en el clima (Aw0), el menos húmedo de los subhúmedos.

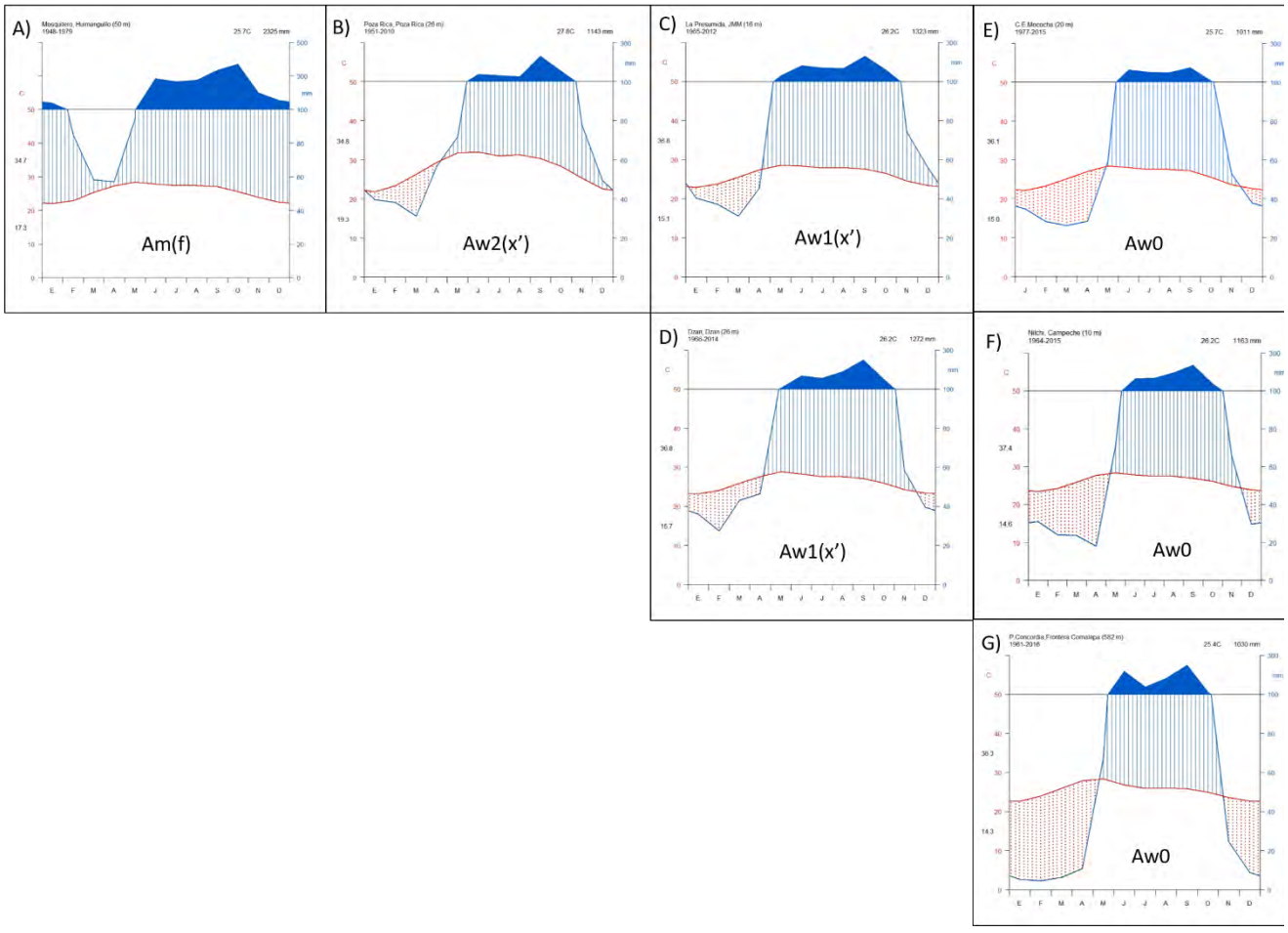


Figura 2. Diagramas ombrotérmicos generados para cada sitio de muestreo de pulgones.

En el caso de Buenaventura el pico más abundante se presenta en la época fresca (de la semana 47 a la 9 del siguiente año) con un clima (Aw0), sobresale que este comportamiento es similar a Sacalum que tiene un clima diferente.

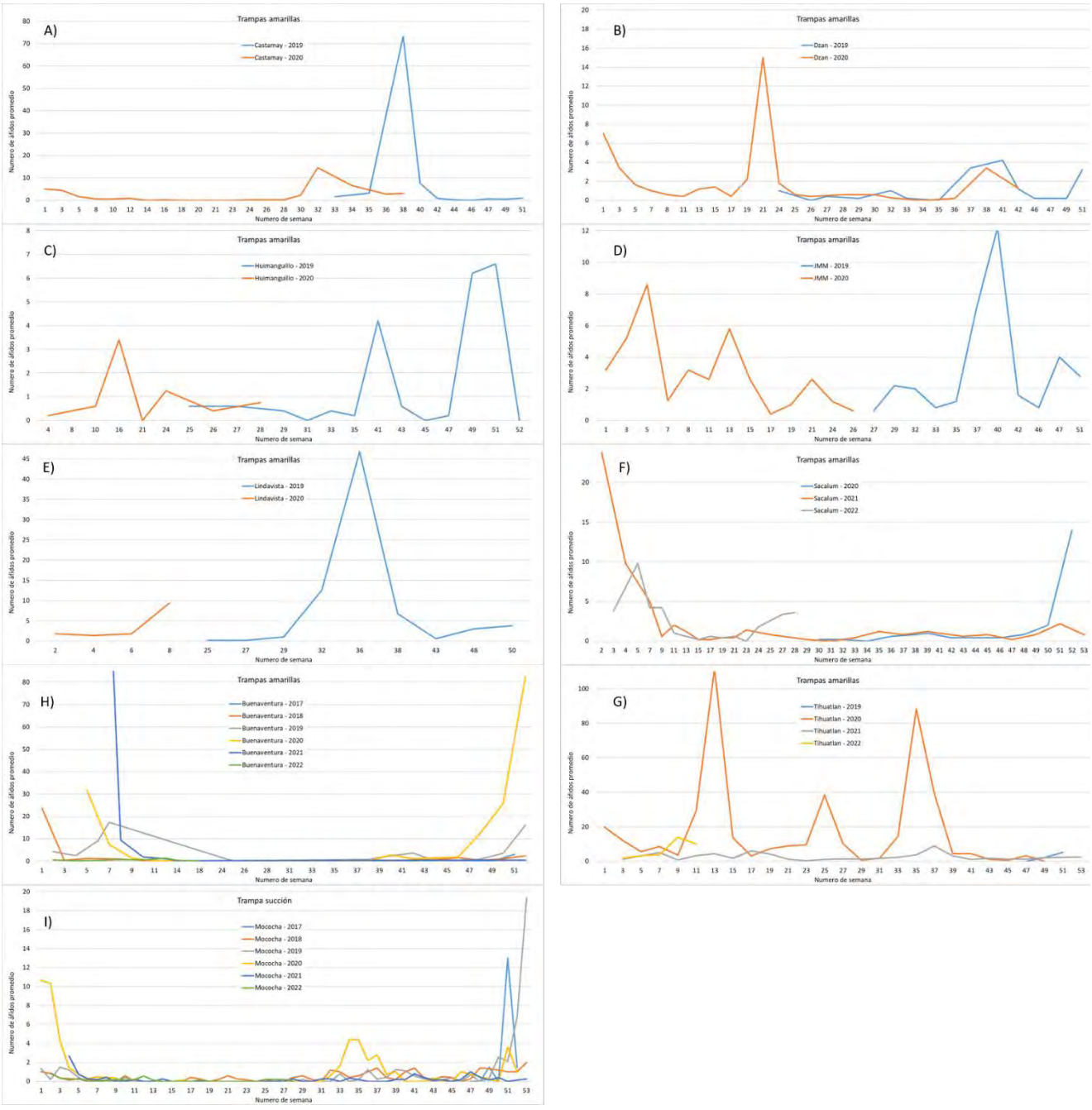


Figura 3. Mapa de vuelo de áfidos para cada sitio de muestreo en estados del Sureste de México.

En el caso de la TS de Mocochá se observan dos picos muy abundantes, el mayor en la época fresca la cual coincide con las TAP en Buenaventura que es la más cercana (22.8 km al noreste) (Cuadro 2), pero también con las ubicadas al sureste: Dzan, José Ma. Morelos, Sacalum y al oeste como es Tihuatlán. Sin embargo, se distingue que tiene otros picos menos pronunciados, que tendrán que ver con la migración desde otros climas y áreas, por ejemplo,

uno de los picos coincide con el observado en Castamay, Dzan y José Ma. Morelos (semana 33 a la 38) que son sitios ubicados el sureste de la TS. También el tipo de vegetación y cultivos cercanos influyen en las capturas de las trampas (Seco-Fernández y Nieto,1988), sin embargo, en este documento no se incluye este análisis.

Es posible que los áfidos estén migrando desde Tihuatlán (Cuadro 2), de manera general se reporta que el mayor rango de distancias recorridas por áfidos va desde pocos metros hasta los 1,000km (Robert, 1988) y estos desplazamientos se ven beneficiados por la presencia de vientos, sin los cuales los áfidos solo alcanzan velocidades de 1m/s (Robert, 1982).

Cuadro 2. Distancia de los sitios de la TS a TAP.

Sitio	Distancia (km)	Dirección
a Buenaventura	22.8	Noreste
a Sacalum	76.2	Suroeste
a Dzan	79.7	Sur
a José Ma Morelos	164.1	Sureste
a Castamay	181.2	Suroeste
a Huimanguillo	600.3	Suroeste
a Tihuatlán	903.4	Oeste
a Lindavista	2907.8	Suroeste

En un análisis puntual del sitio Castamay, se observa que lluvias después de la canícula sumado a disminución de la temperatura promedio por debajo de los 30°C, en la semana 33 (agosto 2019) y semana 30 (julio 2020), indujeron brotación en el hospedero, lo que promueve la reproducción de los áfidos los cuales migran para colonizar nuevos brotes especialmente si hay menos lluvia después de ese periodo (semana 38 del 2019 y 32 del 2020). Este comportamiento coincide con lo reportado por (Robert, 1982) donde los áfidos mostraron un vuelo activo con temperaturas de 30°C en el entorno, con viento y sin precipitaciones fuertes y abundantes. En este sitio, se observó que, si en la siguiente semana a la infestación las lluvias reinician, las capturas de áfidos migrantes disminuyen (semana 40 del 2019 y 34 del 2020); para aumentar nuevamente hasta la época fresca, periodo cuando las temperaturas mínimas son inferiores a 10°C y las máximas a 36°C y los frentes fríos introducen humedad

(semana 1 a 3 en enero del 2020), mismos que promueven la brotación de los cítricos (Figura 4).

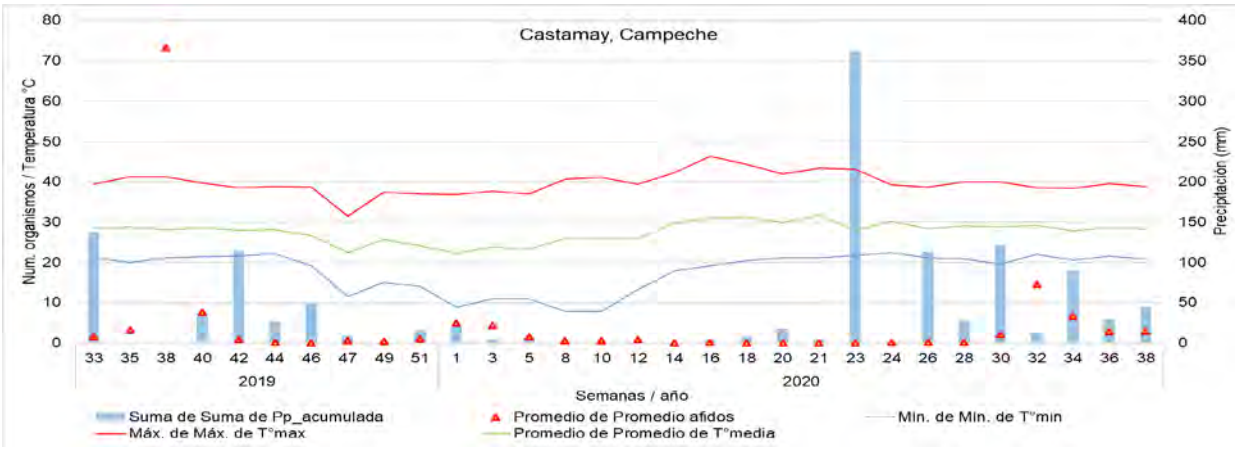


Figura 4. Relación de las condiciones de temperatura y precipitación con el muestreo en TAP.

Al comparar la TS y las TAP en T se encontró que tienen la misma variación relativa en 54.5% de los 38 meses muestreados. Las TAP tuvieron una mayor variación en 27.3% de eventos de muestreo, así como un coeficiente de variación mayor en 72.7% de las veces que la TS; lo que muestra poca eficiencia para proporcionar información útil para estimar los parámetros de la población de interés. Además, la TS tiene una buena relación entre la eficacia del procedimiento de muestreo y el costo de recopilar dicha muestra el 91.7% de los meses comparados (Cuadro 3), esta eficiencia se debe al tipo de muestreo, en el que no intervienen factores de atracción, así como a la capacidad de la TS de medir bajas o altas densidades como lo encontrado por Taylor desde 1974 con los resultados de las TS colocadas en Inglaterra.

Cuadro 3. Comparación del muestreo con TAP dispuestas en T con el muestreo de la TS, en los años - meses con datos pareados.

Tipo muestreo	Porcentaje de meses		
	VR	CV	PRN
TS = TA en T	54.5	9.1	0
TS mayor TA en T	18.2	18.2	91.7
TA en T mayor TS	27.3	72.7	8.3

La variación interanual observada en las curvas de vuelo para cada sitio está relacionada con las variaciones de los climas intertropicales, por lo que se requieren periodos de muestreo mayores a 8 años para definir patrones de flujo de áfidos para esa región (Engel *et al*., 2022).

Conclusiones

En ambos métodos de muestreo empleados se observa una relación entre los picos de las curvas de vuelo y las condiciones climáticas de los factores de temperatura y precipitación. Se detectó una variación interanual en los sitios con periodos de muestreo superiores a un año, por lo que para reconocer los patrones en las curvas de vuelo de áfidos en la región se requerirán un mayor número de años de muestreo continuo. La trampa de succión ha sido más efectiva que las trampas amarillas pegajosas para el muestreo y estimación de las poblaciones de áfidos migrantes en la región.

Agradecimientos

Al INIFAP por el financiamiento del proyecto “Estudio epidemiológico de riesgo de ocurrencia de aislados severos del *Citrus Tristeza Virus* (CTV) en la región Golfo-Centro y sureste” num 1314734749 del cual forman parte los resultados presentados, a los Biólogos Adriana Chacón López y Pedro Antonio Canul Chuc por su colaboración en el procesamiento de las muestras de insectos. Al personal de los Comités Estatales que nos auxiliaron con la colecta de algunas de las trampas amarillas.

Literatura Citada

Baddi, M., A. Guillen, E. Cema, y J. Valenzuela. 2011. Nociones introductorias de Muestreo Estadístico. International Journal of Good Conscience. 6(1) 89-105. ISSN 1870-557X

Castillo-Márquez, L. 1998. Muestreo de poblaciones. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México 142p.

Cisneros-Hernández, J. 2003. Diversidad y fluctuación de áfidos sobre brotes de cítricos en el municipio de Cuitláhuac, Veracruz. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados, México

Engel, E., D. Lau, W.A.C. Godoy, M.P.B. Pasini J.B. Malaquias, C.D.R. Santos, J. Pivato and *et al*. 2022. Oscillation, synchrony, and multi-factor patterns between cereal aphids and parasitoid populations in southern Brazil. Bulletin of Entomological Research 1–8. https://doi.org/10.1017/S0007485321000729

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1

Kumar, S. 2019. Aphid-Plant Interactions: Implications for Pest Management. In: Oliveira, M, Fernandes-Silva, A. y Candan F (Eds) 2019. Plant Communities and Their Environment. BoD – Books on Demand, 2020. http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.84302

Mora, A.G., J. Cisneros, M.R. Peña-Martínez, y R. Alatorre R. 1997. Áfidos vectores del virus Tristeza de los Cítricos presentes en México. 165-178 pp. In: Memorias del II Curso Internacional de Citricultura Manejo integral fitosanitario. Cd. Victoria, Tamaulipas

Nieto, J. y M. Seco. 1990. Pulgones y su captura mediante trampas: La red Euraphid. Bol. San. Veg. Plagas. 16: 593-603

Patiño-Arellano, S. 2012. Complejo de áfidos y riesgo de dispersión del Virus de la Tristeza de los Cítricos en la Península de Yucatán. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados, México.

Remaudiere, G. 1988. Reflexions sur le piegage et l'identification des ailes d'aphides. En: Aphid migration and forecasting "Euraphid" systems in european community countries. Proceedings of the EC Expert Meeting. R. Cavalloro. 249-255.

Robert, Y. 1982. Fluctuations et dynamique des populations de pucerons. En: Les pucerons des cultures (Ed. Le Carrousel). Journées d'études et d'information. A.C.T.A. París, 21-35 pp.

Robert, Y. 1988. Dispersion and migration. Pp. 299-313. In: Aphids. Their biology, natural enemies and control. Volumen A. Minks, A.K. y P. Harrewijn (Eds.). Elsevier, Amsterdam.

Seco-Fernández, M.V., M. Nieto, J. 1988. Dinámica de la población aérea de pulgones en las cercanías de León en el trienio 1980-1982. Bol. San. Veg. Plagas, 14:371-381.

Taylor, L. R. 1974. Monitoring change in the distribution and abundance of insects. Rothamsted Experimental Station Report for 1973 Part 2, pp 202-239.

Toledo, J. y F. Infante. 2012. Manejo integrado de plagas. Trillas. 327p.

AGENTES DE CONTROL BIOLÓGICO DE *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae) EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

Miguel Ángel Ramírez Guillermo[1]*, Eder Ramos Hernández[1], Pablo Ulises Hernández Lara[1], María del Carmen Silverio Gómez[1], Elizabeth Hernández Gómez[2] e Izamar López Domínguez[3]

Resumen

El árbol de cacao *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) produce frutos del cual se extraen las semillas, que es materia prima para la elaboración del chocolate y otros subproductos agroindustriales. El cultivo de cacao es de importancia socioeconómica en el estado de Tabasco, México en donde se existen condiciones edafoclimáticas propios del trópico húmedo para el desarrollo del cultivo. La cochinilla rosada *Maconellicoccus hirsutus* Green (Hemiptera: Pseudococcidae), es una plaga de importancia que limita el rendimiento y producción del cultivo, debido a su forma de alimentación picador-chupador, libera sustancias tóxicas que causan atrofias en la fisiología de la planta, afectando hojas, flores y frutos. En 2016 se observó por primera vez a *M. hirsutus* afectando cultivares de *T. cacao* en Comalcalco, Tabasco. Durante el monitoreo de los daños de *M. hirsutus* en accesiones de *T. cacao* pertenecientes al Banco de Germoplasma de Cacao del INIFAP-CEHUI, Tabasco, se notó la presencia de sus enemigos naturales. El objetivo del estudio fue la generación de conocimiento sobre los enemigos naturales de *M. hisutus* presentes en el agroecosistema cacao bajo las condiciones ambientales del trópico húmedo de Tabasco. Se colectaron especímenes que fueron procesados y resguardados en el laboratorio de entomología del CEHUI. Identificándose cuatro enemigos naturales, dos endoparásitos *Anagyrus kamali* (Moursi, 1948) y *Gyranusoidea indica* (Shafee, Alam y Agarwal 1975) (Hymenoptera: Encyrtidae) y dos depredadores *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant 1850) y *Azya orbigera* (Mulsant 1850) (Coleoptera: Coccinellidae). *A.*

[1] Campo Experimental Huimanguillo, CIRGOC-INIFAP, km. 1.0 carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco. Código postal 86400, Apartado postal 17. *ramirez.miguel@inifap.gob.mx
[2] INIFAP Campo Experimental Rosario Izapa, Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatan, Tuxtla Chico, Chiapas, México.
[3] Laboratorio de entomología CEHUI-Tabasco.

orbigera constituye el primer reporte de su presencia como agente de control biológico a *M. hirsutus* para el estado de Tabasco.

Palabras clave: *Anagyrus*, *Gyranusoidea*, *Cryptolaemus, Azya, Theobroma*

Introducción

El cacao *Theobroma cacao* L. (Malvaceae), es un cultivo de importancia socioeconómica en el estado de Tabasco, México, en donde se cuenta con 36,000 ha (SIAP, 2022). El árbol produce frutos del cual se extraen las semillas, que es la materia prima para la elaboración del chocolate y otros subproductos agroindustriales. El cultivo es afectado por diversos agentes bióticos que causan daños y pérdidas económicas, entre ellas, las enfermedades *Moniliophthora roreri* (Cif.) H.C. Evans, Stalpers, Samson & Benny y *Phytophthora capsici* (Hernández-Gómez *et al*., 2015; Ramírez-Guillermo *et al*., 2016); entre los insectos-plagas se pueden mencionar: *Clastoptera laenata* Fowler, *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe, *Hemeroblema mexicana* Guenée, *Selenothrips rubrocinctus* Giard y *Lecanoideus floccissimus* Martin (Sánchez y Cortés, 2000; Gerónimo *et al*., 2013; Capetillo-Concepción *et al*., 2014). Sin embargo, *Forcipomyia* spp. es el insecto de mayor importancia, ya que es el principal agente polinizador de la flor del cacao. La cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* (Green, 1908) es un insecto que pertenece al orden Hemíptera y a la familia Pseudococcidae, es un insecto polífago que afecta a más de 350 especies de 75 familias de plantas en regiones tropicales y subtropicales en la región del Neotrópico, el daño es causado por las hembras al momento de alimentarse (Williams, 1986; Miller, 1999; Meyerdirk *et al*., 2003; Chong *et al*., 2015). Se reporta que *M. hirsutus* afecta a especies de la familia Malvaceae, entre ellas *Theobroma cacao* L., *Theobroma* bicolor (Bonpl. Mociño y Sessé) y *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.) (Meyerdirk *et al*., 2003; Broglio *et al*., 2015). Fornazier *et al*. (2017) lo reporta afectando plantas de *T. cacao* en Brasil. En México, *M. hirsutus* se reportó por primera vez en 1999 en Mexicali, Baja California (Miller, 1999), en el estado de Tabasco su presencia se reportó en el 2013, en el municipio de Emiliano Zapata (SENASICA, 2022a) y en el año 2016 se observó causando daños en plantas de *T. cacao* en el municipio de Comalcalco,

Tabasco (Ramírez-Guillermo *et al*., 2020). Bajo las condiciones del trópico húmedo del estado de Tabasco, México en donde predominan los climas de cálido húmedo con lluvias de monzón (Am), con lluvias todo el año (Af) y con lluvias de verano (Aw), con temperatura que van de un rango de 10-42°C, un régimen de lluvia de hasta 2,550 mm anuales y humedad relativa de 80-86%, se ha coincidido con estudios de descripción ya realizados, que *M. hirsutus* presenta dimorfismo sexual, los machos son pequeños (1 mm), poseen antenas largas, un par de alas, aparto bucal atrofiado; no se alimentan durante su vida como adulto (2 días), su importancia radica en la copula con el mayor número de hembras. Las hembras son ápteras de color rojizo, de forma ovalada, mide hasta 4 mm de largo, sin borde lateral ceroso, sin filamentos caudales y poseen un aparto bucal tipo chupador y sobreviven 16 días, el ovisaco es de color blanco que se encuentra debajo del cuerpo llegando a contener hasta 617 huevos de color rosado y requiere de 36 días para completar el desarrollo del huevo al adulto, en el caso de las hembras y 39 días para los machos; las hembras viven hasta 20 días y los machos solo 4 días, actualmente *M*. *hirsutus* es una amenaza para el cultivo de *T. cacao* en Tabasco ya que afecta hojas, yemas apicales, flores y frutos (Miller, 1999; Hernández-Lara *et al*., 2020; Ramírez-Guillermo *et al*., 2020; Ramos *et al*., 2021). El control biológico es el método más efectivo para contrarrestar los daños de *M*. *hirsutus* (Arredondo y Mellín, 2004; García-Valente *et al*., 2009; Gutiérrez-Ramírez *et al*., 2013).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en el Campo Experimental Huimanguillo (INIFAP-CEHUI) en Tabasco, México alberga el Banco de Germoplasma de Cacao (BGC) el cual cuenta con 108 accesiones. El objetivo planteado es generar conocimiento sobre los enemigos naturales de *M. hisutus* presentes en el agroecosistema cacao bajo las condiciones ambientales del trópico húmedo de Tabasco y así contribuir al futuro manejo de la plaga.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el BGC del CEHUI-Tabasco localizado entre las coordenadas 17°51'7.80" N y 93°23'43.50" W, el clima predominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am). Se seleccionaron 10 accesiones por su importancia en el programa de

mejoramiento genético. Notándose que las accesiones RIM 68 (*Theobroma cacao* subsp. *cacao* forma *pentagonum* (Bernoulli) Cuatr., comb. nov. (Cuatrecasas, 1964) colectado en el estado de Chiapas y SCA 6 procedente de Ecuador, son preferidos por *M*. *hirsutus*. Durante el periodo del 2020-2022 en estas accesiones se observaron momias y hembras adultas de *M*. *hirsutus* parasitadas, así mismo se observaron especies de la familia Coccinellidae alimentándose de huevos y ninfas. Los especímenes observados se colectaron directamente de colonias de *M*. *hirsutus* dispuestas sobre la yema apical arrosetada, hojas y frutos, los cuales se trasladaron al laboratorio de entomología del CEHUI para su examinación morfológica bajo microscopio óptico (Carl Zeiss StemiDV4), posteriormente se realizó la extracción y montaje de la genitalia en bálsamo de Canadá para la identificación taxonómica (Caballero *et al*., 2017). Las descripciones se realizaron de acuerdo con Moursi, (1948); Shafee *et al*., (1975); Leeper, (1976) y Gordon, (1980). Los especímenes estudiados se encuentran en el laboratorio de entomología del INIFAP-CEHUI.

Resultados y Discusión

Para el cultivo de cacao, *M. hirsutus* es una plaga de importancia, debido a los daños que causa en la estructura de la planta; deformación de ramas, proliferación de yemas axilares, arrosetamiento de yemas apicales, marchitamiento de flores, deformación de frutos y hojas; síntomas que fueron reportados por Fornazier *et al*. (2017) y Ramos *et al*. (2021). El insecto produce una cantidad importante de melaza o mielecilla que se quedan sobre las hojas y da lugar a la producción de hongos que afectan la capacidad fotosintética de la hoja. Bajo las condiciones del trópico húmedo de Tabasco y presentes en el BGC del CEHUI se han identificado enemigos naturales de control biológico de *M. hirsutus*, dos especies de parasitoides, *Anagyrus kamali* (Moursi, 1948) y *Gyranusoidea indica* (Shafee, Alam y Agarwal 1975) (Hymenoptera: Encyrtidae) y dos especies de depredadores, *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant 1850) y *Azya orbigera* (Mulsant 1850) (Coleoptera: Coccinellidae). *A*. *orbigera* se encuentra presente en Yucatán, Veracruz y Morelos. En el caso del estado de Tabasco, puede considerarse de importancia su presencia en el agroecosistema cacao como agente de control biológico. Kairo *et al*. (2000) indican la eficacia de *A. kamali*, *G. indica* y *C. montrouzieri* como

agentes de control biológico para *M. hirsutus*. SENASICA, (2022b) reporta que se han liberado en Tabasco las especies de *A. kamali* y *C. montrouzieri* en los municipios de E. Zapata, Comalcalco y Cunduacán donde se tiene los reportes de la presencia de *M. hirsutus*.

Parasitoides de *M. hirsutus*

***Anagyrus kamali* (Moursi, 1948) (Hymenoptera: Encyrtidae)**

Parasitoide originario de China, se alimenta hasta completar su ciclo de vida en ninfas y hembras adultas de *M. hirsutus*, causando la muerte de su hospedero. La hembra coloca de 40-60 huevos. Ram *et al*. (2011), indican que requiere de 27-30°C de temperatura y 60% de humedad relativa para completar su ciclo de vida. Se ha introducido a México, como agente de control biológico a *M. hirsutus* (Gutiérrez-Ramírez *et al*., 2013). *A. kamali* se reconoce por la vena posmarginal más corta que el estigma del ala anterior, sin setas marginales en el ápice extremo del ala; escapo claramente ensanchado y aplanado, un poco más de tres veces más largo que ancho, el primer segmento funicular negro y del II al V son blancos, con setas exteriores oscuras; cabeza y tórax color naranja. El macho tiene un escapo antenal blanquecino con una banda oscura mediana (Figura. 1a). **Material examinado**, MÉXICO, Tabasco, Huimanguillo, INIFAP-CEHUI km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, 47 msnm, 17°51' 7.80"N y 93°23'43.50"W, sobre frutos de la accesión RIM 68 *Theobroma pentagonum* (Bernoulli) (Malvaceae), 26.viii.2020, col M.A. Ramírez, 6♀, 1♂, INIFAP-CEHUI (Fig. 1 a, b).

***Gyranusoidea indica* (Shafee, Alam y Agarwal 1975) (Hymenoptera: Encyrtidae)**

Se describió en la India y fue introducido a diversos países como agente de control biológico de *M. hirsutus*. En México no fue exitosa su adaptación. No se ha reportado su presencia o introducción al estado de Tabasco como parte de la estrategia de control biológico a *M. hirsutus* (Kairo *et al*., 2000; Gutiérrez-Ramírez *et al*., 2013; SENASICA, 2020b). Ram *et al*. (2011), indican que temperaturas de 28-30°C y humedad relativa de 70-80% como ideales para el desarrollo del ciclo de vida de *G. indica*. Una de sus características de sus características principales es que presenta una vena posmarginal más larga que el estigma, su escapo relativamente ancho, dos veces tan largo como ancho, que lo hacen fácilmente distinguible. **Material examinado**, MÉXICO, Tabasco, Huimanguillo, INIFAP-CEHUI km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, 47 msnm, 17°51' 7.80"N y 93°23'43.50"W, sobre frutos de la accesión RIM 68 *Theobroma pentagonum* (Bernoulli) (Malvaceae), 08.ix.2020, col I. López, 1♀, INIFAP-CEHUI (Figura. 1 c).



Figura 1. Adultos de *A. kamali*, a) Macho; b) Hembra; c) Adulto de *G. indica* Hembra.

Depredadores de *M. hirsutus*

***Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant 1850) (Coleoptera: Coccinellidae)**

Originario de Australia e introducido a USA en 1891 para el control de *Pseudococcus* (Kairo *et al*. 2000; Ramos-Cordero *et al*., 2018;). Se introdujo a México desde USA y Canadá, para su liberación en Jalisco y Nayarit como control biológico de *M. hirsutus* (García-Valente, 2009; Gutiérrez-Ramírez *et al*., 2013). De acuerdo con Ramos-Cordero *et al*. (2018) indican que la hembra coloca los huevos separadamente en la bolsa de huevo de las cochinillas, las larvas están cubiertas de proyecciones céreas de color blanco, la pupa es de color amarillo brillante, el adulto es un escarabajo de forma hemisférica, cabeza amarillenta, élitros de color negro brillante, pronoto y borde posterior de los élitros color anaranjado obscuro; las larvas y adultos son los enemigos naturales y más eficaces por su hábito alimenticio de huevos, ninfas y adultos de *M. hirsutus*. Los machos y las hembras son muy similares, se distinguen por la curvatura de la parte terminal del abdomen, con mayor precisión a través de la genitalia (Figura. 2 a, b, c). El óptimo de temperatura para su desarrollo es de 20–25°C tolerando hasta los 30°C y humedad relativa de 70%. La duración del desarrollo desde el huevo al adulto es de 23.2 a 65.1 días, dependiendo de la temperatura y presa consumida (Ramos-Cordero *et al*., 2018). En el 2016 se liberó *C. montrouzieri* en el estado de Tabasco. M**aterial examinado**, México, Tabasco, Huimanguillo, INIFAP-CEHUI km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, 47 msnm, 17°51'05.9"N y 93°23'43.8"W, sobre yema apical arrosetada y hojas de la accesión SCA 6 *Theobroma cacao* L. (Malvaceae), 03.VI.2022, col I. López, 2♂, 5♀, INIFAP-CEHUI. La hembra

mide 3.9 mm de largo y de 2.0 a 2.7 mm de ancho, el macho de 3.5 a 3.6 mm de largo y de 2.0 a 2.5 mm ancho (Figura. 2 a).

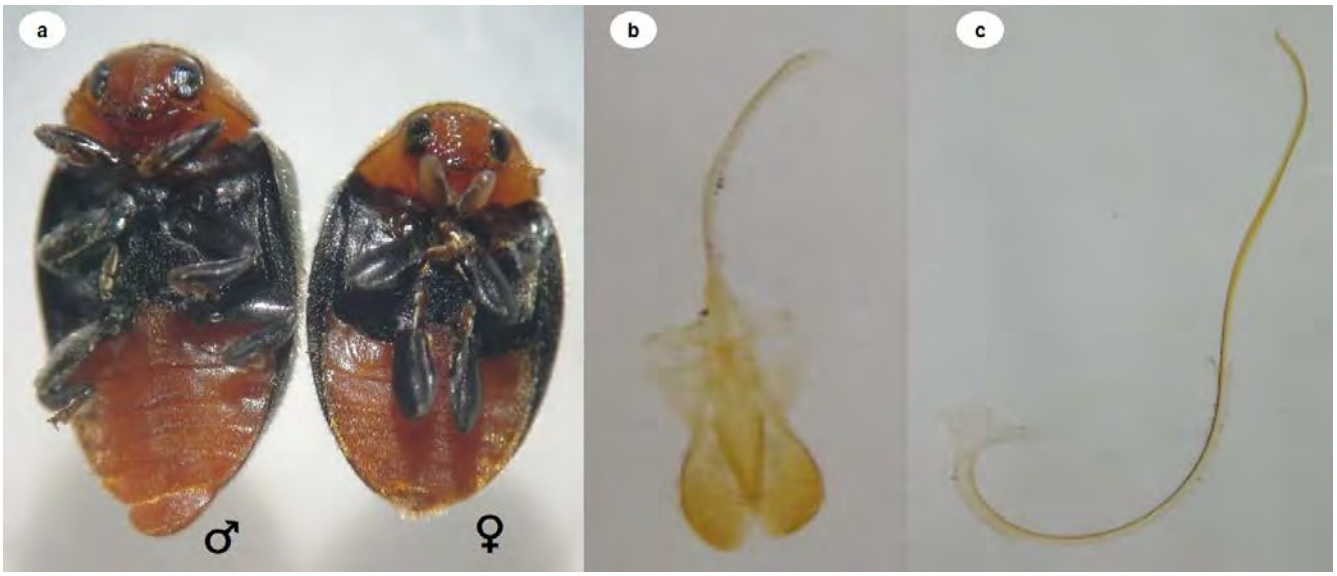


Figura 2. a) Adultos de *C. montrouzieri*; Macho b) Tegmen con trabas; c) Sifón.

***Azya orbigera* (Mulsant 1850) (Coleoptera: Coccinellidae)**

El macho es de forma ovalada, la cabeza de color amarilla; dorso negro verdoso, cada élitro posee una mancha discal redonda oscura, el vientre de color negro, excepto las patas y abdomen de color amarillo (Figura. 3 c, d). La genitalita: con parámero delgado; ápice del sifón delgado, con proyecciones ventral antes del ápice (Figura. 3 e, f). La hembra es similar al macho excepto por el color negro verdoso de la cabeza (Figura. 3 c, d). En cuanto al tamaño varia en largo y ancho, así como en las manchas negras en el élitro varia en diámetro. *A. orbigera* es una especie neotropical presente desde México hasta Argentina, de importancia en el control biológico de Coccidae (escamas blandas) y Pseudococcidae (cochinillas). Se ha introducido a otros países para el control de escama del coco *Aspidiotus destructor* Signoret, en 1908 se liberaron especímenes de *A. orbigera* en Hawái procedentes de México (Gordon, 1980). Se ha reportado la presencia de *A*. *orbigera* en Monterrey, Guanajuato, Michoacán, Morelos (Marín-Jarillo y Bujanos-Muñiz, 2008; López y Ponce-Saavedra, 2017), en Yucatán se reporta como agente de control de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) (Lozano y Jasso, 2012). Presente en agroecosistemas tradicionales de café en Veracruz (Salinas-Castro y Ávila-Bello, 2016), así como depredador de *Saissetia* sp. (Hemiptera: Sternorrhyncha)

en Venezuela (Montilla y Ramos, 2016). La población *A. orbigera* puede ser afectada debido a la presencia de sus enemigos naturales como *Homalotylus shuvakhinae* sp. n. y *Azteca instabilis* que parasitan y depredan sus larvas, respectivamente (Trjapitzin y Triapitsyn, 2003; Vandermeer *et al*., 2010). En plantaciones de *Annona muricata* L. en Nayarit, México, Cham *et al*. (2019) observaron la presencia de *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) y de *A. orbigera*. **Material examinado**, México, Tabasco, Huimanguillo, INIFAP-CEHUI km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, 47 msnm, 17°51'7.80"N y 93°23'43.50"W, sobre hojas de la accesión RIM 68 *Theobroma pentagonum* (Bernoulli) (Malvaceae), 15.XI.2020, col I. López, 1♂, INIFAP-CEHUI. CEHUI, 47 msnm, 17°51'05.9"N y 93°23'43.8"W, sobre yema apical arrosetada y hojas de la accesión SCA 6 *Theobroma cacao* L. (Malvaceae), 30.VII.2020, col I. López, 1♀, 15.VII.2021, col M. A. Ramírez, I. López 2♂, 1♀ INIFAP-CEHUI. La hembra mide de 3.1 a 3.9 mm de largo y de 2.1 a 3.3 mm de ancho, el macho mide de 3.4 a 3.9 mm de largo y de 3.0 a 3.5 mm de ancho (Figura. 3 a, b, c, d).

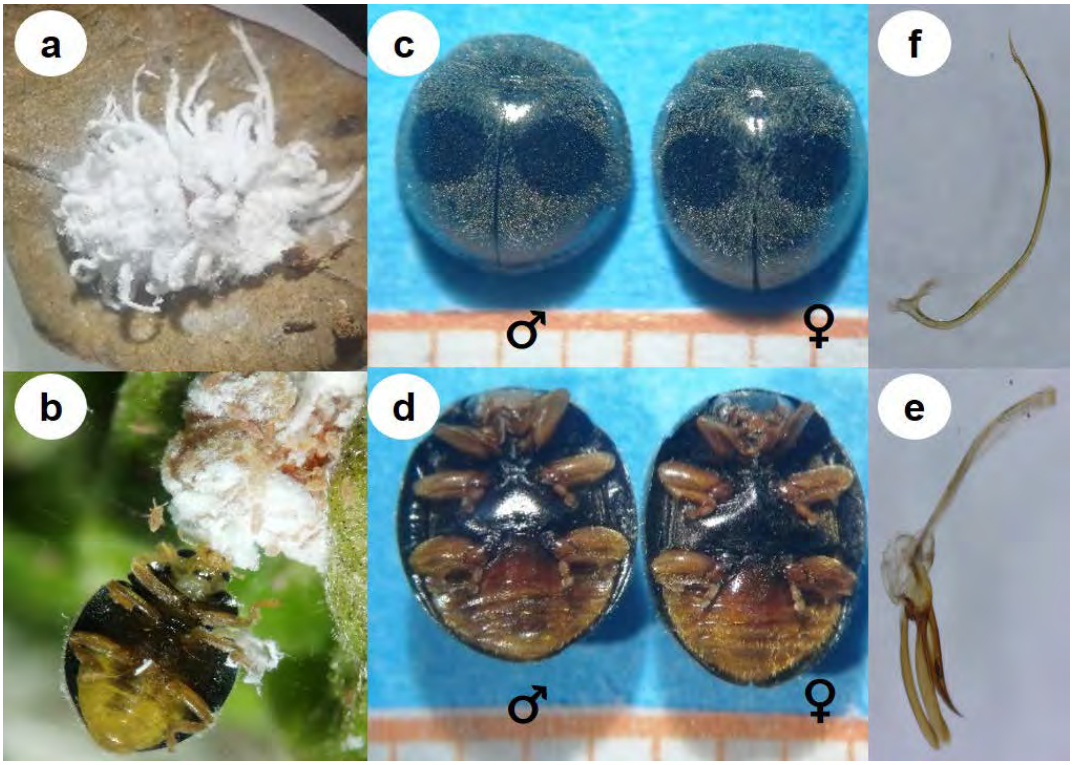


Figura 3. *A. orbigera;* a) Ninfa; b) Adulto depredando huevos de *M. hirsutus*; c) Vista dorsal; d) Vista ventral; Macho e) Tegmen con trabas; f) Sifón.

Conclusiones

1. El clima tropical del estado de Tabasco representa un ambiente propicio para la reproducción natural de agentes de control biológico de *M. hirsutus*.
2. Se identificó la presencia de los parasitoides *A. kamali* y *G. indica* y los depredadores *C. montrouzieri* y *A. orbigera* en el Banco de Germoplasma de Cacao del CEHUI.
3. Este constituye el primer reporte de la presencia de *A. orbigera* como agente de control biológico a *M. hirsutus* para el estado de Tabasco.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias por el financiamiento del proyecto “Identificación del vector del agente causal de las anormalidades y engrosamiento del rebrote y ramas de *Theobroma cacao* L. en Tabasco” SIGI: 9481135092.

Literatura Citada

Arredondo, B. C. H. y M.A. Mellín, R. 2004. El control biológico de plagas en cultivos tropicales. *In*: L. Martínez B., CF Ortíz G., R Osorio O., P Ruiz B., W Méndez A., A García M. y M Merino T. (Ed.), Simposio Nacional de Manejo Fitosanitario de Cultivos Tropicales, Villahermosa, Tabasco. 184p.

Broglio, S. M. F., P. Cordero E., M. Santos J. y B. Micheletti L. 2015. Registro da cochonilha-rosada-do-hibisco infestando frutíferas em Maceió, Alagoas, Brasil. *Rev. Caatinga* 28: 242-248.

Caballero A., A. A. Ramos-Portilla y T. Kondo T. 2017. Scale insects (Hemiptera: Coccomorpha) on sugarcane in Colombia, with description of a new species of Tillancoccus Ben-Dov (Coccidae). Zootaxa 4258 (5): 490-500.

Capetillo-Concepción E., V. Córdova-Ávalos, S. Sánchez-Soto, J. Romero-Napoles, M. Pérez-De La Cruz y J. R. Hipólito. 2014. Fluctuación poblacional de *Selenothrips rubrocinctus* (Giard) en cultivo de cacao en Huimanguillo, Tab., México. Rev. Peru. entomol. 49 (2): 137-142.

Cham, A. K., G. Luna-Esquivel, A. Robles-Bermúdez, C. Ríos-Velasco, J. M. Coronado-Blanco y O. J. Cambero-Campos. 2019. Insects associated with the soursop (*Annona muricata* L.) crop in Nayarit, Mexico. Florida Entomologist, 102(2): 359-365.

Chong, J. H., F. Aristizábal L. y P. Arthurs. 2015. Biology and management of *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae) on ornamental plants. J. of Integrated pest management. 6(1): 1-14.

Cuatrecasas, J. 1964. Cacao and its allies: A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. Contr. U. S. Natl. Herb. 35(6): 379-607; 1964.

Fornazier, M. J., D. Martins, C. A. Spaggiari, M. P. Culik, M. Augusto J., M, Fornazier D., S. Fiuza P. y J. Cola. 2017. Invasion of the main cocoa-producing region of South America by *Maconellicoccus hirsutus* (Hemiptera: Pseudococcidae). Flo. Entom. 100(1): 168-171.

García-Valente F., L. D. Ortega-Arenas, H. González-Hernández, J. A. Villanueva-Jiménez, J. López-Collado, A. González-Hernández y H. C. Arredondo-Bernal. 2009. Parasitismo natural e inducido de *Anagyrus kamali* sobre la cochinilla rosada en brotes de teca, en bahía de banderas, Nayarit. Agrociencia. 43: 729-738; 2009.

Gerónimo, L. V., S. Sánchez S., N. Bautista M., M. Pérez C. y H. J. Mendoza. 2013. Fluctuación poblacional de *Clastoptera laenata* (Hemiptera: Clastopteridae) en el cultivo del cacao en Tabasco, México. Fitosanidad, 17 (3): 131-137.

Gordon, R. D. 1980. The Tribe Azyini (Coleoptera: *Coccinellidae*): Historical Review and Taxonomic Revision. Transactions of the American Entomological Society (1890). 106(2): 149-203.

Gutiérrez-Ramírez A., A. Robles-Bermúdez, C. Santillán-Ortega, M. Ortiz-Catón, O. J. Cambero-Campos. 2013. Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el estado de Nayarit, México. Rev. Bio Ciencias. 2(3): 102-112; 2013.

Hernández-Gómez E., J. Hernández-Morales, C. H. Avendaño-Arrazate, G. L-Guillen, E. R. Garrido-Ramírez, J. Romero-Nápoles y C. Nava-Díaz. 2015. Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en Chiapas, México. Revista Mexicana de Fitopatología 33: 232-246.

Hernández-Lara, P. U, M. A. Ramírez-Guillermo y E. Ramos-Hernández. 2020. Ciclo biológico de la cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*) (Green) (Hemíptera: Pseudococcidae) en plántulas de cacao. Rev. Ciencia e Innovación 3(2): 395-402.

Kairo, M. T. K., V. Pollard G, D. Peterkin D. y F. Lopez V. 2000. Biological control of the hibiscus mealybug, Maconellicoccus hirsutus Green (Hemíptera: Pseudococcidae) in the Caribbean. Integrated Pest Management Reviews 5: 241-254

Leeper, J. R. 1976. Review of the Hawaiian Coccinellidae. Proceedings, Hawaiian Entomological Society 22(2): 279 p.

López P, G. y J. Ponce-Saavedra. 2017. Coccinélidos (Coleóptera: Coccinellidae) del Estado de Michoacán, México. Biológicas, 9(2): 16–27.

Lozano C, M. G. y J. Jasso A. 2012. Identificación de enemigos naturales de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemíptera: Psyllidae) en el estado de Yucatán, México. Fitosanidad 16(1): 5-11.

Marín-Jarillo, A. y R. Bujanos-Muñiz R. 2008. Especies de la familia Coccinellidae (Coleóptera) del estado de Guanajuato, almacenadas en la Colección Nacional de Insectos (CNI) INIFAP. Folia Entomol. Mex. 47(1): 21-34.

Meyerdirk, D. E., R. Warkentin, B. Attavian, E. Gersabeck, A. Francis, M. Adams y G. Francis. 2003. Manual del proyecto para el control biológico de la cochinilla rosada del hibisco. 2da Edic. USD, US-IICA. San José, Costa Rica. 194 pp.

Miller, D. R. 1999. Identification of the pink hibiscus mealybug, *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Pseudococcidae). Insecta Mundi. 339, 13(3-4): 189-203.

Montilla, R., F. Ramos. 2016. Insectos entomófagos asociados a *Saissetia* sp. (Hemíptera: Sternorrhyncha) sobre *Eranthemum* sp. (Acanthaceae) en Venezuela. Entomotropica 31(17): 137-145.

Moursi, A. A. 1948. Contributions to the knowledge of the natural enemies of mealybugs. 1. Description of two new species of *Anagyrus* (Hymenóptera : Encyrtidae). Bull Soc Fouad Ier d'Entomol 32: 9-16.

Ram, P., L. McComie y A. Khan. 2011. Developmental biology and life table studies of *Gyranusoidea indica* (Shafee, Alam y Agarwal 1975) (Hymenóptera: Encyrtidae) a parasitoid of *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae). Entom. 36(1-4): 101-110.

Ramírez-Guillermo, M. A., E. Ramos-Hernández, P.U. Hernández-Lara y I. López-Domínguez. 2020. Registro de parasitoides sobre *Maconellicoccus hirsutus* (Hemíptera: Pseudococcidae) en Tabasco, México. Rev. Ciencia e Innovación. 3(2): 595-602.

Ramírez-Guillermo, M. A., L. M. García-Ramírez, B. L. de los Santos-Ricardez y E. Hernández-Gómez. 2016. Caracterización morfológica de aislamientos de *Moniliophthora roreri* colectados en la Región de la Chontalpa, Tabasco, México. Pp. 259-264p *In*: J. Martínez H., MA Ramírez G. y J. Cámara-Córdova (ed.), Innovación Tecnológica para la Seguridad Alimentaria. 1ra edición UJAT-INIFAP. Colecc. J. N. Rovirosa. Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo. Villahermosa, Tabasco. Méx.

Ramos Cordero, C., A. Carnero Hernández y E. Hernández Suárez. 2018. Avances en el control biológico de la cochinilla algodonosa de la platanera. I: *Cryptolaemus montrouzieri* M. Manual Técnico 4. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. 146 p.

Ramos, H. E., M. A. Ramírez G., B. P. Castellanos-Potenciano, P. U. Hernández Lara y J. M. Hernández García. 2021. Daños de cochinilla rosada del hibiscus (*Maconellicoccus hirsutus*) en plántulas de cacao. Pp. 373-378. *In*: J. Martínez H., C. Hernández H. y E. Ramos H. (ed.), Avances Científicos para el desarrollo sostenible del sector Agropecuario y Forestal.

Salinas-Castro, A. y C. H. Ávila-Bello. 2016. Traditional coffee agroecosystems in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz (Mexico): a refugee for ecologically important Coleoptera. Glo. Adv. Res. J. Agric. Sci. 5(6): 224-234.

Sánchez, S. y H. Cortez. 2000. Daños causados por *Hemeroblemma mexicana* (Guenée) (Lepidóptera: Noctuidae) en el cultivo de cacao en Tabasco, México. *Agrotrópica*, *12*: 143-146.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2022a. Cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* Green, 1908. Ficha Técnica No. 6. http://sinavef.senasica.gob.mx/MDF/ [Consultado el 27 de mayo 2022].

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2022b. Informes y Evaluaciones-Cochinilla rosada. https://www.gob.mx/senasica/documentos/informes-sobre-cochinilla-rosada [consultado el 27 de mayo 2022].

Shafee, S. A., M. Alam, M. M. Agarwal. 1975. Taxonomic survey of Encyrtid parasites (Hymenoptera: Encyrtidae) in India. Aligarh Muslim University Publication, Zoological Series on Indian Insect Types, 129p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Producción de cacao. https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/producción-agrícola-33119 [consultado el 17 de julio 2022].

Trjapitzin, V. A. y S. V. Trjapitzin. 2003. A new species of Homalotylus (Hymenóptera: Encyrtidae) from Mexico, parasitoid of *Azya orbigera orbigera* (Coleóptera: Coccinellidae). Enmological 114(4): 192-196.

Vandermeer, J., I. Perfecto y S. Philpott. 2010. Ecological complexity and pest control in organic coffee production: uncovering an autonomous ecosystem service. BioScience 60(7): 527-537.

Williams, D. J. 1986. The identity and distribution of the genus *Maconellicoccus* Ezzat (Hemíptera: Pseudocóccidae) in Africa. Bull. ent. Res. 76, 351-357.

EFECTO DE EXTRACTOS VEGETALES SOBRE EL CRECIMIENTO *in vitro* DE *Moniliophthora roreri* (Cif and Par.) Evans *et al*.

Elizabeth Hernández Gómez [1]*, José Luis Solís Bonilla[2], Miguel Ángel Ramírez Guillermo[3] y Biaani Beeu Martínez Valencia[2]

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es de importancia económica, industrial, social, cultural y ambiental. En México se cuenta con una superficie de 51,239.30 ha. Uno de los estados productores más importantes es Chiapas con 18,475.90 ha plantadas. Dentro de los problemas fitosanitarios más importantes en este cultivo esta la moniliasis, enfermedad causada por *Moniliophthora roreri* (Cif and Par.) Evans *et al*. que ocasiona pérdidas en la producción pues la enfermedad afecta directamente a los frutos. Para su control se utilizan agroquímicos que poder causar problemas de contaminación del suelo, agua, aire, alimentos y salud humana, o provocar resistencia en los microrganismos. Una alternativa más amigable a esta problemática es el uso de extractos vegetales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar *in vitro* extractos vegetales acuosos y etílicos de muérdago al 20% (*Psittacanthus* spp.) y curarina (*Cissampelos pareira*) para el control *M. roreri.* Los extractos se realizaron mediante un filtrado de sistema al vacío. Se evaluaron los siguientes tratamientos: T1: Extracto acuoso de hojas de muérdago, T2: extracto acuoso de flores de muérdago, T3: extracto etílico de hojas de muérdago, T4: extracto etílico de flores de muérdago, T5: extracto etílico de curarina, T6: extracto acuoso de curarina, T7: Oxicloruro de cobre y T8: Testigo. La variable respuesta evaluada fue el crecimiento micelial de *M. roreri* que se midió después de nueve días de aplicar los tratamientos. Los resultados indicaron que los extractos etílicos de muérdago y curarina y las partes de las mismas evaluadas, pueden ser una alternativa agroecológica, para el control de

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Centro de Chiapas. Autora para correspondencia: hernandez.elizabeth@inifap.gob.mx
[2] INIFAP Campo Experimental Rosario Izapa.
[3] INIFAP Campo Experimental Huimanguillo.

M. roreri, por lo cual se necesitan estudios más detallados de métodos de extracción y dosificación, así como su evaluación en campo.

Palabras clave: cacao, biocontrol, moniliasis

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es un cultivo de importancia económica, industrial, social, cultural y ambiental. En México se cuenta con una superficie de 51,239.30 ha. Uno de los principales estados productores es Chiapas, que cuenta con una superficie de 18,475.90 ha (SIAP, 2022). Dentro de los problemas fitosanitarios más importantes en este cultivo esta la moniliasis, enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri* (Cif and Par.) Evans *et al*. que ocasiona pérdidas considerables en la producción. Para su control se utilizan agroquímicos que pueden causar problemas de contaminación en el ambiente y en la salud humana, también provocan resistencia en los microrganismos (Nur y Noor, 2020); por lo que se requieren de alternativas amigables.

Los extractos vegetales son una alternativa útil para combatir enfermedades en la producción agrícola (Sparks *et al*., 2017). El muérdago (*Psittacanthus* spp.), es una planta parásita que se encuentra distribuida en México, afecta diversas especies de frutales y forestales (Contreras *et al*., 2018) y no ha sido estudiada para el control de fitopatógenos. La curarina (*Cissampelos pareira),* también se encuentra distribuida ampliamente en la república mexicana y es considerada como maleza. Ha sido evaluada en humanos para el control de bacterias, eliminación de lombrices, (Torres *et al*., 2014). En este contexto el objetivo de este trabajo fue evaluar extractos vegetales acuosos y etílicos de muérdago (*Psittacanthus* spp.) y curarina (*Cissampelos pareira*) para el control *M. roreri*.

Materiales y Métodos

Se aisló *M. roreri,* en medio de cultivo V8® modificado (Phillips, 2003), y se hicieron filtrados, para lo cual se utilizó un sistema al vacío. Los filtrados se agregaron al medio al 20%, una vez solidificado se colocó en el centro de la caja un disco de 5 mm del fitopatógeno. Se evaluaron los siguientes tratamientos: T1) Extracto acuoso de hojas de muérdago, T2) extracto acuoso de flores de muérdago, T3) extracto etílico de hojas de muérdago, T4) extracto etílico de flores de muérdago, T5) extracto etílico de curarina, T6) extracto acuoso de curarina, T7) Oxicloruro de cobre y T8) Testigo absoluto con medio de cultivo V8® modificado. Cada tratamiento y el testigo, constó de seis repeticiones. La variable respuesta evaluada fue el crecimiento micelial de *M. roreri* que se midió después de nueve días de aplicar los tratamientos. Los datos fueron analizados por medio de un análisis de varianza con el programa de computo SAS versión 9.0.

Resultados y Discusión

Los resultados mostraron que los extractos correspondientes a T1, T2, T3, T4, T5 en concentración de 20% inhibieron completamente el crecimiento micelial de *M. roreri* y no existió diferencia significativa entre estos tratamientos. Por otra parte, se observó crecimiento micelial en las cajas tratadas con el extracto T6, T7 y T8, estas fueron diferentes entre sí (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento micelial de *M. roreri* después de nueve días de haber aplicado los tratamientos.

Tratamiento	Crecimiento micelial (cm)	Agrupamiento Tukey
T1: Extracto acuoso de hojas de muérdago	0.00	d
T2: Extracto acuoso flores de muérdago	0.00	d
T3: Extracto etílico de hojas de muérdago	0.00	d
T4: Extracto etílico de flores de muérdago	0.00	d
T5: Extracto etílico de curarina	0.00	d
T6: Extracto acuoso de curarina	4.19	b
T7: Oxicloruro de cobre	2.35	c
T8: Testigo (medio de cultivo V8 modificado)	5.36	a

* Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. *P*<.0001.

Los resultados concuerdan con San Andrés *et al*. (2010), Santarcangelo *et al*. (2008) quienes reportaron que los extractos diluidos al 10% de *C. pareira* presentaron buenos resultados en el control de *Sclerotium rolfsii* en almácigos de lechuga. *C. pareira* contiene diversos componentes alcaloides los cuales pueden estar involucrados significativamente en la defensa de las plantas contra patógenos (Galicia *et al*, 2011, Wink y Schimmer, 1999).

Conclusiones

Los extractos muérdago (*Psittacanthus* spp.) y curarina (*C. pareira)* y las partes de las mismas evaluados, pueden ser una alternativa agroecológica, para el control de *M. roreri*, por lo cual se necesitan estudios más detallados de métodos de extracción y dosificación, así como su evaluación en campo.

Agradecimientos

Al proyecto de Fondos del INIFAP: “Biocontrol de hongos fitopatógenos con extractos vegetales y *Trichoderma* spp.”

Literatura Citada

Contreras, R. C., D. Alvarado R., D. Cibrián T. y G. Valdovinos P. 2018. Control químico con etefón (ácido 2-cloroetil fosfónico) del muérdago verdadero Struthanthus interruptus (Kunth) G. Don. Agrociencia vol.52 no.5.

Galicia, J. M. M., C. Sandoval C., R. Rojas H. y H. Magaña S. 2011. Quimiotaxis bacteriana y flavonoides: perspectivas para el uso de probióticos. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 14-891-900.

Nur, A. Z. and B. Noor A. 2020. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. Annals of Agricultural Sciences 65 (2020) 168–178

Phillips, M.W. 2003. Origin, biogeography, genetic diversity and taxonomic affinities of the cacao (*Theobroma cacao* L.) fungus Moniliophthora roreri (Cif.) Evans *et al*. as determined using molecular, phytopathological and morpho-physiological evidence. Ph.D. Thesis. University of Reading, Reading, UK. 349 p.

San Andrés J.M., M. C. Rivera., E. R Wright. Y M.C Fabrizio. 2010. Control del damping off ocasionado por Scleorium rolfsii en lechuga mediante la aplicación de extractos de distintas especies vegetales. Horticultura Argentina 29: 64.

Santarcangelo, G., M.C. Rivera., M. Fabrizio. y E. R. Wright. 2008. Efecto de extractos de origen vegetal sobre el crecimiento de *Sclerotium rolfsii*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Rhizoctonia solani*. Resúmenes Primer Congreso Argentino de Fitopatología. P. 253.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Cierre de la producción agrícola por cultivo. México. Consultado en línea en http://www.siap.gob.mx/cierre-de-laproduccion-agricola-por-estado

Sparks, T.C. D.R Hahn and N.V. Garizi. 2017. Natural products, their derivatives, mimics and synthetic equivalents: role in agrochemical discovery. Pest management science, 73(4): 700- 715.

Torres, A., Camargo, F., Ricciardi Verrastro, B., Ricciardi, G., Dellacassa, E. 2014. Plantas como antiveneno: del mito al logos. Ediciones Universitarias. Unidad de Comunicación de la Universidad de la República (UCUR), Montevideo, Uruguay

Wink, M. and O. Schimmer. 1999. Modes of action of defensive secondary metabolites. pp. 17-134. *In*: M. Wink M. (ed.). Functions of Plant Secondary Metabolites and their Exploitation in Biotechnology. Sheffield Academic Press. Sheffield, England. 304 p.

MÉTODO RÁPIDO PARA IDENTIFICACIÓN DE *Fusarium* spp. EN PLANTAS DE CHILE (*Capsicum annuum*)

Lizbeth Alejandra Rodriguez Morales[1], Brenda Zulema Guerrero Aguilar[2]*, José Luis Pons Hernández[2] y Mario Martin González Chavira[2]

Resumen

El cultivo chile es afectado por una de las enfermedades conocida como la marchitez de chile ocasionado por *Phytophthora capsici, Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani*, pero el que se encuentra con mayor frecuencia y de mayor abundancia es el género *Fusarium*. Una vez presentes estos patógenos en la planta, es muy difícil parar la infección, ya que invaden el sistema vascular, por lo que la planta puede presentar diferentes síntomas como amarillamiento, achaparramiento, hasta la muerte de la planta, por eso es importante la realización de un diagnóstico rápido y correcto que es fundamental para llevar un buen manejo oportuno. Para esto a través de los años se han implementado el desarrollo de técnicas moleculares para el diagnóstico de enfermedades. Por lo que se planteó el siguiente objetivo: Estandarizar un método rápido, para la identificación de patógenos de raíz por medio de PCR. Para esto se validaron ocho protocolos de extracción de ADN rápido, se emplearon plantas jóvenes de seis a ocho hojas jóvenes, para la extracción se utilizaron la parte de la hoja y raíz, para el PCR se utilizaron ITS para el género de *Fusarium* spp. y *Fusarium oxysporum*. De la validación de los 8 protocolos, el 5 fue el más eficiente en obtener mayor calidad y concentración de ADN, además que amplifican un fragmento de 500 pb aproximadamente. En plantas adultas se realizó una modificación al protocolo, para al final obtener el fragmento esperado. Se contabilizó el tiempo para la identificación del patógeno en donde en planta joven fue de 4 horas, mientras que en planta adulta con protocolo modificado fue 6 horas. Estos resultados reducen el tiempo de identificación del patógeno en comparación del taxonómico, lo cual va a beneficiar al agricultor para dar un manejo oportuno en el control del patógeno.

[1] Universidad de Guanajuato.
[2] CE Bajío CIRCE-INIFAP. guerrero.brenda@inifap.gob.mx*

Palabras clave: marchitez de chile, PCR, extracción de ADN

Introducción

Los problemas fitosanitarios en el cultivo del chile en México y en el mundo provocados por patógenos que afectan a la raíz y ocasionan la enfermedad de la marchitez del chile, trae graves pérdidas económicas, esto se pueden evitar y disminuir enormemente a través del diagnóstico preciso y oportuno que detectar el agente causal de un evento patológico que es fundamental para el manejo del problema, y ello contribuye a: generar medidas de control efectivas, permite la optimización de los recursos, la reducción de los efectos negativos en el medio ambiente y a la vez origina información respecto a la interacción patógeno hospedante (Barnes, 1994). Según Rosales 2003, el diagnóstico de las enfermedades de forma rápida y precisa evita el uso desmedido o incorrecto de compuestos químicos. Hasta hace unos años la detección de patógenos dependía de métodos de aislamiento e identificación con un tiempo de 5 a 10 días y con una persona calificada que requieren de mucha experiencia, habilidad y conocimiento de la taxonomía de los microorganismos. Además, son técnicas que consumen mucho tiempo, sin embargo, las técnicas modernas han permitido una detección más eficiente de variedades patogénicas con mayor rapidez y precisión, como la detección por medio de PCR, que resulta más rápido que los métodos tradicionales y por lo tanto se minimiza las pérdidas de los cultivos por las enfermedades y los costos para el tratamiento se reducen. (Shaad y Frederick, 2002).

Materiales y Métodos

Se sembraron semillas de chile tipo pasilla y a la edad de ocho hojas verdaderas, se inocularon con *Fusarium oxysporum* ($1x10^6$ conidias/mL) se sacaron plantas para la estandarización de Extracción de ADN rápida, se tomaron muestras de hoja y raíz, se validaron 8 protocolos encontrados en la literatura (Acevedo *et al*., 2007).

Tratamiento 1: Buffer STE más Mercaptoetanol. Se tomó muestra de hoja, tallo y raíz se molieron en mortero, con 1 mL de buffer STE (10mM Tris-HCl, 1 mM EDTA, pH 8.0; 0.1 M NaCl) y 10 µl de Mercaptoetanol, una vez triturado, se colocaron en tubos de 1.5 ml se calentó a 95 °C durante 5 minutos. Se centrifugaron 5 minutos a 13000 rpm. Se tomó el sobrenadante para la reacción de PCR. **Tratamiento 2**: Agua destilada. Las muestras se molieron con 1mL agua destilada y se colocaron en tubos de 1.5 mL y se maceró, se centrifugó a 12000 rpm por 3 minutos. **Tratamiento 3**: Buffer TE. Las muestras se maceraron en 1000 µL del buffer TE (10 mM de tris-HCl y 1 mM de EDTA, pH 8.0). En este buffer se almacenó las muestras a 4°C durante media hora, y luego se centrifugaron a 12000 rpm por 3 min. **Tratamiento 4**: Buffer TE más proteinasa K. Las muestras se maceraron en 1000 µL del buffer de lisis (10 mM de tris-HCl, pH 8.0, 1 mM de EDTA, 100 µg/mL de proteinasa K) y se desnaturalizaron a 95°C por 5 minutos. **Tratamiento 5:** Buffer de PCR más proteinasa K. Las muestras se maceraron con 1000 µL del buffer 10X PCR (100 mM tris-HCl, pH 9.0, 500 mM KCl y 1% de tritón X 100) más 20 µL de proteinasa K (100 µg. µg/mL), y se desnaturalizaron a 95°C por 5 minutos. **Tratamiento 6:** Buffer STE. Las muestras se maceraron en 100 µL del buffer STE (10mM TrisHCl, 1mM EDTA, pH 8.0; 0.1 M NaCl), se desnaturalizaron a 95°C por 5 minutos, inmediatamente se colocaron en hielo para usarlas posteriormente en reacciones de PCR. **Tratamiento 7:** Desnaturalización del tejido con agua destilada. Las muestras se colocaron en tubos de 1.5mL con 100µL de agua destilada y se sometieron a ebullición en un baño de agua por 30 minutos. **Tratamiento 8**: Fenol cloroformo. Las muestras se maceraron en 500µL de buffer de extracción (Tris-HCl 0.1 M, NaCl 0.1 M, Sucrosa 0.2 M, EDTA 0.05 M, SDS 0.5%), se adicionaron 25 µL de RNase A (1 mg/mL) mezclándolos mediante vortex y se incubaron en un baño de agua a 65°C por 20 minutos. Se adicionaron 120 µL de KOAc (5 M), se centrifugó la muestra por 5 minutos a 13000 rpm y se recuperó el sobrenadante. Se realizaron dos lavados, con fenol: cloroformo: alcohol Isoamílico (24:24:1 pH 8.0) y se centrifugó a 13000 rpm por 5 minutos. Se tomó el sobrenadante, y se precipitó el ADN con 600 µL de etanol frío al 95%, y 100 µL de acetato de amonio al 7.2 M, y se colocó a – 20°C durante 30 minutos, posteriormente, se centrifugó a 10,000 rpm por 15 minutos, se descartó el sobrenadante, se secó la pastilla a 37° C por 45 minutos, y finalmente, se suspendió en 50 µL del buffer TE 1X. **Modificación del Tratamiento 5 para planta adulta**. Buffer de PCR más proteínas K. se tomó muestra de los haces vasculares y se maceraron con 1000 µL del buffer 10X PCR (100 mM

tris-HCl, pH 9.0, 500 mM KCl y 1% de tritón X 100) más 20 µL de proteinasa K (100 µg/mL), y se desnaturalizaron a 95°C por 5 minutos, el sobrenadante se precipitó con 600 µL isopropanol y 100 µL de acetato de amonio al 7.2 M y se colocó a -20°C durante 30 minutos, posteriormente, se centrifugó a 10000 rpm por 15 minutos, se descartó el sobrenadante, se secó la pastilla a 37° C por 45 minutos, y finalmente, se suspendió en 50 µL del buffer TE.

Para la amplificación se emplearon dos pares de oligos para el género de *Fusarium* se emplearon ITS Fu-F5´-CAACTCCCAAACCCCTGTGA-3´, Fu-R; 5´-GCGACGATTACCAGTAACGA-3´, y para la identificación de fue F. *oxysporum* FOF-ACATACCACTTGTTGCCTCG; FOR- CGCCAATCAATTTGAGGAACG. La amplificación de ADN se realizó en un termociclador con siguientes condiciones: fase de desnaturalización 94°C por 5 minutos; la segunda fase fue con 25 ciclos a 94°C por 30 segundos, fase de hibridación 57°C por 1 minuto, fase de extensión 72°C por 1 minuto y la fase de terminación de 72°C por 5 minutos.

Se realizó una electroforesis horizontal en gel de agarosa al 1.5% con buffer de corrida TBE 1X, y con un voltaje de 110 A los productos del PCR se le adiciono 8 µl de buffer de carga Orange G con GelRed (Biotium) y como marcador de peso molecular se utilizó 1 kb plus. Para la validación de la técnica, se trajeron plantas de chile con inicios de síntomas de amarillamiento, en planta joven (invernadero) y de las plantas adultas (campo).

Resultados y Discusión

De los 8 tratamientos de extracción de ADN rápido empleados, el tratamiento 5 (Buffer de PCR más proteinasa K) y el protocolo 8 (Fenol cloroformo) fueron los que se observaron la presencia de una banda bien definida, de los dos se eligió el T5 por ser más rápido que el T8. En la Figura 1 se visualiza el ADN genómico extraído en gel de agarosa de los ocho protocolos validados de las muestras de hoja y raíz. En el Tratamiento 5 y 8 se observa la presencia del de una banda bien definida, lo cual significa que es de buena calidad. Debido a estos resultados el tratamiento 5 se tomó para la realización de identificación del patógeno en plantas de chile.

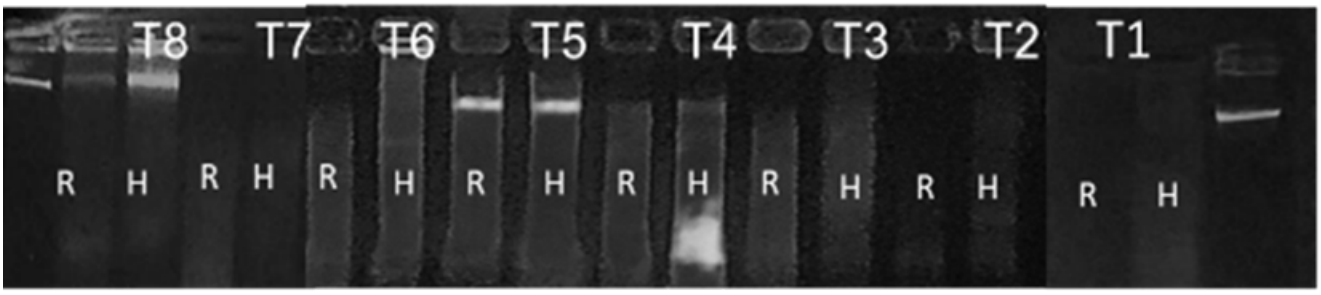


Figura 1: visualización del ADN extraído; T1: Buffer STE más Mercaptoetanol, T2: agua destilada, T3: buffer TE, T4: buffer TE más proteína K, T5: buffer de PCR más proteína K, T6: buffer STE, T7: desnaturalización de del tejido con agua destilada, T8: Fenol cloroformo.

En la Figura 2 se muestra la extracción de ADN de muestras traídas de invernadero y campo con el Tratamiento 5 buffer de PCR más proteína K en planta joven y en planta adulta donde se realizó una modificación, donde se observa en ambas una banda bien definida, donde se puede decir que es de buena calidad el ADN lo cual es importante para la realización del método de la PCR.

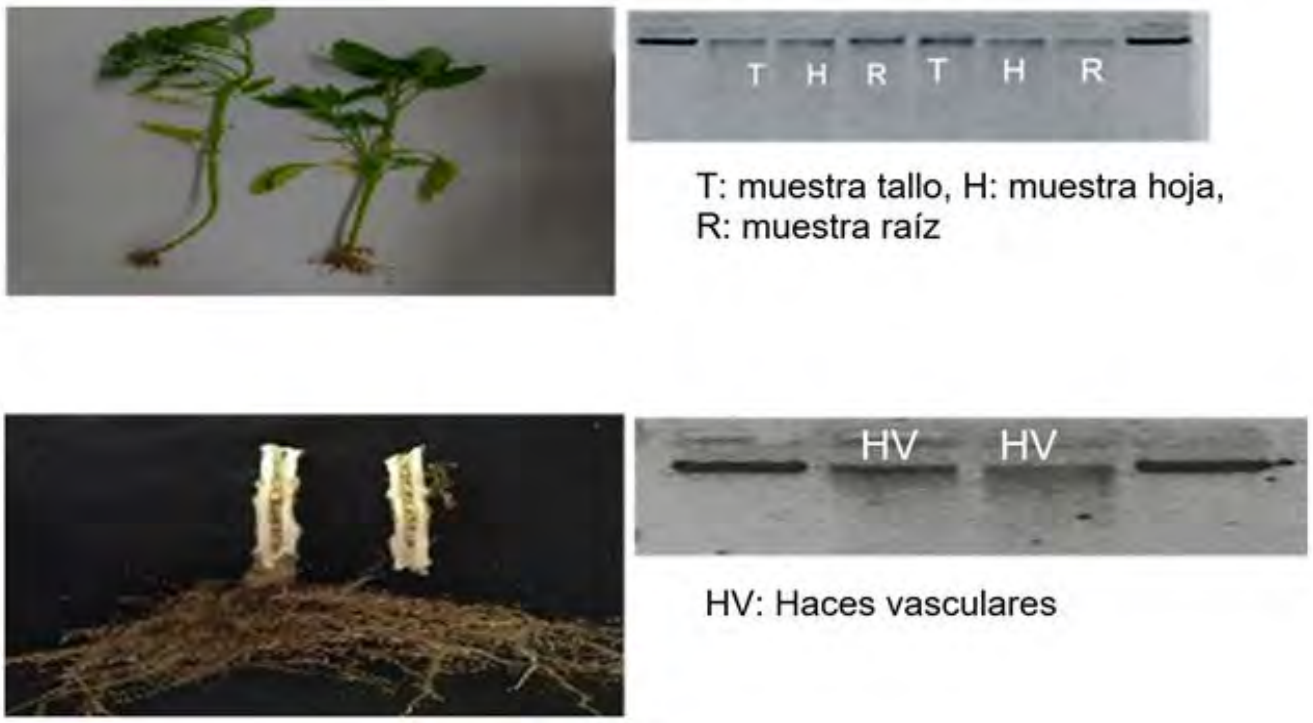


Figura 2. Extracción de ADN rápido en planta joven y planta adulta.

Una vez estandarizado el protocolo de extracción de ADN se procedió a la amplificación con los oligos para el género de *Fusarium* amplificando un fragmento de 500 pb, en donde en planta joven y adulta está presente, mientras que el Oligo para Fusarium *oxysporum* solamente amplifica el ADN de *Fusarium oxysporum* por lo que significa que esta especie no está presente en la planta de chile tanto en la joven como en la adulta, como se muestra en la Figura 3.

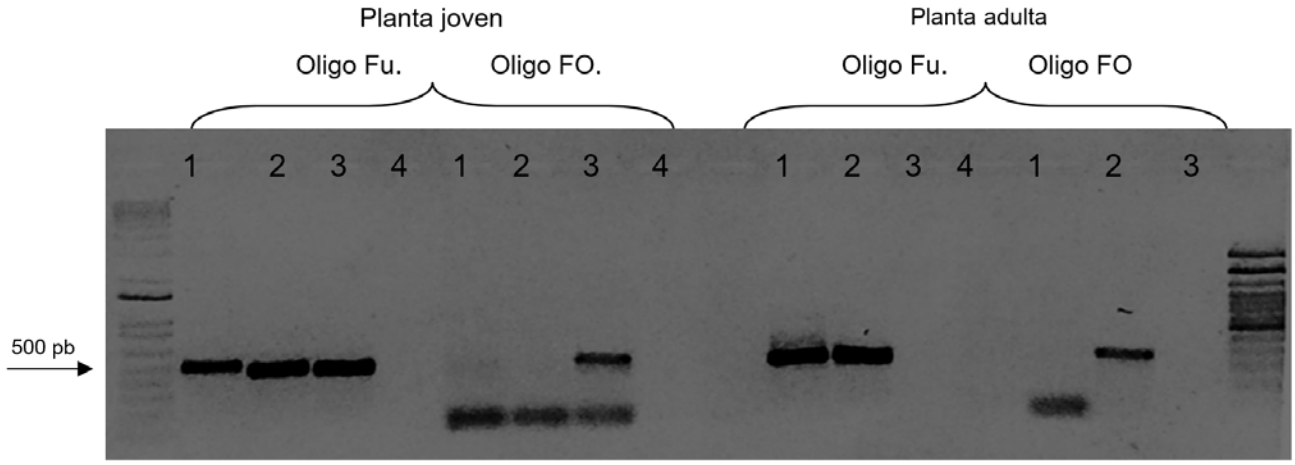


Figura 3. Amplificación por PCR, para la detección de *Fusarium* spp. en planta joven y adulta. Carril 1= Raíz, Carril 2= Tallo, Carril 3= *Fusarium oxysporum,* Carril 4 = agua

Una vez estandarizada la extracción de ADN, las condiciones de PCR para su identificación se procedió a tomar el tiempo, desde que llega la muestra al laboratorio hasta la visualización del producto de PCR. En el Cuadro 1 se muestra los tiempos del proceso de la planta joven y adulta, donde se observa que en planta joven se tiene un tiempo de 4 horas, mientras que en planta adulta es de 6 horas, lo que significa que se redujo el tiempo de identificación del patógeno, a comparación del método de identificación por medio de morfología taxonómica que va de 5 a 10 días. Esto es importante para el agricultor ya que necesita un diagnóstico rápido y preciso para un buen manejo para el control del patógeno. La identificación de *Fusarium* se está realizando en otros cultivos como jitomate, fresa y maíz (datos no mostrados). Además, se está estandarizando con los otros dos patógenos involucrados en la marchitez *Phytophthora capsici* y *Rhizoctonia solani* y se tiene una perspectiva la realización de un PCR multiplex que se pueda detectar a los tres patógenos.

Cuadro 1. Tiempo del proceso en la identificación del patógeno en planta joven y adulta.

Tiempo de proceso para el diagnóstico rápido				
Protocolo 5 + modificado	Extracción de ADN	Amplificación	Electroforesis	Tiempo total
Buffer PCR 10x + proteinasa K (Planta joven)	20 minutos	2 horas	2 horas	4.2 horas
Buffer PCR 10x + proteinasa K + Modificado (planta Adulta)	2 horas	2 horas	2 horas	6 horas

Conclusiones

Se estandarizó un método rápido de extracción de ADN siendo el tratamiento 5 Buffer de PCR más Proteinasa K. para plantas jóvenes y tratamiento 5 Buffer de PCR más Proteinasa K modificado para planta adulta.

De la amplificación de PCR se obtuvo un fragmento de 500 pb que es el esperado para la identificación de *Fusarium* spp.

Se redujo el tiempo para la identificación del patógeno en planta joven de 4 horas y planta adulta de 6 horas. Por lo tanto, este protocolo puede ser una buena alternativa para el desarrollo de una herramienta de diagnóstico para la pronta detección de patógenos que puedan causar alguna enfermedad al cultivo agrícola, pudiendo ser identificados en menos de 6 horas.

Agradecimientos

Al proyecto Fiscal (INIFAP) denominado: Desarrollo y transferencia de tecnologías sustentables para la producción de chile y jitomate en campo e invernadero.

Literatura Citada

Acevedo B.F.E., E.L. Navarro, L.M. Constantino C., Z. Gil. P., P. Benavides M. 2007. Método rápido y económico para la extracción de ADN genómico en la broca del café y su uso en PCR. CENICAFÉ, 58(2): 134-141.

Barnes, L. W. 1994. The role of plant clinics in disease diagnosis and education. A North American Perspective. Ann. Rev. Phytopathol. 32:601-609.

Rosales, V, Inés. 2006. Diagnóstico de enfermedades en plantas: Uso de herramientas moleculares. [En línea]. Disponible en: http://www.inia.cl/biotecnologia/nws/Biotecnologia en diagnóstico de enfermedades.pdf.

Shaad. Tegli, A. Sereni and G. Surico. 2002. PCR-based assay for the detection of *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* in bean seeds. Dipartimento di Biotecnologie Agrarie (DiBA) – Sezione di Patologia Vegetale, Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italy, 31: 23.

TOXICIDAD DE HERBICIDAS EN VITROPLANTA DE CAÑA DE AZÚCAR Y SU EFECTO EN LA DENSIDAD DE TALLOS MOLEDEROS

Maurilio Mendoza Mexicano[1*], Valentín A. Esqueda Esquivel[1], Rogelio Miranda Marini[1], Jeovani Francisco Cervantes[2] y Oscar Hugo Tosquy Valle[1]

Resumen

La maleza es uno de los principales factores bióticos que reducen el rendimiento de caña de azúcar en las áreas tropicales del estado de Veracruz; los herbicidas más utilizados son el diuron, la ametrina y el 2,4-D. Sin embargo, se desconoce su efecto fito-tóxico en este cultivo en vitroplantas, por lo que, el objetivo del trabajo fue conocer su nivel de toxicidad en diferentes épocas de aplicación. A partir de marzo de 2022 se establecieron dos experimentos de campo con vitroplantas de caña de azúcar, en diseño bloques al azar con cuatro repeticiones. Se aplicó ametrina, 2,4-D y diuron a tres dosis, y se evaluó su toxicidad a los siete, 14, 31 y 58 días después de la aplicación, utilizando una escala porcentual de 0 a 100. Los resultados indicaron que la ametrina a la dosis más alta provocó la mayor toxicidad a la caña de azúcar hasta los 14 días después de aplicados los tratamientos, mientras que, Diuron en las tres dosis también provocó toxicidad hasta los 31 días después de aplicado, pero en menor porcentaje que la ametrina. El 2,4-D no provocó toxicidad al cultivo.

Introducción

En México, tradicionalmente el cultivo de caña de azúcar se realiza a partir de esquejes obtenidos de otra plantación, con frecuencia sin cuidar la calidad genética y fitosanitaria de los mismos, generando disminución en el rendimiento agronómico y la calidad industrial, debido a

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, Carretera Veracruz Córdoba Km 34, C.P. 91700 Veracruz, México*Autor para correspondencia: mendoza.maurilio@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Tecomán, Carretera Colima-Manzanillo km 35, Tecomán, C. P. 28930, Colima, México.

las mezclas físicas en campo y el deterioro genético. El método de micropropagación cobra especial importancia en la caña de azúcar, debido a los problemas fitosanitarios que se presentan durante la producción de semilla, utilizando los métodos tradicionales además de los bajos coeficientes de multiplicación de la especie, que impide una rápida propagación de plantas libres de enfermedades y en ocasiones una pureza varietal no del 100%. Para incrementar la competitividad del sector cañero en México, se requiere desarrollar tecnologías que satisfagan los requisitos para producción de semilleros, a partir de vitro plantas de caña de azúcar, mismo que sea escalable a nivel comercial (Conadesuca., 2018). La necesidad de bajar costos de producción dentro del paquete tecnológico de caña de azúcar, es demandada por productores, asociaciones de productores e industriales de la caña de azúcar en México. El objetivo de este trabajo es conocer el nivel de toxicidad de herbicidas utilizados para el control de malezas en caña de azúcar.

Palabras clave: *Saccharum* spp., *e*fectividad, tejido vegetal, *invitro,* micropropagación

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en las instalaciones del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en el municipio de Medellín, Veracruz, a 18° 56’ 04” LN y 96° 11’ 36” LO, a una altitud de 15 m. El clima del sitio es cálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano (Aw_1), temperatura media anual de 25°C y precipitación pluvial media anual de 1,400 mm. Los suelos predominantes son del tipo feozem, de textura franca, con 26.3% de arcilla, 38.3% de limo y 35.5% de arena, contenido de materia orgánica de 2.3% y densidad aparente de 1.32 g/cm^3 en el estrato de 0 a 25 cm. La capacidad de intercambio catiónico es buena, con un pH ligeramente ácido y el porcentaje de agua aprovechable es buena.

Para la determinación de la toxicidad de los principales herbicidas aplicados en post-emergencia a la caña de azúcar, se establecieron dos experimentos: uno con la variedad Mex 69-290 y otro con la variedad CP 72 2086; en ambos casos, se utilizó el diseño experimental

bloques completos al azar con cuatro repeticiones y parcelas experimentales de tres surcos de 11 m de longitud. Los tratamientos aplicados y sus dosis se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos herbicidas evaluados en vitroplantas de caña de azúcar de las variedades MEX 69-290 CP 70-2086.

No.	Tratamiento	Dosis (g/ha)
1	Ametrina	500
2	Ametrina	1,000
3	Ametrina (dosis comercial)	2,000
4	2,4-D	120
5	2,4-D	240
6	2,4-D (dosis comercial)	480
7	Diurón	800
8	Diurón (dosis comercial)	1,600
9	Diurón	3,200

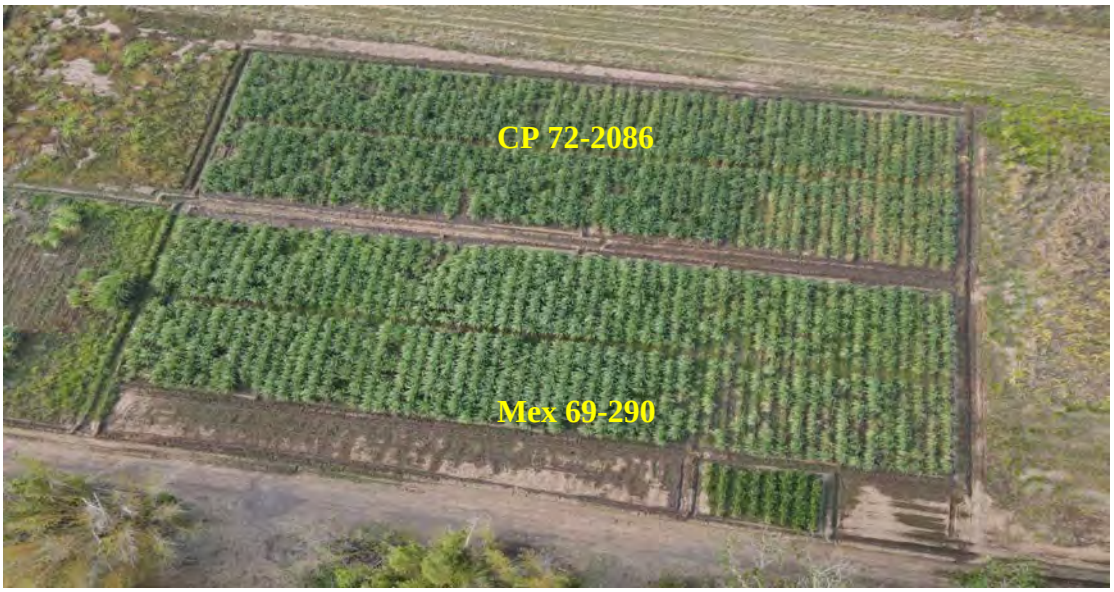


Figura 2. Vista aérea del experimento.

Las vitroplantas de caña de azúcar se establecieron con una densidad de plantación de 10,416 plantas/ha (Figura 2). El régimen hídrico fue de riego rodado completo. El 4 de marzo de 2022 se aplicaron los tratamientos con una aspersora motorizada de mochila, equipada con un aguilón con cuatro boquillas de abanico plano 8003, que proporcionaron un gasto de 276.27

litros de solución por hectárea. A todos los tratamientos se les agregó el surfactante SDP en concentración de 250 mililitros por litro de agua. Solamente se aplicaron dos de los tres surcos de cada unidad experimental, dejando si aplicar un surco, para utilizarlo como testigo durante las evaluaciones de toxicidad. Al momento de la aplicación las plantas de caña de azúcar tenían una altura de entre 40 y 50 cm. La toxicidad a la caña de azúcar se evaluó de manera visual a los siete, 14, 31 y 58 días después de la aplicación. Los daños que se observaron en el follaje se cuantificaron por comparación con las plantas sin aplicación. Se utilizó la escala de 0 a 100%, en donde 0 significó que no hubo síntomas de daño en las plantas de caña de azúcar y 100, que éstas fueron destruidas completamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escala utilizada para la evaluación de fitotoxicidad ocasionada a vitroplantas de caña de azúcar por diferentes dosis de herbicidas.

Fitotoxicidad al cultivo (%)	Descripción del daño
0.0 - 1.0	Ningún efecto visible
1.0 - 3.5	Síntomas muy ligeros
3.5 - 7.0	Síntomas ligeros
7.0 - 12.5	Síntomas evidentes, sin efecto en el rendimiento
12.5 - 20.0	Daño medio (Muerte de algunos brotes)
20 – 30	Daño elevado (Muerte del 25%)
30 – 50	Daño muy elevado (Muerte del 50%)
50 – 99	Daño severo (Muerte del 75%)
99 – 100	Muerte total

Resultados y Discusión

Para ambas variedades, la toxicidad ocasionada por ametrina y diurón (que son herbicidas inhibidores de la fotosíntesis) consistió en clorosis del follaje en diversos grados y en algunos casos necrosis de las puntas de las hojas (Figura 3). En todos los casos, los mayores efectos fitotóxicos se observaron a los 7 días después de la aplicación y fueron disminuyendo en las evaluaciones siguientes, hasta desaparecer entre los 31 y 58 días después de la aplicación (DDA).



Figura 3. Clorosis y necrosis ocasionadas por ametrina y diurón a las vitroplantas de caña de azúcar.

Para la variedad MEX 69-290, ametrina ocasionó toxicidades en las diferentes épocas de muestreo de entre 0.50 y 2.75% a la dosis de 500 g/ha, de entre 1.00 y 4.50 a la dosis de 1,000 g/ha y de entre 2.50 y 16.75% con la dosis de 2,000 g/ha. 2,4-D fue altamente selectivo, y no ocasionó toxicidad a ninguna de las dosis evaluadas. En todos los casos, la toxicidad ocasionada por diurón fluctuó entre 0.75 y 4.00% en las diferentes épocas de evaluación, lo cual indica que este herbicida tiene una mayor selectividad a las vitroplantas de esta variedad que ametrina (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos herbicidas en la toxicidad de vitroplantas de caña de azúcar de la variedad MEX 69-290.

Tratamiento	Dosis (g/ha)	Toxicidad (%)			
		7 DDA	14 DDA	31 DDA	58 DDA
Ametrina	500	2.75	2.00	0.50	0.00
Ametrina	1,000	4.50	3.50	1.00	0.00
Ametrina	2,000	16.75	13.75	2.50	0.00
2,4-D	120	0.00	0.00	0.00	0.00
2,4-D	240	0.00	0.00	0.00	0.00
2,4-D	480	0.00	0.00	0.00	0.00
Diurón	800	2.75	2.00	0.75	0.00
Diurón	1,600	4.00	3.00	1.00	0.00
Diurón	3,200	4.00	3.25	1.25	0.00

Para la variedad CP 72-2086, ametrina ocasionó toxicidades en las diferentes épocas de evaluación de entre 1.00 y 2.75% a la dosis de 500 g/ha, de entre 1.50 y 6.75 a la dosis de 1,000 g/ha y de entre 2.50 y 18.75% con la dosis de 2,000 g/ha. 2,4-D también fue altamente selectivo a esta variedad, y no ocasionó toxicidad a ninguna de las dosis evaluadas. En todos los casos, la toxicidad ocasionada por diurón fluctuó entre 0.50 y 5.00% en las diferentes épocas de evaluación, siendo su comportamiento muy semejante al observado en la variedad MEX 69-290 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos herbicidas en la toxicidad de vitroplantas de caña de azúcar de la variedad CP 72-2086.

Tratamiento	Dosis (g/ha)	Toxicidad (%)			
		7 DDA	14 DDA	31 DDA	58 DDA
Ametrina	500	2.75	2.25	1.00	0.00
Ametrina	1,000	6.75	5.75	1.50	0.00
Ametrina	2,000	18.75	14.25	2.50	0.00
2,4-D	120	0.00	0.00	0.00	0.00
2,4-D	240	0.00	0.00	0.00	0.00
2,4-D	480	0.00	0.00	0.00	0.00
Diurón	800	3.00	2.00	0.50	0.00
Diurón	1,600	4.00	3.25	0.50	0.00
Diurón	3,200	5.00	4.00	1.50	0.00

Para el caso de número de tallos molederos por hectárea (Figura 5), las variables agronómicas en altura de planta, diámetro de tallo y densidad de población para cada una de las variedades a los 180 días después del trasplante, se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Comportamiento de variables agronómicas, en las variedades, Mex 69-290 y CP 72-2086.

Variedad	Altura de Planta	Diámetro de tallo	Densidad de población/ha
Mex 69-290	1.43	2.15	103 000.00
CP 72-2086	1.37	2.25	75 333.00





Figura 5. Medición de variables agronómicas en el experimento de herbicidas.

Conclusiones

La ametrina a la dosis más alta fue el herbicida que provocó la mayor toxicidad en la caña de azúcar hasta los 14 días después de aplicados los tratamientos, mientras que a los 31 días la toxicidad fue mínima. Diurón en las tres dosis también provocó toxicidad hasta los 31 días después de aplicado, pero en menor porcentaje que la ametrina, mientras que el 2,4-D no provocó ningún daño al cultivo.

Literatura Citada

CONADESUCA. 2018. Sistema Infocaña. Reportes de cierre. Consultado el 10 de junio de 2018. Disponible en: http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/reportes. php?tipo=CIERRE.

TIPIFICACIÓN DE PRODUCTORES DE CHILE JALAPEÑO EN QUINTANA ROO, MÉXICO

Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez[1*], Alejandro de Jesús Cano González[2], Blanca Isabel Sánchez Toledano[3] y Rubén Darío Góngora Pérez[4]

Resumen

El estudio se realizó con una muestra representativa de 52 productores de chile jalapeño del estado de Quintana Roo. Se realizó un análisis de agrupamiento para identificar conjuntos de productores con características similares entre sí, pero con diferencias entre grupos. Se definieron cinco grupos con diferencias significativas en edad, tamaño del hogar y experiencia en el cultivo. La mayoría de los productores entrevistados alternan el cultivo de chile jalapeño con otras actividades entre las que destacan el cultivo de hortalizas y la apicultura. La identificación de cultivos básicos como maíz, frijol y calabaza orientados al consumo familiar en alternancia con el chile jalapeño, es característico del sistema milpa que predomina en la región. También se determinó que los productores del grupo 3 obtuvieron los rendimientos más altos 7.8 t/ha, cuentan con 51 años de edad, con experiencia en el cultivo y la mano de obra familiar proveniente de los hijos juega un papel importante para la atención de sus actividades diversificadas. Sin embargo, la mayoría de los productores (80%) se ubicó en un nivel medio de apropiación del paquete tecnológico y por tanto, se requiere intensificar las estrategias para la transferencia del conocimiento existente de manera sostenible tanto económica como ambiental.

Palabras clave: *Capsicum annuum* jalapeño, análisis de agrupamiento, caracterización

[1] Campo Experimental Mocochá. CIRSE. INIFAP. *uzcanga.nelda@inifap.gob.mx
[2] Centro de Investigación Regional Sureste. INIFAP
[3] Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC. INIFAP
[4] Campo Experimental Chetumal. CIRSE. INIFAP.

Introducción

México es el segundo productor mundial de chile con 3’324,260 t y en los últimos 10 años se han incrementado las cifras de comercio principalmente en pimientos y jalapeños. Su uso como condimento lo hace un producto imprescindible en los hogares mexicanos, con un consumo anual per cápita de 17.2 kg (SIAP, 2021).

Los estados de Sinaloa (24.5%), Chihuahua (14.7%) y Zacatecas (11.5%) tienen una mayor participación en el valor de la producción de chile jalapeño a nivel nacional (SIAP, 2021), pero en la Península de Yucatán la producción es valorada como una estrategia económica de las familias rurales para obtener liquidez (Kú *et al*., 2013). Esta estrategia se implementa en sistemas como la milpa, donde los productores obtienen recursos económicos de otros productos de alto valor comercial como la miel (Uzcanga-Pérez *et al.*, 2021) para el refinanciamiento de sus actividades productivas.

Por otra parte, Aguilar-Meléndez *et al.* (2009) afirmaron que estos hábitats agrícolas tradicionales albergan reservas genéticas que actúan como reservorios y conservan la biodiversidad. Particularmente en las zonas productoras de la Península de Yucatán, el cultivo de chile jalapeño se realiza de manera convencional y con heterogeneidad en el proceso productivo (Kú *et al*., 2013) con preferencia en semillas criollas o materiales de polinización libre (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

Asimismo, esta actividad productiva formó parte de la dinámica de la economía rural en el estado de Quintana Roo, ya que según García y Nava (2009) desde la década de los ochentas es una hortaliza de importancia comercial que se establece durante el temporal bajo el sistema roza, tumba y quema. No obstante, durante los últimos años (2010-2020) la producción de chile jalapeño en el estado, ha disminuido en 100.8% (SIACON, 2020). Los productores agrícolas, han estado afectados directamente con problemáticas de tipo productivo. Sin embargo, la medición de variables sociales y económicas en las que el productor desarrolla sus actividades, no son bien conocidas por las entidades de planificación regional y nacional. Este desconocimiento hace que muchas de las políticas trazadas y ofertas tecnológicas desarrolladas no cristalicen en los resultados esperados. En consecuencia, la tipificación del productor permite clasificar a productores en grupos homogéneos de acuerdo a determinadas características (Sánchez-Toledano *et al.,* 2019). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue

realizar un estudio de tipificación de productores para describir sus características e identificar necesidades sobre el cultivo. Lo anterior, permitirá contribuir al conocimiento de la dinámica de desarrollo agrícola y al fortalecimiento de la cadena productiva de chile jalapeño en el estado.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en las principales regiones productoras de chile jalapeño del estado de Quintana Roo. Se tomó como marco de muestreo una lista de 115 agricultores de chile jalapeño proporcionados por el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Quintana Roo, distribuidos por municipios de la siguiente manera: Bacalar (8), Felipe Carrillo Puerto (3) y Othón P. Blanco (104). La selección de la muestra de productores se realizó mediante sorteo al azar con reemplazo, bajo la condición de varianza máxima p=50% (p= 0.5) y, q=50% (q= 0.5) (Snedecor y Cochran, 1984).

$$n = \frac{\frac{Z^2 p_n\, q}{d^2}}{1 + \frac{Z^2 p_n\, q}{N\, d^2}}$$

Dónde:

Z = Nivel de confianza del 95% (1.96),

d = Nivel de precisión 10% (0.10),

p_n = Proporción de la población que pertenece al grupo de interés,

q = (1-pn),

N = Tamaño de la población,

n = Tamaño de la muestra.

Realizados los cálculos se obtuvo un tamaño de muestra de 52 cuestionarios. Para la tipificación de productores se realizó un análisis de agrupamiento para evaluar lo parecido que son los productores entre si y agruparlos. Se utilizó como medida de disimilaridad métrica la siguiente ecuación (De la Garza *et al*., 2013):

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{r}\left(x_{jk} - x_{jk}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

El método de agrupamiento fue jerárquico y para el eslabonamiento se utilizó el método de Ward o método de varianza mínima, que busca la conformación de grupos cuya unión conlleve el menor incremento de varianza (De la Garza *et al*., 2013).

$$SCE = \sum_{J=1}^{K}\left(\sum_{i=1}^{nj} X_{ij}^2 - \frac{1}{n_j}\left(\sum_{i=1}^{nj} X_{ij}\right)^2\right)$$

Se utilizaron tres variables para la segmentación: edad del productor en años, número de integrantes de la familia y experiencia en el cultivo en años. Previo al análisis se estandarizaron las variables (0,1).

Resultados y Discusión

El dendograma de agrupamiento mostró las distancias obtenidas entre los productores y dado que a menor distancia mayor similitud entre ellos, se identificaron cinco grupos de productores a una distancia de siete (Figura 1).

Se realizó el análisis de varianza de un factor para la comparación de las medias de las variables de segmentación y se encontró que, los niveles críticos para las tres variables fueron ≤0.05 y, por lo tanto, existen diferencias significativas entre edad, tamaño del hogar y experiencia de los productores por grupo. Los productores más jóvenes se ubicaron dentro del primer grupo, pero también fueron los de menor experiencia en el cultivo con hogares pequeños de tres integrantes. Los productores de mayor experiencia se ubicaron en el grupo 5, con 70 años y, el tamaño del hogar estuvo por debajo de la media estatal de 3.5 personas en promedio (INEGI, 2021) (Cuadro 1).

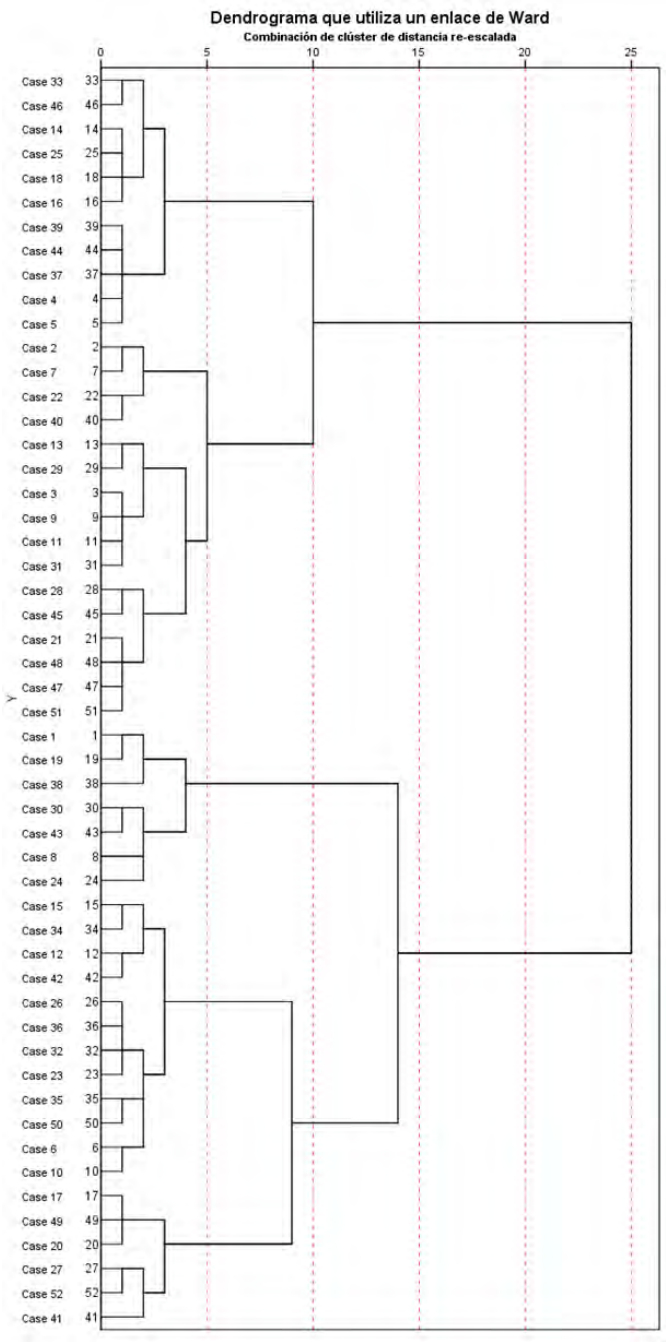


Figura 1. Dendograma del análisis de agrupamiento.

Cuadro 1. Media de edad, tamaño del hogar y experiencia por grupo.

Grupo	Número de Productores	Edad (años)	Tamaño del hogar (número de personas)	Experiencia (años)
1	11	36.7	3.2	5.5
2	16	51.9	2.5	13.5
3	7	51.3	8.3	18.6
4	12	57.7	4.2	28.4
5	6	70.3	2.3	44.3
Total	52	52.1	3.8	19.5

Los grupos 2, 3 y 4 tienen integrantes en edad media con años de experiencia en el cultivo que van desde 13 hasta 28 años. Sin embargo, el grupo con mayor número de integrantes por familia fue el 3, lo que hace suponer que son hogares ampliados, constituidos por un hogar nuclear más otros parientes. Finalmente, la media general de la edad fue de 52 años, con hogares de 3.8 integrantes por familia, por encima de la media estatal de Quintana Roo (INEGI, 2021) y, 19.5 años de experiencia en el cultivo.

Por otra parte, el 7.7% de los productores, indicó percibir ingresos por trabajo asalariado y, de este porcentaje, el 3.8% se ubicó dentro del primer grupo, el 1.9% en el grupo 3 y el 1.9% en el grupo 4. Lo anterior implica que, para los productores de los grupos 2 y 5, la agricultura es su actividad principal.

La mayoría de los productores entrevistados 71.2% hablan español como lengua originaria. No obstante, se identificó que un 28.8%, tienen como lengua originaria otra como: 19.2% maya, 3.8% chool y en igual porcentaje 1.9% zoque, chinanteca y tzeltal. Esta representatividad de la repoblación corresponde a la implementación del programa de repoblamiento de los nuevos centros ejidales ocurridos en 1972 el estado de Quintana Roo con campesinos del centro y este del país (Olivera, 2002).

El 73.6% de la mano de obra utilizada en las actividades del cultivo de chile jalapeño fue familiar (31% provienen de los hijos del productor, 29.9% de la esposa, 10.3% sólo del productor y 2.3% de algún otro familiar) y 26.4% fue contratada (19.5% jornaleros y 6.9% otros). Las actividades principales para el uso de la mano de obra fueron deshierbe (28.6%), fumigación (27.8%), siembra (23.8%) y cosecha (19.8%) (Figura 2).

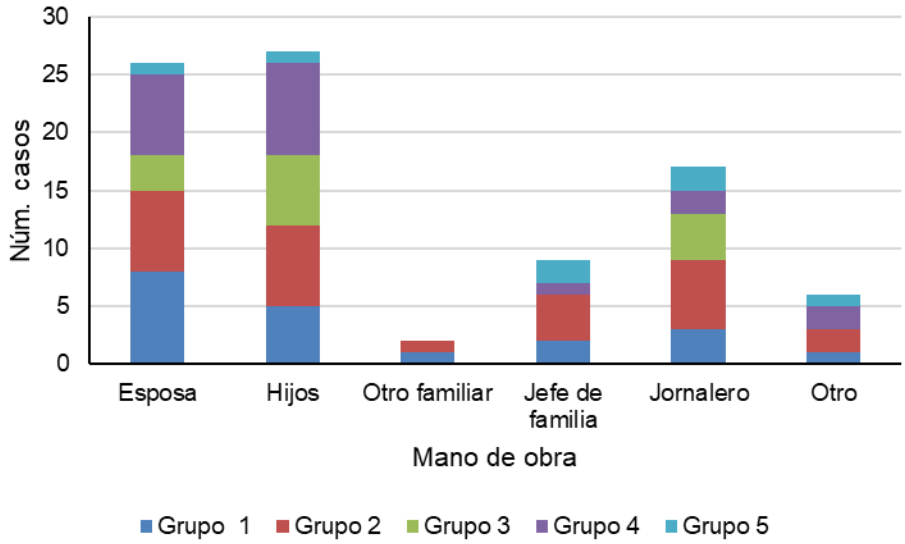


Figura 2. Mano de obra utilizada en el cultivo de chile jalapeño por tipo y grupo.

Los productores entrevistados también se dedicaron a otro tipo de actividades como agricultura, ganadería y aprovechamiento forestal no maderable. La diversidad de cultivos encontrada dentro de una misma unidad de producción indica que el cultivo de chile jalapeño se realiza de manera tradicional, y como parte de los cultivos asociados a la milpa (Uzcanga-Pérez *et al*., 2020; Pérez-Castañeda *et al*., 20015). Además, desde 1993 los cultivos de maíz, chile jalapeño y frijol han sido parte de la actividad agrícola del municipio de Othón P. Blanco en Quintana Roo (Euán-Ávila *et al*., 2002) (Figura 3).

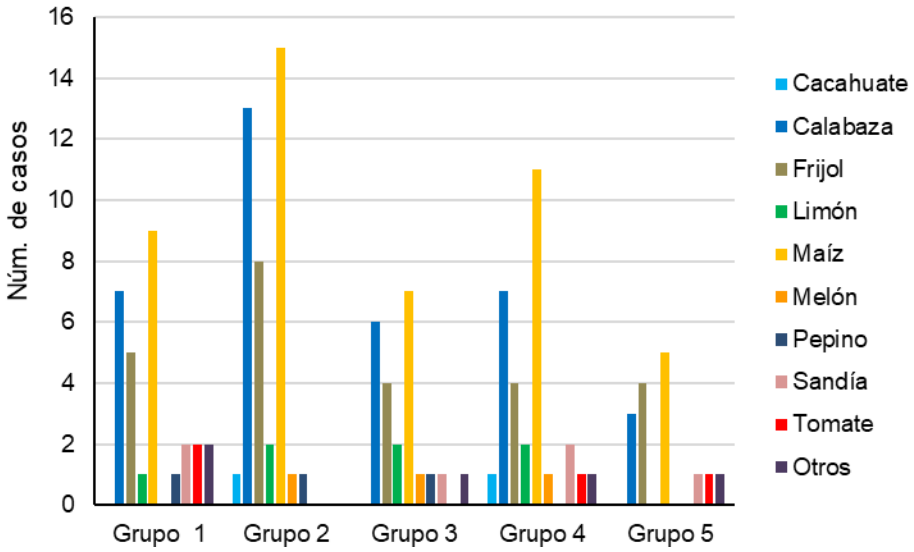


Figura 3. Otros cultivos por grupo de productores.

Además del cultivo de otros productos (Figura 4), se identificó que todos los grupos crían aves de traspatio, principalmente para consumo familiar y en los cuatro primeros grupos realizaron actividades apícolas, cría de ovinos y bovinos. En los grupos 3 y 4 se identificó presencia de cría de cerdos. Al respecto, Güemes-Ricalde *et al.* (2003) y Pat-Fernández *et al*. (2020) afirmaron que la apicultura es una actividad complementaria, no sólo del sistema milpa, sino también para otras actividades de subsistencia como forestería, ganadería y animales de traspatio. Además, la venta de miel, proporciona ingresos a los hogares, que la milpa ya no proporciona refinanciando la actividad agrícola (Rosales y Rubio, 2010). Asimismo, se identificó que en todos los grupos se realizan actividades de aprovechamiento forestal no maderable como leña y en el grupo 2, leña y carbón.

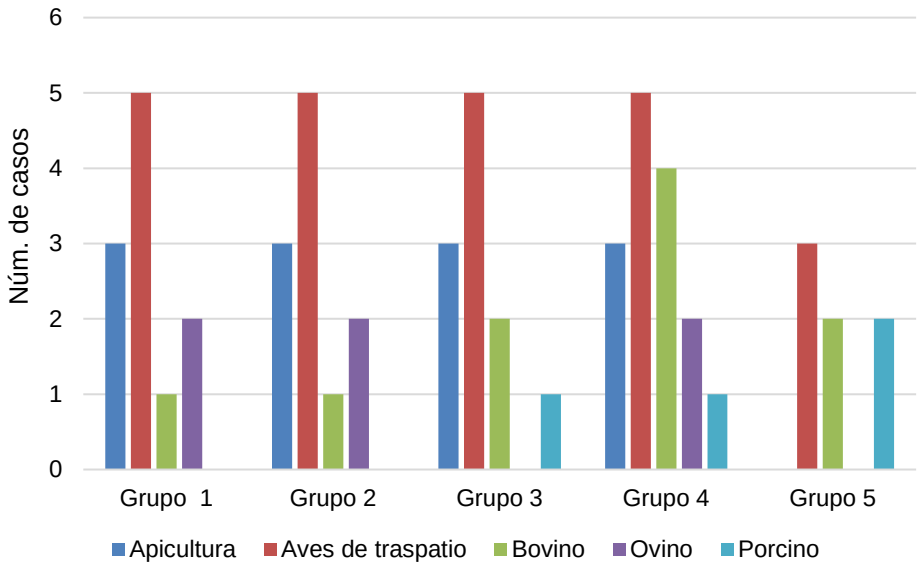


Figura 4. Actividades pecuarias por grupo de productores.

Finalmente, se identificó que los rendimientos más altos de 7.8 t/ha se ubicaron en el grupo 3, donde la mayoría de los productores 85.7% tiene un nivel medio y 13.3% baja apropiación del paquete tecnológico. Le siguen en rendimiento los productores del grupo 5 con 7.3 t/ha de los cuales 83.3% tienen nivel medio y 16.7% baja apropiación. Los del grupo 4 registraron rendimientos de 6.9 t/ha con niveles de apropiación de 91.7% medio y 8.3% baja.

Conclusiones

La tipificación permitió identificar las principales características de los productores que se dedican al cultivo de jalapeño. Se recalcó la importancia de la mano de obra familiar en el cultivo y la necesidad de continuar con las estrategias de transferencia de tecnología orientadas al incremento de la productividad con prácticas sostenibles tanto económicas como ambientales.

Agradecimientos

Al Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del estado de Quintana Roo, por el financiamiento del proyecto “Desarrollo de una Estrategia Integral e Innovación Tecnológica para Impulsar la Productividad de la cadena de valor de chile jalapeño en Quintana Roo”.

Literatura Citada

Aguilar-Meléndez, A., P. L. Morrell, M. L. Roose and S-C. Kim. 2009. Genetic diversity and structure in semiwild and domesticated chiles (*Capsicum annuum*; Solanaceae) from Mexico. American Journal of Botany 96(6):1190-1202.

Aguilar-Rincón, V. H., T. Corona T., P. López L., L. Latournerie M., M. Ramírez M., H. Villalón M. y J. A. Aguilar C. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI. Colegio de Postgraduados. INIFAP. ITConkal. UANL. UAN. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 114 p

De la Garza, J., B. N. Morales S. y B. A. González C. 2013. Análisis estadístico multivariante. Un enfoque teórico y práctico. Mc Graw Hill Interamericana. México, D. F. 707 p.

Euán-Ávila, J. I., M. A. Liceaga-Correa y H. Rodríguez Sánchez. 2002. Caracterización de fuentes no puntuales de contaminación agrícola en el municipio de Othón P. Blanco en Quintana Roo, y su potencial influencia en la Bahía de Chetumal. p. 197-204. *In:* Rosado-May, F. J., R. Romero M. y A. De Jesús N. (eds.). Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia. Serie Bahía de Chetumal No. 2. Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Q. Roo, México.

García, S. J. Á. y R. J. Nava P. 2009. El chile jalapeño: su cultivo de temporal en Quintana Roo. Folleto Técnico No. 2. INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Q. Roo, México. 50 p.

Güemes-Ricalde, F. J., C. Echazarreta-González, R. Villanueva-G, J. M. Pat-Fernández y R. Gómez-Álvarez. 2003. La apicultura en la península de Yucatán. Actividad de subsistencia en un entorno globalizado. Revista Mexicana del Caribe 8(16):117-132.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. México en cifras, Quintana Roo-áreas geográficas. https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=23#collapse-Resumen [Consultado el 21 de marzo de 2021].

Kú, V. M., L. Pool, J. Mendoza y E. Aguirre. 2013. Propuesta metodológica para evaluar proyectos productivos con criterios locales de sustentabilidad en Calakmul, México. Avances en Investigación Agropecuaria 17(1):9-34.

Olivera, G. A. Y. 2002. Reconstrucción paleoecológica del sur de Quintana Roo, México, durante el Holoceno. p. 5-15. *In:* Rosado-May, F. J., R. Romero M. y A. De Jesús N. (eds.). Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia. Serie Bahía de Chetumal No. 2. Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Q. Roo, México.

Pat-Fernández, L. A., H. P. Romero-Durán, F. Anguebes-Franceschi y J. M. Pat-Fernández. 2020. Eficiencia económica y organización de la cadena productiva de la miel en Campeche, México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 17(1):71-90.

Pérez-Castañeda, L., G. Castañón-Nájera, M. Ramírez-Meraz y N. Mayek-Pérez. 2015. Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 2(4):117-128.

Rosales, G. M. y A. Rubio H. 2010. Apicultura y organizaciones de apicultores entre los mayas de Yucatán. Estudios de Cultura Maya 35(2010):163-183.

Sánchez-Toledano, B., J. Zegbe y Z. Kallas. 2019. Tipología de productores de durazno en Zacatecas, México por atributos de calidad del fruto. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10(3):743-751.

SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). 2020. Modulo Agrícola Estatal. https://www.gob.mx/siap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon [consultado el 28 de abril de 2022].

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Panorama agroalimentario 2021. https://www.gob.mx/siap/documentos/panorama-agroalimentario-2021 [consultado el 16 de octubre de 2022].

Snedecor, G. W. y W. G. Cochran. 1984. Métodos estadísticos. 10ª imp. CECSA. México, D.F. 703 p.

Uzcanga-Pérez, N., A. Cano-González y P. Cadena-Iñiguez. 2021. Strategy to strengthen the traditional milpa family production systems. Agroproductividad 14(4):119-125.

Uzcanga-Pérez, N. G., C. I. Chanatásig V. y A. Cano G. 2020. Sustentabilidad socioeconómica y ambiental de los sistemas de producción de maíz de temporal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11(5):993-1004.

EVALUACIÓN SOCIOECONOMICA DE HERBICIDA ORGÁNICO EN CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arabica*)

Agustín Jimenez Ramos[1*], Anastacio Nanco Ortiz[1], Fernando Arturo Gómez Díaz[1], Jose Iran Domínguez Lagunes[2] y Rene Ávila Nieto[2]

Resumen

Para fomentar la agricultura amigable con el entorno y con el objetivo de identificar alternativas económicamente viables en el manejo agronómico del cultivo de café *(Coffea arabica)* en el control de malezas, durante el periodo de mayo a agosto de 2022, se realizó el trabajo de investigación en la localidad de Guzmantla, Municipio de Ixhuatlán del Café Veracruz, mediante el establecimiento de una parcela experimental en el cultivo de café, propiedad de un socio adscrito a la empresa AMSA, dónde se evaluaron tres dosis de herbicida orgánico Secbios, bajo un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones (yij = μ + τi + βj + €ij), T1=dosis mínima 5ml/1L de agua, T2=dosis intermedia 7.5ml/1L agua, T3=dosis recomendada 10ml/1L agua y T4=Testigo con control mecánico tradicional de chapeo. Los resultados reportan un mayor porcentaje de inhibición de crecimiento en la planta a los 15 días en el T3, seguida del T2, teniendo una menor afectación en T1. Estadísticamente se reportó una diferencia significativa entre hoja ancha y hoja angosta con un valor de p= 0.0879. Económicamente por hectárea con el control manual la inversión es de un total de $2,800/ha, con el uso de herbicida orgánico presenta costos rentables de acuerdo a la dosis implementada, siendo T1 la más económica con $645.60/ha, T2 como intermedia siendo $945.60/ha su costo y la más elevada T3 con $1,245.60/ha. Comparando un control químico con glifosato su costo por hectárea refleja $682 lo cual pudiera considerarse económicamente rentable. Por lo tanto, se concluye que la dosis T3 recomendada 10ml/L es la más eficaz contra la diversidad de malezas a controlar ya que

[1] Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. *20193a101074@utcv.edu.mx, anastacio.nanco@utcv.edu.mx; asp@utcv.edu.mx
[2] Agroindustrias Unidas de México S.A. de C.V. jdominguez@ecomtrading.com; rene.avila@ecomtrading.com

presenta solo un 44% de costo comparado con un control mecánico chapeo para el manejo agronómico del cultivo de café.

Palabras clave: dosis, parcela, café

Introducción

En la actualidad las exportaciones mundiales crecen mes a mes, la producción mundial de café en la temporada cafetalera 2017-2018 fue más alta, un 5.7%, es decir unos 164.81 millones de sacos. En cuanto al consumo mundial del café, los países que más se destacan por esta variable por su mayor cantidad representadas en mil sacos de 60 kg son la Unión Europea con 43 967, Estados Unidos con 26 112 y Brasil con 21 997 sacos (Osorio *et al.,* 2019). El café es un cultivo de importancia social y económica para México, es uno de los principales productos agrícolas de exportación y como fuente captadora de divisas, sólo es superado por el petróleo. La producción de café tiene una gran relevancia para el país, hecho que se refleja en la siguiente información: 349,701 Unidades de producción (UP), según el Censo, 509,817 productores según FC; 680 mil hectáreas cultivadas con esta especie donde laboran 486,339 jefes de familias, una producción promedio de 4.7 millones de sacos de 60 kilogramos; sexto productor mundial y segundo en producción orgánica, después de Perú (Figueroa *et al.*, 2015). Veracruz es el segundo productor nacional de café, con una aportación promedio de 300 mil toneladas de café cereza, cifra que representa un millón 200 mil quintales de café verde de exportación. Señalaron que el 90 por ciento de la producción estatal de café se comercializa en el mercado externo, y únicamente el 10 por ciento se vende en el interior del país. Se conoce que poco más de 140 mil hectáreas se destinan para la producción de café en las nueve regiones productoras del aromático: Misantla, Tlapacoyan, Coatepec, Huatusco, Ixhuatlán del Café, Zongolica, Tezonapa, Córdoba y la Sierra de Santa Marta (Los Tuxtlas) (NOTIMEX, 2019).

Importantes estudios hechos por Berlanga (2011) señala que las regiones cafetaleras tienen poca diversificación productiva. En los 236 municipios cafetaleros más de la mitad de la

Población Económicamente Activa (PEA), se ocupa en actividades agropecuarias. Por esta condición, son muy sensibles a las variaciones internacionales del precio de este grano.

Dentro del manejo agronómico del cultivo una práctica relevante es el control de malezas, debido a que, desde el punto de vista económico, la maleza es una planta, cuya presencia resulta en la reducción de la rentabilidad del sistema agrícola. La participación de los herbicidas en el mercado mundial de productos químicos utilizados en agricultura es del 47%. El manejo de malezas ha sido duramente cuestionado en los últimos años por los perjuicios ecológicos y económicos que plantea el uso indiscriminado de este tipo de químicos. Debido a la imposibilidad de realizar control mecánico en los sistemas agrícolas, con frecuencia el uso del control químico se incrementa tal como lo menciona Castro *et al.*, (2010).

Este mismo autor señala que en la zona centro del Estado de Veracruz se hace uso de herbicidas químicos para controlar malezas, el cual ha ido en aumento sustituyendo las prácticas de control mecánicas, es la importancia de atender el control de malezas en los cultivos de café, generando alternativas que sean rentables económicamente y ecológicas, para hacer uso de una agricultura sostenible. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de tres diferentes dosis de herbicida orgánico SecBios, en cultivo de café, para comparar su eficacia y determinar la rentabilidad en control de malezas en la región cafetalera del Estado de Veracruz. Pedemonte (2017) señala que el glifosato es el herbicida más usado del mundo y como cualquier otro producto que se aplica genera preocupaciones vinculadas a la salud, la biodiversidad y el medio ambiente, y el desarrollo de la resistencia de las malezas. Su uso en los últimos años se ha incrementado notablemente debido a varios factores como la aparición de malezas resistentes que requieren de mayores dosis y la reducción del precio del producto. Por lo tanto, es necesario resolver este problema, desarrollando alternativas sostenibles amigables con el medio ambiente, la agricultura orgánica es uno de los varios enfoques de la agricultura sostenible. Lo que distingue a la agricultura orgánica es que está reglamentada, en virtud de diferentes leyes y programas de certificación, la generación de herbicidas orgánicos como alternativas de control, tienen un futuro prometedor en cuanto a rentabilidad en diferentes sectores (Vargas, 2007). Siendo así que esta investigación de herbicida orgánico representa un gran aporte a la agricultura, especialmente al sector cafetalero, debido a que contribuiría a hacer más rentable y efectivo

el control de las malezas en las fincas, lo que produciría ahorros en los costos totales del manejo agronómico.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en el Municipio de Ixhuatlán del Café, localizado entre los paralelos 18° 57’ y 19° 06’ de latitud norte; los meridianos 96° 50’ y 97° 01’ de longitud oeste; altitud entre 800 y 1 900 metros, el cual se localiza en la región central montañosa del Estado de Veracruz en la parte denominada la franja de oro cafetalera, colinda con los municipios de Coscomatepec, Huatusco y Tepatlaxco; con un rango de temperatura Rango de 16 – 22°C, una precipitación de 1,900 – 2,100 mm, con climas que van desde semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (54%), Semicálido, húmedo con lluvias todo el año (41%) y Templado húmedo con abundantes lluvias en verano (5%) (PIGMEUM, 2009). La parcela de investigación se instaló en la comunidad de Guzmantla municipio de Ixhuatlán del Café (Figura 1), la parcela demostrativa está a nombre de Agustín Jiménez Ixtla productor asociado a la empresa AMSA. Las coordenadas de la huerta: 19.02194º N, 96. 92125º O



Figura 1: Micro localización de la parcela experimental.

Material y equipo para el estudio

Para el desarrollo del trabajo de investigación en café *(Coffea arabiga),* contempló los siguientes materiales, equipo e insumos.

a) Materiales y equipo

Flexómetro
Hilo rafia, hilo para trazo.
Maso o martillo
Estacas de café
Teléfono Smartphone para registros o GPS
Material de Muestreo marco de aluminio 50
Bomba aspersora de 20 L, con protección en boquilla para la aplicación.
Machete
Dosificadores
Botas de hule
Overol y guantes de nitrilo
Googlees con mascarilla respiradora.

b) Material didáctico e insumos

Bitácora de campo
Formatos de registro de las actividades de campo
Herbicida y adherente orgánico.
Cartón y periódico (Prensa de muestreo) x 50cm

Para desarrollar el trabajo de investigación se elaboró el diseño experimental que consistió en bloques completamente al azar, tomando en cuenta cuatro tratamientos y cuatro repeticiones (Figura 2), posteriormente se repartió en cada surco un cuadrante donde se ubicaba cada tratamiento experimental, los cuales fueron los siguientes. Tratamiento 1 (T1) = Dosis mínima 5ml/1L agua; Tratamiento 2 (T2) = Dosis intermedia 7.5ml/1L agua; Tratamiento 3 (T3) = Dosis recomendada 10ml/1L agua y Tratamiento 4 (T4) = Testigo. El muestreo se realizó con el método del cuadrado que se arrojó de manera aleatoria en cada cuadrante de la repetición de cada tratamiento para identificar el número de especies de hoja angosta y ancha, así como el porcentaje de control de la población de maleza en cada tratamiento, bajo el siguiente modelo estadístico:

$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + €_{ij}$

$i = 1, \ldots a,$

$t\ j = 1, \ldots, b$

μ = media general

τi = efecto del i-ésimo tratamiento

βj = efecto del j-ésimo bloque

€ij = error experimental en la unidad j del tratamiento i

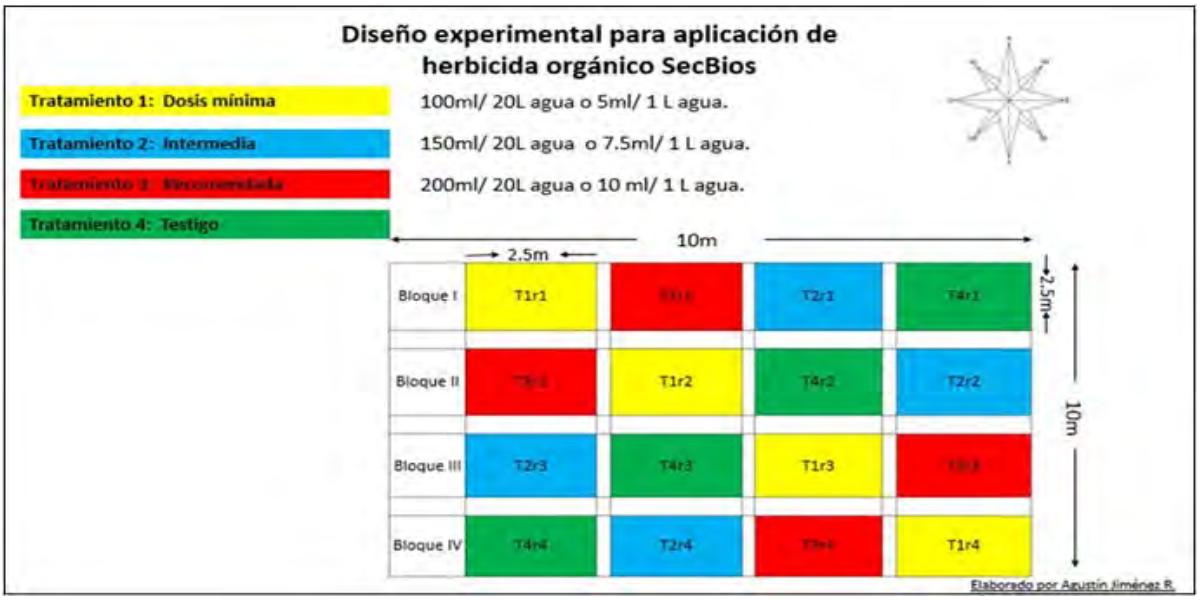


Figura 2. Distribución de las parcelas de investigación

Resultados y Discusión

En la primera aplicación, así como el número de plantas por especie en el análisis descriptivo reflejan un total de 76 especies identificadas, con una mínima de un nombre de especie identificada y máxima de 16 nombres de especies identificadas. Entre el número de plantas por especie identificada en promedio fue de 5.39, con una mínima de una planta por especie y con una máxima de 25 plantas por especie, teniendo una desviación estándar de 3.82 a 5.47 respectivamente (Cuadro 1). Mostrando una mayor incidencia de especies identificadas en la aplicación de Hierba de pollo *Commelina diffusa* Burm. f. seguida de Mozote *Cyathula achyranthoides* (Kunth) Moq., siendo Higuerilla *Ricinus communis* L. la especie identificada con menor presencia en el área de aplicación de herbicida (Figura 3). Lo que muestra similitud en densidad de plantas entre dos especies identificadas.

Cuadro 1. Análisis descriptivo de nombre y número de malezas identificadas.

Variables	Numero muestras	Media	Mínima	Máxima	Desv SD.
Nombre de la especie identificada en la aplicación	76	5.41	1.00	16.00	3.82
Número de plantas por especie identificada	76	5.39	1.00	25.00	5.47

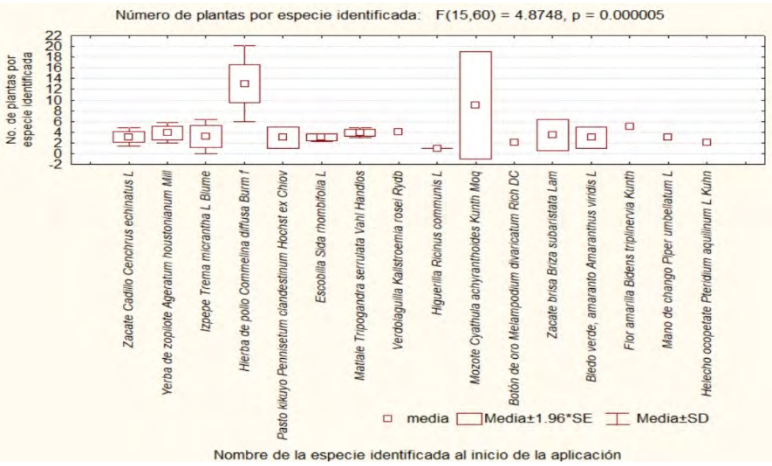


Figura 3. Especies identificadas al inicio de la aplicación.

La relación entre tipo de hoja y el número de especies, reporta una diferencia significativa entre hoja ancha y hoja angosta con un valor de p= 0.0879 (Figura 4). Por lo tanto, de acuerdo al grafico se demuestra un mayor número de plantas por especie identificadas con hoja ancha que son malezas predominantes en el área con este tipo de hoja.

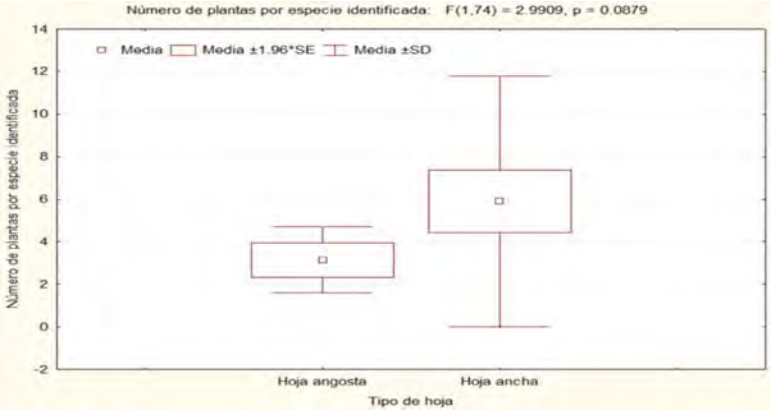


Figura 4. Relación del tipo de hoja entre el número de plantas por especie identificadas.

Estadísticamente en la comparación de medias de Tukey de las unidades de evaluación entre los cuatro tratamientos para la variable porciento de planta dañada después de 8 días, se muestra una diferencia únicamente en un grupo, lo que es el T4, que es el tratamiento testigo, se diferencia de los demás tratamientos (Cuadro 2). En la representación gráfica de resultados en variables de porciento de planta dañada después de los 8 días, se reporta un 100% de daño en lo que es el T4, así mismo con una ligera similitud de porciento de planta dañada en T2 y T3 (Figura 5). Lo cual demuestra que a dosis más altas el porcentaje de daño en planta a los 8 días es más notorio. Independiente del T4 que es un control mecánico y daña totalmente a las plantas no deseadas.

Cuadro 2. Comparación de medias. Prueba Tukey HSD; variable % de planta dañada después de 8 días.

Tratamiento	Porcentaje de la planta dañada (%). 1er Eval. media	1	2
T1	19.00	a	
T2	38.33	a	
T3	41.25	a	
T4	100.00		b

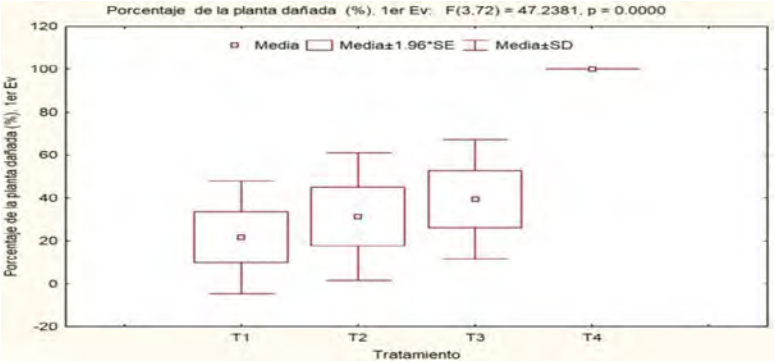


Figura 5. Relación del porcentaje de planta dañada después de 8 días entre los tratamientos.

Tomando los datos de un análisis estadístico en la comparación de medias de las unidades de evaluación entre los cuatro tratamientos a través de la prueba de Tukey con la variable porciento de planta dañada después de 20 días, se muestra una diferencia estadística teniendo similitud dos grupos T2 y T3, siendo diferentes los tratamientos T1 y T4 (Cuadro 3). En relación al porcentaje de planta dañada después de 15 días, se reporta un mayor parte de daño en el

T3, seguido de T2, siendo diferentes al T1 donde el porcentaje de daño es menor (Figura 6). Lo cual representa que ambas dosis con un grado mayor de concentración tienden a ser más eficaces en cuanto a porcentaje de daño en plantas a 20 días de la aplicación de herbicida orgánico.

Cuadro 3: Comparación de medias. Prueba Tukey HSD; variable % de planta dañada después de 20 días

Tratamiento	Porcentaje de la planta dañada (%). 3ra eval. Media	1	2	3
T1	41.00		a	
T2	80.83	b		
T3	81.25	b		
T4	100.00			c

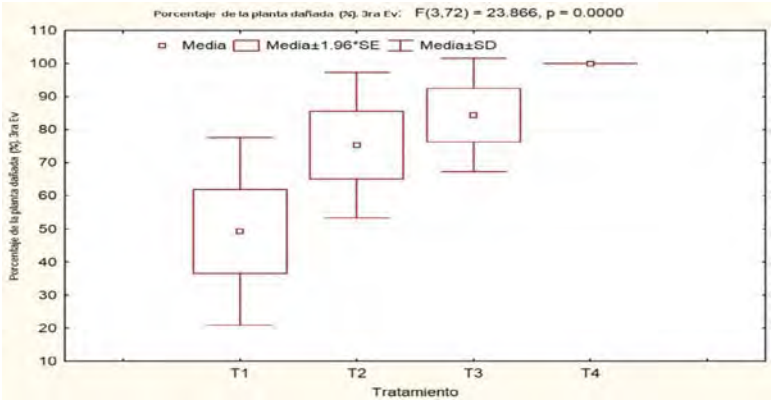


Figura 6. Relación porcentual de la planta dañada después de 20 días entre los tratamientos.

En la comparación de medias de la variable porciento de la planta dañada después de 1.5 mes entre las unidades de evaluación de los cuatro tratamientos a través de la prueba de Tukey se muestra una diferencia estadística, mostrando tres grupos con similitud T2, T3 e independiente T4 que es el testigo, siendo diferente T1 que es una dosis mínima (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias. Prueba Tukey HSD; variable % de planta dañada después de 1.5 meses.

Tratamiento	Porcentaje de la planta dañada (%). 6ta Eva Media	1	2
T1	60.0000		a
T2	94.5833	b	
T3	95.4167	b	
T4	100.0000	b	

En relación a variable % de planta dañada después de 1 mes y 20 días, se reporta un mayor porcentaje de daño en el T3, seguido de T2, siendo diferentes al T1 donde el porcentaje de daño es menor (Figura 7). Lo cual representa que ambas dosis con un grado mayor de concentración tienden a ser más eficaces en cuanto a porcentaje de daño en plantas a un mes y 20 días de la aplicación de herbicida orgánico.

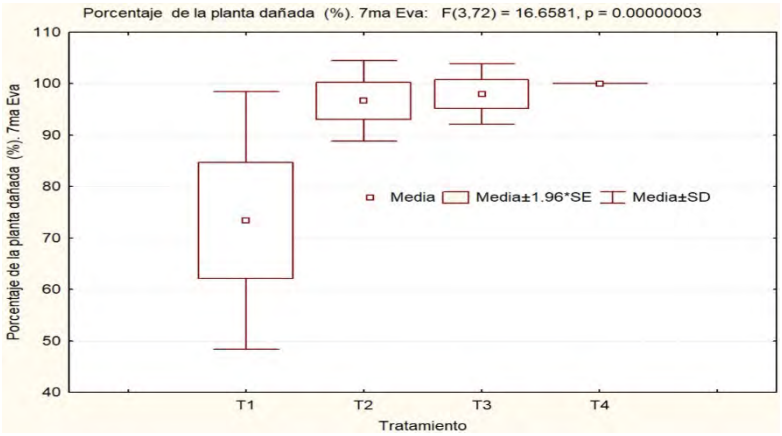


Figura 7. Relación del porcentaje la planta dañada después de un mes 20 días entre los tratamientos.

Los resultados en relación a número de plantas en rebrote después de 1 mes y 20 días, mostrando una mayor numero de incidencia de especies en rebrote después del efecto del herbicida, de Zucuyole *Oxalis jacquiniana* Kunth, seguida de Hierba de pollo *Commelina diffusa* Burm. f., siendo Escobilla *Sida rhombifolia* L la especie en rebrote identificada con menor presencia en el área de aplicación de herbicida (Figura 8). Lo que muestra similitud en densidad de plantas entre dos especies identificadas.

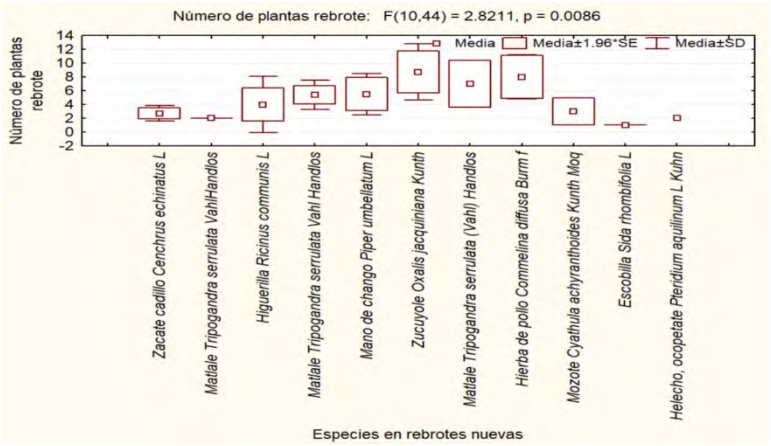


Figura 8. Especies de rebrote.

Por la parte económica en cuanto al método de control de maleza evaluado, representando gráficamente datos en relación a la variable costo por hectárea, se refleja que a mayor dosis el costo es más alto, siendo el caso de T3 con un costo/ha de $1,245.60, seguido de T2 con $945.60/ha, por último, con una diferencia significativa T1 con $645.60/ha (Figura 9). Por lo tanto, los resultados indican que al tener una menor concentración de dosis de herbicida los costos económicos automáticamente disminuyen.

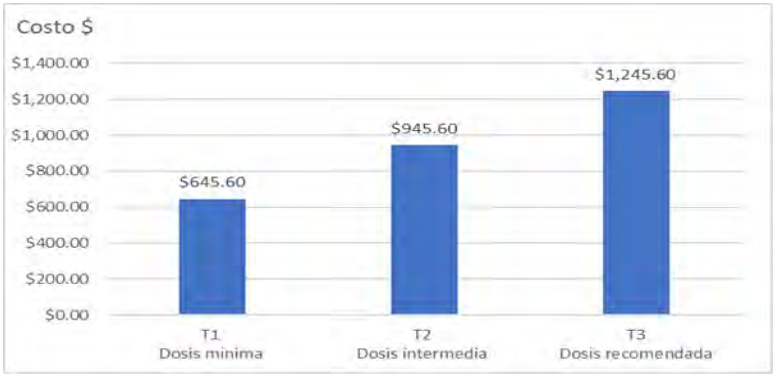


Figura 9. Costos económicos control de maleza herbicida orgánico.

En relación de la variable de costo total por hectárea de acuerdo al tipo de control de maleza, datos reflejan que el realizar un control manual económicamente es la más elevada inversión con un total de $2,800/ha, por consiguiente, el control de herbicida orgánico presenta costos rentables de acuerdo a la dosis implementada, siendo T1 la más económica con $645.60/ha, T2 como intermedia siendo $945.60/ha su costo y la más elevada T3 con $1,245.60/ha.

Comparando un control químico con glifosato su costo por hectárea refleja $682 lo cual pudiera considerarse rentable económicamente pero totalmente perjudicial en otros factores como para la salud humana y del ambiente (Figura 10). Tomando en consideración lo mencionado, el realizar un control de malezas con herbicida orgánico con alguna de las dosis evaluadas representa gran rentabilidad económica de acuerdo a un control mecánico donde su costo es alto.

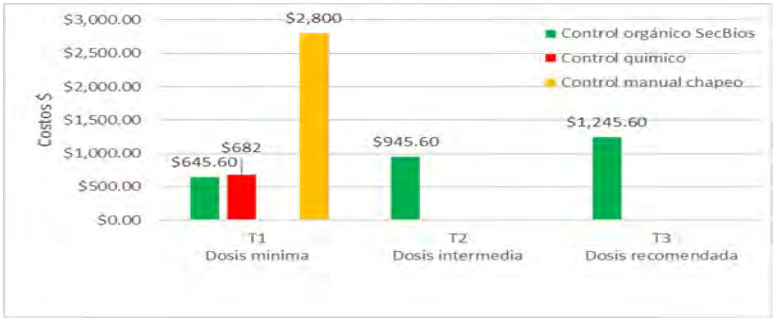


Figura 10. Costos económicos de control de maleza.

Agradecimientos

El agradecimiento total a la empresa Agroindustrias Unidas de México S.A. de C.V. (AMSA) por el apoyo, las facilidades para el desarrollo del presente trabajo de investigación, particularmente al Ing. Miguel Ronquillo Aco y a la Biol. Olga María Illescas Solís por el apoyo brindado para el proyecto.

Al productor Agustín Jiménez Ixtla asociado a la empresa AMSA, por la facilidad de proporcionar su parcela para el ensayo y apoyo durante el desarrollo del mismo.

A la Universidad Tecnológica de Veracruz UTCV, a los profesores del programa ASP, en especial a MC. Anastacio Nanco Ortiz por el apoyo como asesor de proyecto.

Literatura Citada

Berlanga, H. 2011. Los productores de café en México: problemática y ejercicio del presupuesto. Washington DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars. Mexican Rural Development Research Reports. p. 14.

Castro, F. G., M.G. Agudelo S. y E. Vera M. 2010. Efecto de la aplicación de glifosato en la flora y microflora asociada a arvenses en el cultivo de café *(Coffea arábiga* L.*)* en el municipio de Santa Rosa de Cabal, departamento de Risaralda. Cultura y Droga 8(10): 225-254.

Figueroa Hernández, E., F. Pérez Soto y L. Godínez Montoya. 2015. Importancia de la comercialización del café en México.

NOTIMEX. 2019. Veracruz segundo lugar como productor nacional de café.

https://www.20minutos.com.mx/noticia/501515/0/ocupa-veracruz-segundo-lugar-como-productor-nacional-de-cafe/

Osorio, L. M. B., Y. S. Escalante R., M. Carvajal C. y D. Cristancho M. 2019. Análisis de las tendencias en la producción y el consumo de café a nivel internacional. Visión Internacional (Cúcuta): 26-30.

Pedemonte C., F. E. 2017. Problemática del uso de glifosato. http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3011

PIGMEUM. 2009. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ixhuatlán del Café, Veracruz de Ignacio de la Llave.http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30080.pdf

Vargas P., M. A. 2007. Estudio de Factibilidad Financiera para la Producción de un Herbicida Orgánico. https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15655/PF%202511%20Estudio%20de%20Factibilidad%20Financiera%20para%20la%20Producci%c3%b3.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SIEMBRA DE VARIEDADES DE TRIGO SUSCEPTIBLES A LA ROYA EN TLAXCALA Y ESTADO DE MÉXICO

Bertha Sofía Larqué Saavedra[1]*, Fabián Islas Gutiérrez[1], Alma Velia Ayala Garay[1], María de Jesús Ramos Álvarez[2], Lorena Cortés Espinoza[1] y Guillermina Martínez Trejo[1]

Resumen

Este trabajo se orientó al estudio de la adopción de las variedades de trigo harinero para terrenos de temporal del Estado de México y Tlaxcala, ambos, pertenecientes a la región de influencia del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El trigo forma parte de los principales alimentos de las familias mexicanas, se consume en sopas y pastas en general, en panes, pasteles y galletas. Desafortunadamente, la balanza comercial de trigo es deficitaria debido a las importaciones que se realizan de trigo harinero. Aunado a ello, en México, la superficie sembrada con este tipo de trigo, ha registrado una tasa de crecimiento negativa desde la década pasada. Para el caso de estas dos entidades y de acuerdo con la información de campo obtenida de cuestionarios aplicados a productores que formaron parte de este estudio, desde antes del 2016, las variedades se enferman mucho de roya. Dicho por ellos, esto los ha desanimado para continuar con este cultivo, lo que ha repercutido en la disminución de la superficie sembrada con este grano. El periodo de estudio fue 2016 - 2019. Se detectó que varios productores a lo largo del periodo, sembraron las mismas variedades señaladas por ellos, como susceptibles a la roya. Por este hecho se planteó como objetivo de estudio: Identificar la o las características de los productores de trigo harinero de terrenos de temporal de Tlaxcala y Estado de México, que se relacionan con la elección de las variedades de trigo del CEVAMEX, que siembran. La investigación fue empírica, exploratoria. Se trabajó con información directa obtenida de cuestionarios y entrevistas semiestructuradas a productores e informante clave. Se aplicó un muestreo no probabilístico Intencional. La información se

[1] Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. *Autor para correspondencia: larque.bertha@inifap.gob.mx
[2] Investigadora independiente del área de economía.

analizó con estadísticas descriptivas y corridas de regresiones logísticas. Se identificaron dos variables que explican la elección de las variedades: cantidad de hectáreas que siembran y número de años que sembraron dentro del periodo de estudio. A más hectáreas y más número de años, se incrementa la probabilidad de que siembren variedades resistentes.

Palabras clave: características de los productores, Valle de México, cambio de cultivos

Introducción

De acuerdo con la Cámara de Diputados y CEDRSSA (2020) el trigo es el segundo cereal más importante en la alimentación de los mexicanos. La producción se divide en trigo cristalino y trigo harinero. El primero se emplea para hacer pastas y sopas. México es autosuficiente e incluso lo exporta. Ha llegado a ocupar el tercer lugar a nivel mundial en exportación de trigo cristalino (SAGARPA, 2017). El trigo harinero es empleado en la elaboración de harinas para panes y repostería. Su producción nacional solo cubre el 25.07% del consumo interno (SAGARPA, 2017), por eso, para atender la demanda se hacen importaciones, las cuales tuvieron una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) de 3.86% en el periodo 2010 – 2018 (Cámara de Diputados y CEDRSSA, 2020). Para el año 2020, las importaciones de trigo harinero representaron el 71.7% del consumo nacional aparente (FIRA, 2021). Ante esta situación, el Gobierno Federal de México, está motivando la producción nacional de trigo harinero, a través del Programa de Precios de Garantía. Esta investigación tuvo como tema de estudio, la adopción de las variedades de trigo para temporal obtenidas por el CEVAMEX ya que son variedades harineras, por lo que se enmarcan dentro de este programa federal. Se trabajó en el Estado de México y Tlaxcala, por ser las dos entidades federativas del Valle de México y zona de estudio del CEVAMEX, donde se siembra trigo. Además de ser dos entidades donde el Programa de Trigo de Temporal del CEVAMEX, ha realizado desde varios años atrás, tareas de extensionismo. Se identificó en la información recogida en campo, que los productores de estos estados, durante el periodo de estudio, han disminuido la superficie sembrada de este cereal; aunado a esto, el 46%, sembraron variedades de trigo susceptibles a roya amarilla, por lo que se incrementa la probabilidad de que el rendimiento se comprometa

(Hortelano *et al.,* 2013). De acuerdo con lo dicho por los informantes clave y por los propios productores, la presencia de la roya, ha influido en su decisión de cambiar de cultivo. El objetivo del presente trabajo: Identificar la o las características de los productores de trigo harinero de terrenos de temporal de Tlaxcala y Estado de México, que se relacionan con la elección de las variedades de trigo del CEVAMEX, que siembran.

Materiales y Métodos

Esta investigación se definió como sociológica exploratoria. El tema de estudio fue la adopción de variedades de trigo y los sujetos de estudio, los productores de trigo de temporal del ciclo P-V del Estado de México y Tlaxcala. La información con la que se trabajó fue indirecta y directa. La primera obtenida de la revisión de estadísticas oficiales y revisión bibliográfica; y la segunda en trabajo de campo, a través de dos técnicas: cuestionarios para productores y entrevistas semiestructuradas para agentes clave. Esto permitió contar con información ordenada, del tema de investigación. El periodo de estudio fue del 2016 al 2019. Para la aplicación de los cuestionarios, se trabajó con un muestreo no probabilístico Intencional. El tamaño de muestra fue de 133 productores, 81 de Tlaxcala y 52 del Estado de México. Los productores del estado de Tlaxcala encuestados, viven y siembran en ocho municipios de la entidad, reconocidos por ser los de mayor producción de trigo a nivel estatal, a excepción hecha de Ixtacuixtla. De Nanacamilpa, Hueyotlipan, Benito Juárez, Sanctorum, Españita, Tlaxco, Muñoz de Domingo Arenas. Del Estado de México, los productores fueron de los municipios Juchitepec, que es el de mayor producción de trigo a nivel estatal, Tenango del Aire, Tlalmanalco, Chalco, Temamatla, Cocotitlán y Tepetlaoxtoc. Se estableció como eje de análisis para este estudio, el uso de variedades resistentes a la roya amarilla vs variedades susceptibles, las cuales se clasificaron con base en la información obtenida de Villaseñor (e*t al.,* 2018). El uso de las variedades clasificadas según su resistencia o no a la roya, se manejó como variable dependiente. El análisis de la información inició con estadísticas descriptivas, lo que permitió tener un panorama general y plantear conjeturas; se hicieron cruce de variables con tablas de contingencia aplicando el estadístico Chi cuadrada. La variable dependiente se planteó como dicotómica: 0 = al menos un año dentro del periodo de estudio, sembró

variedades resistentes o moderadamente resistentes. 1 = no sembró variedades resistentes o moderadamente resistentes ni un solo año.

Posteriormente se corrieron regresiones logísticas manteniendo la misma variable dependiente ordenada de la siguiente manera. En un mismo grupo se pusieron las variedades resistentes y moderadamente resistentes, en otro, susceptibles y moderadamente susceptibles. Al analizar la información de campo, se pudo ver que los productores en un mismo ciclo, o bien, durante el periodo, sembraron diferentes variedades que pudieron ser, solamente del primer grupo, o del segundo, o bien de ambas, resistente y susceptibles; por esta razón, la variable dependiente se clasifico como: 1=susceptibles, 2=ambas y 3=resistentes. Las variables independientes fueron: número de años de estudio, años de experiencia como productor de trigo, número de años del periodo que sembró trigo, destino de la producción (venta y/o alimento para su ganado), porcentaje de los gastos familiares que cubren los ingresos obtenidos por la venta del trigo, número de hectáreas que siembra,

Resultados y Discusión

Características de los productores. Las edades de los productores que se registraron con mayor frecuencia fueron 47 y 51 años (Figura 1), solo el 31%, se encuentran en la clasificación de adulto mayor, que se define como aquellas personas mayores a los 60 años. De acuerdo con esta información, la población de la muestra, tuvo un comportamiento diferente a lo encontrado por la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019 (INEGI, 2019) en donde el grupo de adultos mayores, es el más numeroso entre los productores agrícolas del país. El 65% de los productores tienen estudios de primaria, el grado más frecuente fue quinto año. El número máximo de años estudiados fue de once. En cuanto al desarrollo de sus actividades económicas, el 55.3% se dedican además de la agricultura, a otras como: ganadería, comercio, son asalariados, técnicos, entre otros. El 51% destinan sus tierras a la siembra de diferentes cultivos en un mismo ciclo. El número de hectáreas promedio que siembran con trigo corrió de 1 a 121 ha (se manejaron promedios en esta variable, sin embargo, se registraron productores que siembran 360 hectáreas). Según la ENA (2019) a nivel nacional, el 97.6% de los

productores de trigo, siembran más de 5 hectáreas. La mayor parte de los productores del estudio, coinciden con este dato, ya que el 79% siembra más de 5 ha por ciclo (Figura 1).

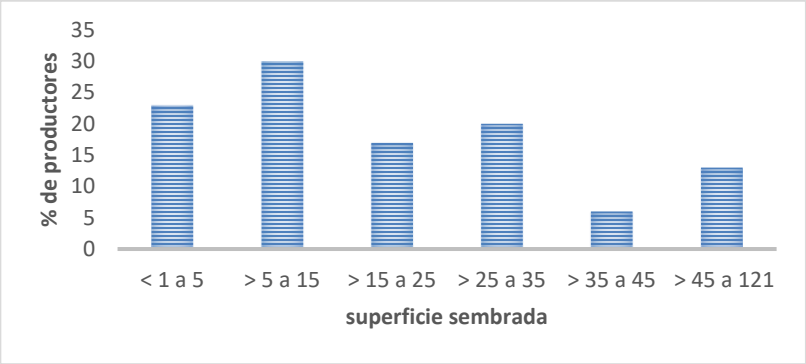


Figura 1. Porcentaje de productores según número de hectáreas promedio sembradas con trigo.

El rendimiento corrió de 5.500 a 0.500 t/ha hectárea, el promedio fue de 3.5 t/ha. En cuanto al destino de la producción, el comportamiento fue diferente entre los estados, en Tlaxcala el 71% de los productores venden el 100% de su cosecha, mientras que en el Estado de México solo el 29%. El porcentaje de quienes vende una parte y la otra la destina a su ganado, fue, el 27% productores de Tlaxcala y 50% del Estado de México. Con la intención de ubicar el tipo de productor sujeto de este estudio, se planteó de manera hipotética que algunas de sus características se identifican con las de los productores de dos grupos propuestos en una tipología de productores de trigo de México, elaborada por Yúnez y López (2021). Un grupo al que clasifican como Unidades de Producción Pequeña de Tipo Familiar, que trabajan como máximo 5 ha, con rendimientos de hasta 3 t/ha, venden parte de su producción, y otra la destinan para su ganado. En esta investigación, se identificó un grupo conformado por el 22% de los productores en estudio, que siembra hasta 5 hectáreas y su rendimiento promedio y la moda, coincidieron en 2.5 t/ha. De éstos, el 62% vende el 100% de su producción, el 34% una parte la vende y otra la destinan a su ganado, el resto, no vende. Otro grupo clasificado por Yúnez y López (2021), es el que definen como Unidades Comerciales Pequeñas; siembran en promedio 11.5 ha, venden la mayor parte del trigo y tienen un rendimiento por debajo de las 3.5 t/ha. Se formó un grupo con los productores de la muestra que siembran > 5 a 15 hectáreas. El 54% de los que conforman este grupo, registraron rendimientos entre 3 y 3.5 t/ha. El 48% destinan la producción únicamente a la venta y 38% a la venta y como alimento para su

ganado, el resto no venden. Se aprecia en estos datos, que entre los productores que se identifican con las Unidades de Producción Pequeña de Tipo Familiar, hay un porcentaje mayor, que venden su cosecha. Los otros dos grupos que forman Yúnez y López, son unidades comerciales medianas y grandes con riego, venden el 100% de su producción y sus rendimientos son de 5.8 t/ha. De los productores de la muestra, solamente el 20% tienen rendimientos de 4 a 6 t/ha. El 13% siembra arriba de 40 hectáreas.

Llamó la atención que, siendo el porcentaje más alto, el de los productores que venden su producción de trigo, en su mayoría, siembran variedades susceptibles a la roya amarilla (Cuadro 1).

Cuadro 1. Frecuencia de productores que siembran variedades de trigo resistentes y moderadamente resistentes a la roya amarilla

Porcentaje de variedades sembradas resistentes a la roya	Porcentaje de productores, según variedad que siembran
0	44.3
20	0.8
40	8.2
60	29.3
80	5.2
100	12.0
Total	99.8

Fuente: Elaboración propia con información obtenida en los cuestionarios.

Como se aprecia en el Cuadro 1, solamente 12% del total de productores, siembran únicamente variedades moderadamente resistentes y resistentes, 44.3% siembran únicamente variedades moderadamente susceptibles y susceptibles, y el resto siembran ambas en diferentes proporciones.

Se fueron planteando conjeturas para encontrar qué variable puede tener relación con la decisión de sembrar variedades resistentes o susceptibles. Se planteó que a mayor cantidad de años de experiencia sembrando trigo, se sembrarían variedades resistentes. La relación fue la siguiente Cuadro2.

Cuadro 2. Relación del porcentaje de productores, según sus años de experiencia de sembrar trigo y variedades que siembran, según su resistencia.

Variedades según su resistencia	Años cultivando trigo			Suma
	<=10	11 a 30	>30	
Resistente	0.04	0.04	0.02	0.10
Resistes y susceptibles	0.09	0.20	0.13	0.42
Susceptible	0.11	0.28	0.10	0.48
Suma	0.23	0.52	0.25	1.00

Esta cruza de variables se sometió a una prueba de Chi cuadrada, pero se aceptó la hipótesis nula. Otra conjetura planteada fue: entre mayor participación tengan los ingresos obtenidos por la venta del trigo en sufragar los gastos familiares, habrá mayor probabilidad de que el productor siembre variedades resistentes, los resultados fueron los siguientes.

Tabla de VD01

¿Qué porcentaje cubre lo que gana por la venta de trigo?

VD01(VD01)	Preg8(Preg8) 1 <50%	2 >50%	3 100%	Total
0 No usan	60	1	0	61
	45.45	0.76	0.00	46.21
	98.36	1.64	0.00	
	53.57	7.69	0.00	
1 Si usan	52	12	7	71
	39.39	9.09	5.30	53.79
	73.24	16.90	9.86	
	46.43	92.31	100.00	
Total	112	13	7	132
	84.85	9.85	5.30	100.00

Estadístico	DF	Valor	Prob
Chi-cuadrado	2	16.2146	0.0003
Chi-cuadrado de ratio de verosimilitud	2	20.4886	<.0001
Chi-cuadrado Mantel-Haenszel	1	14.8246	0.0001
Coeficiente Phi		0.3505	
Coeficiente de contingencia		0.3308	
V de Cramer		0.3505	

WARNING: 33% de las celdas tienen una cantidad menor que 5. Puede que chi-cuadrado no sea un test válido.

Con las reservas por la advertencia de que puede no ser válida la prueba, se puede plantear que el 98% de los productores que usan variables susceptibles, cubren menos del 50% de sus gastos familiares con los ingresos obtenidos por la venta de trigo. Es importante advertir que el análisis a esta pregunta, se basa en las percepciones de los productores y no en un análisis cuantitativo entre sus ingresos y gastos familiares.

Los resultados de la regresión logística que mejor se ajustó fueron los siguientes:

Información de ajuste de los modelos

	Criterios de ajuste de modelo	Pruebas de la razón de verosimilitud		
Modelo	Logaritmo de la verosimilitud -2	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo intersección	223.118			
Final	178.334	44.784	10	.000

Bondad de ajuste

	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	262.242	222	.033
Desvianza	176.947	222	.988

Pseudo R cuadrado

Cox y Snell	.316
Nagelkerke	.371
McFadden	.199

Pruebas de la razón de verosimilitud

Efecto	Criterios de ajuste de modelo Logaritmo de la verosimilitud -2 de modelo reducido	Pruebas de la razón de verosimilitud Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	183.092	4.758	2	.093
Superficie sembrada promedio	**194.940**	**16.607**	**2**	**.000**
Destino	181.561	3.227	2	.199
No. Años que sembró trigo en el periodo de estudio	**189.355**	**11.021**	**2**	**.004**
Años de estudios	179.277	.943	2	.624
Años de ser productor de trigo	181.101	2.767	2	.251

Estimaciones de parámetro

								95% de intervalo de confianza para Exp(B)	
	VD4[a]	B	Error estándar	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Límite inferior	Límite superior
2	Intersección	-4.327	2.201	3.867	1	.049			
	Superficie sembrada promedio	**.059**	**.021**	**7.936**	**1**	**.005**	**1.061**	**1.018**	**1.105**
	Destino	-.713	.407	3.070	1	.080	.490	.221	1.088
	No. Años que sembró trigo en el periodo de estudio	**1.114**	**.439**	**6.431**	**1**	**.011**	**3.046**	**1.288**	**7.205**
	Años de estudios	.084	.088	.908	1	.341	1.088	.915	1.292
	Años de ser productor de trigo	.017	.017	.921	1	.337	1.017	.983	1.052
3	Intersección	-1.747	2.577	.459	1	.498			
	Superficie sembrada promedio	**.077**	**.024**	**10.421**	**1**	**.001**	**1.080**	**1.031**	**1.132**
	Destino	-.518	.671	.596	1	.440	.596	.160	2.218
	No. Años que sembró trigo en el periodo de estudio	.122	.392	.096	1	.756	1.130	.523	2.438
	Años de estudios	.033	.123	.074	1	.786	1.034	.812	1.317
	Años de ser productor de trigo	-.028	.032	.761	1	.383	.973	.914	1.035

Socioeconomía, validación y transferencia de Tecnología

a. La categoría de referencia es: 1=Susceptible

Clasificación

	Pronosticado			
Observado	1	2	3	Porcentaje correcto
1	43	8	1	82.7%
2	13	41	0	75.9%
3	2	10	0	0.0%
Porcentaje global	49.2%	50.0%	0.8%	71.2%

De acuerdo con el contraste de la razón de verosimilitud chi-cuadrado= 44.78 [0.000], indica que el modelo de regresión multinomial es significativo ya que p=0.0000 es menor α=0.05 por lo que cumple para trabajar con el modelo. El número de casos 'correctamente predichos' = 84 predice el 71.2%. Las variables de peso en el modelo son: superficie sembrada y número de años que el productor sembró trigo durante el periodo de estudio.

Interpretación de los parámetros

Características en numerador de Prob [Y = 2]. Se destaca la relación entre el uso de ambas variedades vs susceptibles. Por cada unidad que aumenta la superficie sembrada tiende a aumentar la probabilidad de utilizar ambas variedades con respecto a las susceptibles. La probabilidad de sembrar ambas variedades con respecto a usar las susceptibles, disminuye dependiendo del destino de la producción. La probabilidad de sembrar ambas variedades con respecto a sembrar susceptibles aumenta si el productor sembró trigo en los últimos cuatro años durante el periodo de análisis. El nivel de estudio de los productores de trigo aumenta la probabilidad de usar ambas variedades con respecto a usar variedades susceptibles. La experiencia del productor de trigo aumenta la probabilidad de sembrar ambas variedades con respecto de sembrar variedades susceptibles.

Para Características en numerador de Prob [Y = 3]. En este caso se destaca la relación de variedades resistentes vs susceptibles. Por cada unidad que aumenta la superficie sembrada, tienden aumentar en la probabilidad de utilizar variedades resistentes con respecto a las susceptibles. La probabilidad de sembrar variedades resistentes con respecto a las susceptibles, disminuye dependiendo el destino de la producción. La posibilidad de sembrar variedades resistentes con respecto a sembrar susceptibles aumenta si el productor sembró trigo en los últimos 4 años durante el periodo de análisis. El nivel de estudio de los productores de trigo aumenta la probabilidad de usar variedades resistentes con respecto a usar

susceptibles. La experiencia del productor de trigo disminuye la probabilidad de sembrar variedades resistentes con respecto de sembrar semillas susceptibles.

De los resultados obtenidos llamó la atención que la variable, años de experiencia como productor de trigo, explica la decisión de sembrar variedades tanto resistentes como susceptibles, sin que se presentara una mayor probabilidad por el uso de las resistentes como única opción.

Conclusiones

Los trabajos de extensionismo realizados por el proyecto de trigo de temporal del CEVAMEX, han tenido resultados positivos, sus variedades las han adoptado desde varios años atrás todos los productores que participaron en la muestra. No obstante, esta adopción no ha sido adecuada, ya que continúan sembrando variedades que perdieron su resistencia a la roya amarilla. El problema de sembrarlas se centra en que, si no se detecta a tiempo la enfermedad, el productor tiene que hacer una mayor inversión y, por lo tanto, el riesgo de la misma incrementa, lo que no es aconsejable, menos aún, en superficies de temporal. Este hecho, dicho por los productores, ha influido en su decisión de cambiar de cultivo por otro más seguro, es el caso de triticale en el Estado de México y de cebada en el estado de Tlaxcala.

De acuerdo a una evaluación hecha por los propios productores a cada una de las variedades, hubo el reconocimiento e identificación de que algunas se enferman más que otras, aún y con ello, continúan sembrando en su mayoría, las de menor resistencia. Este hecho no se explicó por la falta de semillas de las variedades resistentes en el mercado, ya que el 84.9% de los productores, declaró que no tiene problemas para comprarlas. La cantidad de superficie que siembran y el número de años que sembraron trigo durante el periodo de estudio, incrementaron la probabilidad de sembrar variedades resistentes. Sin embargo, aunque el 79% de los productores sembraron más de 5 hectáreas, la moda fue de 20, lo que puede probablemente explicar, la mayor presencia de variedades susceptibles.

En tanto que estos resultados se desprenden de un estudio exploratorio, éstos deben ser considerados como propuestas para guiar próximas investigaciones. Aún y cuando los productores declararon no tener problemas para comprar las semillas, se propone estudiar el

mercado de semillas que considere aspectos como, precio según su categoría y variedad, oferta y demanda por variedad. Número de productores de semilla, ubicación, problemas en la reproducción de semillas, entre otros aspectos. Así mismo, el mercado donde venden el grano de trigo, características de la demanda, precio y ubicación de los puntos de compra.

Literatura Citada

Cámara de Diputados y CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. Distribución de granos básicos Lugar de adquisición o compra. Mayo 2020. 36 p. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/6Distribucio%CC%81n_granos_ba%CC%81sicos.pdf [Consultado el 15 de mayo de 2022].

FIRA. 2021. Programa Agroalimentario. Trigo 2021. 27 p. https://www.fira.gob.mx [Consultado el 1 de julio de 2022].

Hortelano S. R., R., H. E. Villaseñor M., E. Martínez C., M. F. Rodríguez G., E. Espitia R., y L. A. Mariscal A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.4 no.5 Texcoco jun./ago. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000500005 [Consultado el 15 de enero de 2022].

INEGI. 2019. Encuesta Nacional Agropecuaria 2019. México. 32 pp.

Villaseñor M., H. E., J. Huerta E., R. Hortelano S. R., E. Martínez C., E. Espitia R., E. Solis M., *et al*. 2018. Valles F2015: Nueva variedad de trigo para siembras de temporal en México. Rev. Mex. Cienc. Agríc vol.9 no.6 Texcoco ago./sep. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342018000601315 [Consultado el 11 de abril de 2021].

Yúnez N., A. y López L. J. 2021. La política Agrícola en México: evaluación a partir de una tipología de productores. Estudios sociológicos. Estud. sociol vol.39 no.116 Ciudad de México may./ago. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-64422021000200495&script=sci_arttext [Consultado el 11 de julio de 2022].

SAGARPA. 2017. Trigo grano cristalino y harinero mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030. México. 23 pp.

COSTOS DE PRODUCCIÓN EN TRES AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS DE LA SIERRA DE ZONGOLICA, VERACRUZ

Iván Jair González Valencia[1]*, Julio Díaz José[1], Rogelio Limón Rivera[2], Hilario García Martínez[2], Estefanía Quiahua Mazahua[2] y Gregorio Briones Ruiz[1]

Resumen

Se reconoce la importancia que tiene conservar los agroecosistemas cafetaleros debido a los beneficios ambientales que proporcionan. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones los productores toman decisiones buscando maximizar las utilidades para continuar en la actividad productiva. El objetivo de este trabajo fue estimar los costos y beneficios de cultivar café en la sierra de Zongolica. Se aplicó la metodología de paneles de productores en tres tipos de agroecosistemas cafetaleros para estimar costos operativos, ingresos y utilidades. Los resultados indican que en la etapa operativa la mano de obra puede ocupar hasta el 51.7%, el impacto de este rubro es tan relevante que puede representar aproximadamente 40% de los ingresos por la actividad cafetalera, si consideramos los ingresos totales en el cultivo de café este porcentaje seria el desembolsado en la cosecha, situándose delante de otros costos como herramientas y fertilizantes. En los agroecosistemas analizados existe una pérdida financiera; y solo dos de ellos (Choapa y Coapa Pinopa) son rentables. Esto nos muestra, por un lado, los altos costos asociados a la mano de obra contratada además de subutilización de los factores fijos de la producción, la renta de la tierra y gestión de la finca por parte del productor; y, por otro lado, las decisiones de comercializar el café en cereza, pergamino o verde y su relación directamente con los precios de mercado. Desde una perspectiva monetaria, podemos apreciar que la decisión por parte del productor en seguir con la actividad cafetalera, puede ir más allá de los aspectos financieros y económicos. Esto permite orientar acciones de política que permitan atender las fallas de mercado derivadas del precio de los bienes comerciables, ya sea insumos para la producción o venta de cosecha al mercado.

[1] Facultad de Ciencias Biológicas y agropecuarias – Universidad Veracruzana – Peñuela. *ivangonval11@gmail.com
[2] Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

Palabras clave: café, sistemas, paneles de costos

Introducción

En la región central montañosa de Veracruz, los agroecosistemas cafetaleros han contribuido a mitigar la pérdida de los servicios ambientales que provee el bosque mesófilo. Esto se debe en gran medida a que es un cultivo amigable con este ecosistema. Sin embargo, a pesar de los múltiples servicios que proporciona, la cafeticultura ha estado perdiendo importancia entre los productores (Ruelas *et al*., 2014). El bosque mesófilo, conocido también como bosque de niebla es el ecosistema predominante en la zona central montañosa de Veracruz tiene gran importancia ecológica por su alta biodiversidad y especies endémicas, pues incluye aproximadamente 2500 especies de plantas que crecen preferente o exclusivamente en este tipo de ecosistema (Williams, 2007).

Es importante resaltar que los ecosistemas se enfocan en aspectos físicos, ecológicos, biológicos y estéticos; en los agroecosistemas, los procesos productivos y sociales cobran relevancia por el rol que juega el humano como ente controlador del sistema en relación con la producción de alimentos, bienes y servicios que demanda la sociedad (Vilaboa, 2011). En la región de la Sierra de Zongolica los estudios de tipo ambiental han puesto de manifiesto la importancia de los árboles de sombra asociados al cafetal en la estabilidad de ese agroecosistema, así como su papel en la captura de carbono (Pineda *et al*., 2005) y como hábitat de una alta biodiversidad (Contreras, 2010).

El agroecosistema cafetalero que se practica en dicha región ha permitido por décadas la subsistencia campesina; es decir, la economía campesina ha logrado girar en torno a dicho cultivo. Las Unidades de Producción Rural (UPR) se han mantenido en gran medida debido al aporte de la diversidad vegetal, animal y cultural que se encuentra en estos sistemas productivos. Sin embargo, las unidades utilizan y conjugan estrategias para enfrentar los riesgos y disminuir su vulnerabilidad, esto asociado a una fuerte resiliencia y ocupación de la mano de obra familiar (Brown *et al*, 2006).

Durante los últimos años se han identificado diversos retos que enfrenta el productor para continuar en la actividad cafetalera, aspectos como el incremento en el precio de los insumos,

escasez de mano de obra, presencia de plagas y enfermedades, así como una variación de los precios en el mercado que genera incertidumbre. Lo anterior lleva a algunos productores a abandonar la actividad, mientras que otros resisten a las crisis bajo condiciones poco prometedoras para el futuro. Si bien el productor de café decide continuar con la actividad debido a razones culturales, de experiencia y de un modelo productivo que ha realizado por varias décadas, es importante reconocer que también busca maximizar las utilidades, y que muchas de esas decisiones se toman con base en razones financieras. Por ello que resulta de suma importancia conocer los costos de producción de los agroecosistemas cafetaleros establecidos en la región, identificar ingresos y costos, pues además de ser indicadores para la toma de decisiones para el productor, también permiten dar seguimiento a la evolución de la actividad por parte de los tomadores de decisiones.

A pesar del gran interés por el café, los diversos beneficios de estos sistemas agroforestales no se han investigado lo suficiente. Como contribución a la valoración interdisciplinaria del café, este trabajo aborda una tipología general de agroecosistemas cafetaleros presentes en la Sierra de Zongolica y estima los costos de producción.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la zona de las altas montañas del estado de Veracruz, región de la Sierra de Zongolica que comprende una porción de la Sierra Madre Oriental; geográficamente se encuentran entre los paralelos 18° 39′ 51″ de latitud Norte; y entre los meridianos 97° 00′ 04″ de longitud Oeste; con una altitud entre los 400 y 1840 m (SEDESOL, 2019). Como se muestra en la Figura 1, contemplando los municipios de Zongolica, Tequila y Los Reyes con las localidades de Coapa Pinopa, Choapa y Atlanca respectivamente.

Para la tipología de los agroecosistemas cafetaleros fue necesario obtener información biofísica dentro de los mismos territorios, esto demandó una interacción directa con los productores de la zona, con el cuidado de no convertir al productor en una simple fuente de información, sino mantener una relación de participación e interés por parte de los productores.

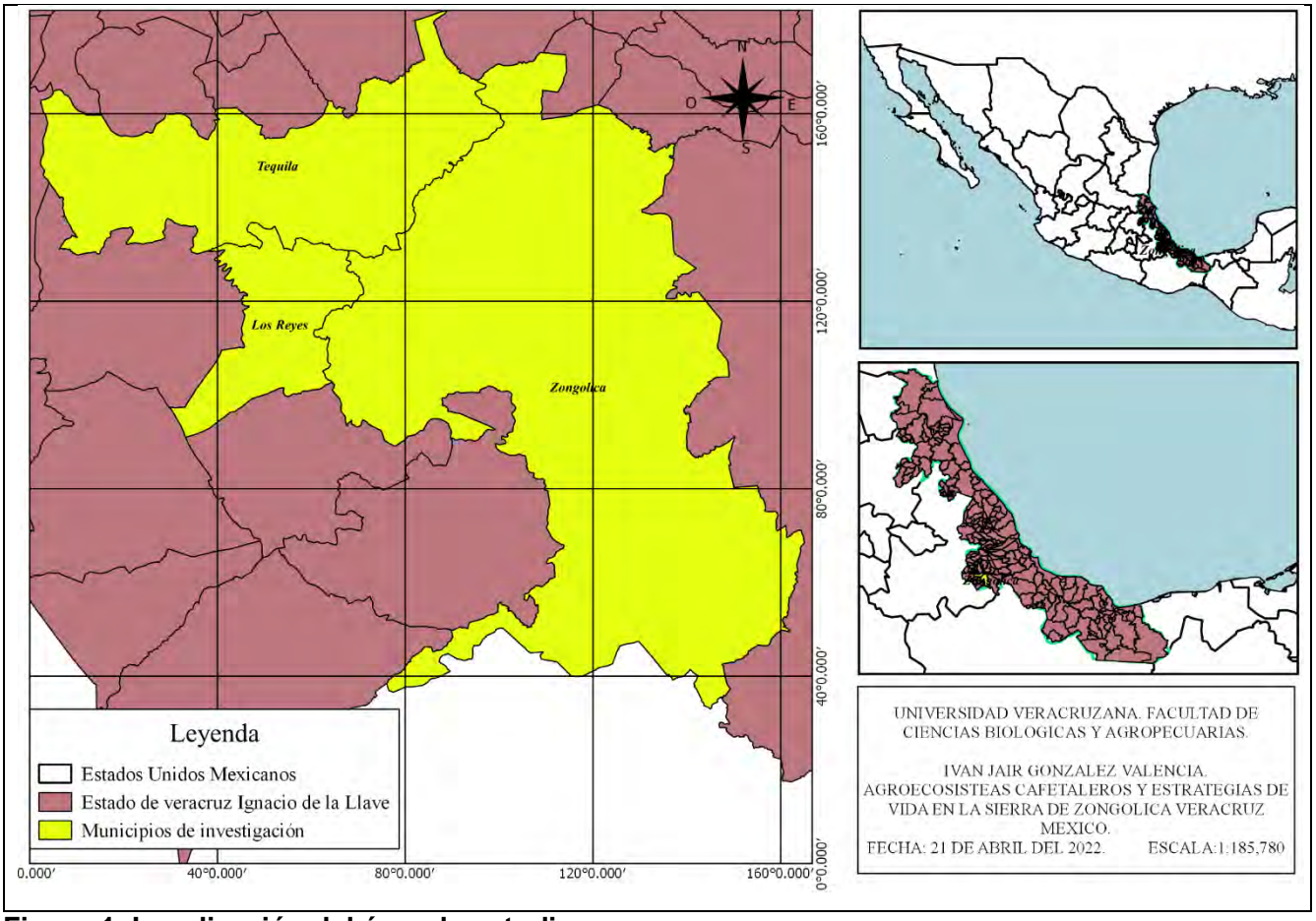


Figura 1. Localización del área de estudio.

Para caracterizar a los agroecosistemas cafetaleros de la región se aplicó un cuestionario utilizando la herramienta "KoboCollect" de CONABIO, que permitió recolectar información de la estructura vegetal asociada a los cafetales, y estos resultados se combinaron con la clasificación de Toledo y Moguel (2012) para determinar los tipos de cafetal.

Para estimar los costos de producción de los agroecosistemas cafetaleros, se realizaron tres paneles, que consisten en talleres con productores expertos con los que se va construyendo la unidad representativa de café. El desarrollo y análisis de los paneles para definir los costos de producción es un instrumento de colecta de información que contiene métricas predefinidas en actividades de producción, esta metodología fue adaptada para México por (Sagarnaga et.al., 2018). La ventaja que tiene este método, es que a través de un enfoque mixto se llega al consenso de prácticas agronómicas, costos de producción y beneficios que generan las unidades de producción agropecuarias.

En los paneles se recabó información sobre el agroecosistema cafetalero, como la fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades, uso de mano de obra, infraestructura, maquinaria y equipo requerido, costos de operación y financieros, precio de insumos. Para estimar ingresos se recolectó información sobre precios y rendimientos del producto principal, es decir, el café, productos secundarios y de desecho, autoconsumo y apoyos gubernamentales.

La información se integró a una base de datos en Excel® versión 2015. A partir de los parámetros técnicos y económicos se estimaron los costos de operación, mismos que se presentan en desembolsados (los gastos en efectivo que realiza el productor), financieros (incluyen las depreciaciones) y económicos (incluye los costos de oportunidad). Además, se realizó una estimación del beneficio – costo.

Resultados y Discusión

En la región de Zongolica Veracruz, existe un estimado de 8,900 hectáreas cultivadas del cultivo de café con un estimado de 7,400 cafeticultores, ocupando así el séptimo lugar en la superficie cultivada del estado de Veracruz. Además, se presentan condiciones agroclimáticas que resultan ser adecuadas para la producción de un café de alta calidad, en conjunto con un cúmulo de saberes tradicionales y experiencias locales, resultando de gran importancia económica ya que ha contribuido a la generación de ingresos para las familias campesinas (Xochiquisquisqui, 2019).

En la región se tienen distintas condiciones agroclimáticas, edafológicas, altitudinales y de relieve, lo que hace posible la producción de café; estos se distinguen por el nivel de manejo, la estructura vegetativa y el grado de tecnología, además de experiencias y conocimientos que se han desarrollado desde la introducción de este cultivo en la región.

Con los datos de campo recabados con la herramienta “KoboCollect” CONABIO y la implementación de los criterios de Toledo y Moguel (2012) se pudieron determinar los tipos de sistemas que se encuentran en la zona de estudio (Figura 1). Para ello se consideraron las variables de estructura de vegetación, prácticas de manejo de cafetal, manejo de sombra, uso de agroquímicos, rendimiento y variedades de café.

Los estudios que se han realizado en el aspecto ambiental hacen notar la importancia de los árboles de sombra asociados al cafetal en la estabilidad de ese agroecosistema, así como su papel en la captura de carbono (Pineda *et al*., 2005) y como hábitat de una alta biodiversidad (Contreras, 2010). La sombra de los cafetales, compuesta en su mayoría por otros árboles y arbustos contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, reduciendo la erosión y aportando una buena cantidad de materia orgánica producida por la hojarasca.

Existen estudios en la zona montañosa del centro de Veracruz (Del Ángel *et al*., 2006;) que señalan el gran impacto ambiental asociado al cambio del cultivo de café bajo sombra por monocultivos comerciales, sobre todo huertos frutales. Dichos autores destacan la gran influencia que ejerce la percepción sociocultural y económica de los productores en la decisión de realizar tales cambios de sistema productivo, sin embargo, los agroecosistemas se mantienen girando en torno al cultivo de café (Figura 2).

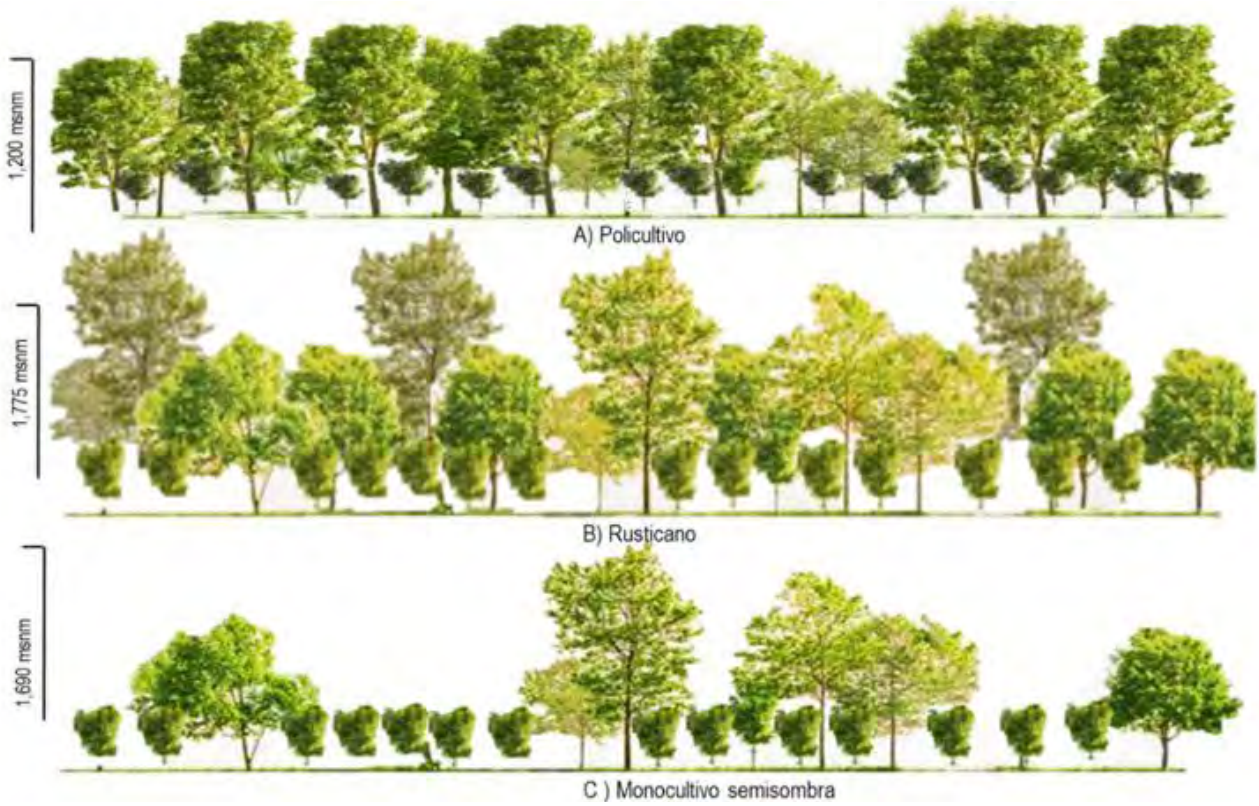


Figura 2. Agroecosistemas presentes en la región.

Agroecosistemas:

A) Especies útiles además del beneficio de sombra, como frutales, maderables y no maderables, así como especies de hierbas comestibles, dando como resultado un exuberante cafetal. Existe un alto manejo por parte del productor en este sistema.
B) Los arbustos de café son introducidos al sotobosque sustituyendo o complementando otros arbustos o herbáceas. La intervención del productor resulta ser mínima en el sistema.
C) La diversidad de sombra ha disminuido, ahora solamente utilizan *vainillos* (*Inga vera*) en un porcentaje muy bajo, además de algunas especies que crecen como quelites, pero la diversidad es muy baja en los nuevos cafetales.

Costos de producción

En los agroecosistemas cafetaleros el producto principal tiene un precio de mercado internacional y se cultiva con fines comerciales, sin embargo, en la región de estudio esta actividad se realiza bajo sistemas y prácticas tradicionales.

En el Cuadro 1 se presentan los costos de producción de las unidades representativas de producción para una hectárea de Café. Bajo el enfoque desembolsado (flujo de efectivo), es importante mencionar que no se consideraron los enfoques financieros (incluyendo las depreciaciones) y económico (considerando el costo de oportunidad). Considerando que los costos desembolsados son lo más representativo en la operación de los agroecosistemas.

En relación con los costos de operación, la mano de obra contratada es el rubro principal ya que puede llegar a ocupar hasta el 51.7% en la etapa operativa, ahora bien, de acuerdo a información recabada en la zona el precio del jornal para la cosecha es variable de acuerdo con la temporada, pues este no se paga por día sino por kilogramo de café cereza cortado; el rango que mantiene es de $3.00 a $5.00 por kilogramo. Un cortador de café promedio puede colectar entre los 30 a 90 kilogramos de café cereza en un solo día, los cortadores experimentados incluso alcanzan a recolectar hasta aproximadamente 120 kilogramos.

Cuadro 1. Costos de producción, agroecosistemas cafetaleros.

	Choapa			Coapa Pinopa			Atlanca		
Costo	Desembolsado	Financiero	Económico	Desembolsado	Financiero	Económico	Desembolsado	Financiero	Económico
Insumos	$5,520.00	$5,520.00	$5,520.00	$2,240.00	$2,240.00	$2,240.00	$5,505.00	$5,505.00	$5,505.00
Mano de obra	$13,050.00	$13,050.00	$13,050.00	$16,000.00	$16,000.00	$16,000.00	$10,600.00	$10,600.00	$10,600.00
Energía eléctrica	$250.00	$250.00	$250.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00
Mantenimiento construcciones e instalaciones	$150.00	$150.00	$150.00	$100.00	$100.00	$100.00	$0.00	$0.00	$0.00
Mantenimiento maquinaria y equipo	$500.00	$500.00	$500.00	$50.00	$50.00	$50.00	$800.00	$800.00	$800.00
Herramientas	$744.00	$744.00	$744.00	$1,445.00	$1,445.00	$1,445.00	$1,230.00	$1,230.00	$1,230.00
Comercialización	$1,500.00	$1,500.00	$1,500.00	$720.00	$720.00	$720.00	$3,450.00	$3,450.00	$3,450.00
Transformación	$4,272.05	$4,272.05	$4,272.05	$10,404.45	$10,404.45	$10,404.45	$1,132.00	$1,132.00	$1,132.00
Subtotal costos de operación	$25,986.05	$25,986.05	$25,986.05	$30,959.45	$30,959.45	$30,959.45	$22,717.00	$22,717.00	$22,717.00
Depreciación construcciones e instalaciones	$0.00	$22,296.39	$22,296.39	$0.00	$36,636.27	$36,636.27	$0.00	$13,729.96	$13,729.96
Conservación Obras Extraordinarias	$1,500.00	$1,500.00	$1,500.00	$645.33	$645.33	$645.33	$650.00	$650.00	$650.00
Subtotal costos generales	$1,500.00	$23,796.39	$23,796.39	$645.33	$37,281.60	$37,281.60	$650.00	$14,379.96	$14,379.96
Tierra (renta)	$0.00	$0.00	$3,000.00	$0.00	$0.00	$4,000.00	$0.00	$0.00	$4,000.00
Capital invertido en la unidad de producción	$0.00	$0.00	$5,388.81	$0.00	$0.00	$7,090.01	$0.00	$0.00	$3,283.18
Costo oportunidad mano de obra del productor/familiar	$0.00	$0.00	$75.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$0.00	$2,150.00
Subtotal costos de oportunidad	$0.00	$0.00	$12,963.81	$0.00	$0.00	$18,890.01	$0.00	$0.00	$12,433.18
Ingreso total	$45,148.97	$45,148.97	$45,798.97	$80,977.08	$80,977.08	$89,737.08	$13,950.00	$13,950.00	$23,610.00
Costo total	$27,486.05	$49,782.44	$62,746.25	$59,158.12	$95,794.38	$133,338.40	$23,367.00	$37,096.96	$49,530.15

El impacto que tiene la mano de obra en los agroecosistemas cafetaleros es tan relevante que pudiera llegar a representar cerca del 40% de los ingresos por esta la actividad, si consideramos los ingresos totales en el cultivo de café este porcentaje seria el desembolsado en la cosecha, los productores consideran que el mayor beneficio de esta actividad es el cortador, al no invertir en la unidad productiva, por otro lado, se refleja la importancia que tiene esta actividad para la generación de empleos en la región, pues los cortadores no son exclusivamente hombres sino familias completas considerando mujeres, jóvenes y niños.

Otro punto importante de los costos operativos gira en torno a las herramientas manuales con duración menor a un año, regularmente la cantidad de limpias que requiere el cafetal es

constante y es necesario el uso de estas herramientas, además de otros insumos como fertilizantes.

En relación con los costos de transformación, los productores comercializan el café con diferente valor agregado, desde cereza, pergamino y verde. La principal influencia para decidir cómo vender el café es el comportamiento del precio en el mercado regional, es decir, cuando el precio del café es alto resulta ser una buena oportunidad para el productor de vender prácticamente toda su producción en cereza y aprovechar la oportunidad momentánea; caso contrario, si los precios se mantienen bajos, es momento de aplicar el beneficio húmedo para entonces comercializar el café como pergamino o verde. Esta situación determina los costos debido a la mano de obra que se pudiera invertir o no en los procesos de beneficiado húmedo y secado.

En cuanto a los costos generales los activos con los que se cuentan en la unidad productiva y los gastos de mantenimiento impactan directamente en la depreciación y la conservación de los mismos. Considerando que en la unidad de producción se cuenta con un mayor equipamiento e infraestructura, los costos de reposición de estos activos representan una mayor carga financiera para el productor debido a su desgaste. El impacto que pudiera tener una capitalización de las unidades de producción de manera individual puede ser amortiguada en casos donde exista trabajo colectivo, principalmente en el proceso de trasformación de café en cuanto a la adquisición de infraestructura y mantenimiento de esta.

Finalmente, en relación con los costos de oportunidad, manteniendo un enfoque de costos desembolsados, resultan inertes, mientras que si se consideran los costos económicos el agroecosistema con mayor valor agregado este costo sería más elevado, es decir para Coapa Pinopa, en contraste con el agroecosistema de Atlanca con bajos rendimientos y su comercialización se realiza mayormente en cereza por los bajos costos de transformación o de mantenimiento.

En cuanto al beneficio costo de los agroecosistemas cafetaleros se presenta de manera simplificada en el Cuadro 2, relacionando con los tres posibles escenarios:

Cuadro 2 Utilidad de la URP del agroecosistema café.

Concepto	Choapa	Coapa Pinopa	Atlanca
Ingreso total	$45,148.97	$80,977.08	$13,950.00
Costo total	$27,486.05	$59,158.12	$23,367.00
Utilidad neta por URP (1 ha)	$17,662.92	$11,038.97	-$9,417.00
Relación beneficio costo (B/C)	1.66	1.35	0.59

B/C > 1, se recuperan los costos y existe un margen de ganancia.

B/C = 1, solo se recuperan costos, no existe un margen de ganancia.

B/C < 1, hay perdidas, no existe margen de ganancias o de costos.

En la relación beneficio-costo los agroecosistemas cafetaleros de Choapa y Coapa Pinopa por cada peso que invierten se obtienen ganancias en términos de flujo de efectivo, con el margen mayor (1.66). y el menor (1.35) dando resultados positivos para los dos agroecosistemas al presentar un B/C > a 1, es decir además de recuperar los costos también existe un margen de ganancia, mientras que Atlanca presenta un B/C < a 1 es decir, no existe una ganancia o recuperación de costos.

Conclusiones

En todos los sistemas analizados existe una pérdida financiera y económica; y solo dos de ellos (Choapa y Coapa Pinopa) son rentables en el escenario de costos desembolsados (flujo de efectivo). Esto indica, por un lado, altos costos asociados a la mano de obra contratada, una subutilización de los factores fijos de la producción, la renta de la tierra y gestión de la finca por parte del productor; y, por otro lado, las decisiones de comercializar el café en cereza, pergamino o verde y su relación con los precios de mercado. Con la estimación de costos de los agroecosistemas cafetaleros desde una perspectiva monetaria, podemos apreciar que la decisión por parte del productor en seguir con la actividad cafetalera, puede ir más allá de los aspectos financieros y económicos, existe un reconocimiento que en la mayoría de los casos el productor presenta pérdidas, sin embargo, también existen algunos factores que impulsan al productor a continuar en esta actividad; la vocación productiva regional históricamente se

enfoca en este producto, además las alternativas de ocupación para los productores en la región son escazas sobre todo con los adultos mayores, por último, el agroecosistema cafetalero es considerado por los productores como una fuente de beneficios además del producto principal, los beneficios indirectos de los alimentos y otros recursos como la leña, son bien aprovechados por las familias cafetaleras en la región.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó como parte del proyecto “Estimación de costos y beneficios en dos agroecosistemas tradicionales de la sierra de Zongolica, Veracruz” con número: FB1877/SG007/21 financiado por la CONABIO y el Global Environment Facility (GEF), con la participación de la FAO como instancia implementadora.

Literatura Citada

Brown, D. R., E. C. Stephens, J. O. Ouma, F. M Murithi y C. B. Barrett. 2006. Livelihood strategies in the rural Kenyan highlands. African Journal of Agricultural and Resource Economics, 01: 21–36.

Contreras, A. 2010. Los cafetales de Veracruz y su contribución a la sustentabilidad. Estudios Agrarios 45:143-161.

Del Ángel, P., B. Mendoza y M. Rebolledo. 2006. Población y ambiente en Coatepec, valor social de la cubierta vegetal. Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad 12(36):163-193.

Pineda, M.R., C. Ortiz y L. Sánchez. 2005. Los cafetales y su papel en la captura de carbono: un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz. Madera y Bosques 11(2):3-14.

Ruelas, M., C. Laura, Nava, T., Cervantes, M., Barradas, L. 2014. Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. Madera y Bosques, 20(3): 27-40.

Sagarnaga, V. L. M., J.M. Salas, G., J. Aguilar, A. 2018. Metodología para estimar costos, ingresos y viabilidad financiera en Unidades Representativas de Producción. Serie Metodologías y herramientas para la investigación V7, México: Universidad Autónoma Chapingo/CIESTAAM.

SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). 2001. Secretaría de Desarrollo Social. México. Toledo, V. M. y P. Moguel. 2012. Coffee and sustainability: the multiple values of traditional shaded coffee. Journal of Sustainable Agriculture, 36(3): 353-377.

Vilaboa, A. J. 2011. Agroecosistemas: una forma de entender la relación sociedad-naturaleza. Agroentorno, 131: 27-30.

Williams, G. 2007. El bosque de niebla del centro de Veracruz. Ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. Instituto de Ecología y Consejo Nacional de la Biodiversidad. México. 204 p.

Xochiquisquisqui, M. 2019. Estudio de variedades de café tolerantes a la roya (*Hemileia vastatrix*) en el municipio de Zongolica, Ver. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

PRODUCCIÓN DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Alma Velia Ayala Garay[1]*, Miguel González González[2] y Enrique González Pérez[3]

Resumen

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) es uno de los principales granos que se producen en el estado de Tlaxcala, por su rusticidad y ciclo de cultivo corto, ha sido una alternativa para los productores de este importante cereal en el país. En México se producen aproximadamente 964,704.98 t de cebada anualmente. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de renatbilidad de cebada en Calpulalpan, Tlaxcala, asi como proponer algunas recomendaciones para su producción. El tamaño de muestra fue de 90 productores de cebada y la aplicación encuestas fue de junio a septiembre de 2020, el criterio de selección de los individuos fueron su disposición a ser entrevistado, que hubiese cultivado cebada el ciclo pasado, y con la mayoría de edad. Se utilizó un muestreo no aleatorio dirigido. Como instrumento de captación de la información, se elaboró una encuesta para productores. Los productores que establecieron parcelas para el cultivo de cebada obtuvieron ganancias. La relación Beneficio/Costo obtenida fue de 1.30. De acuerdo a lo detectado en el trabajo de campo, se hicieron recomendaciones para la producción de cebada en Tlaxcala. Los datos muestran que es rentable su producción. Además, de ser un cultivo utilizado como materia prima por la producción de cerveza en México. Esta rentabilidad podría aumentar si se siguen las recomendaciones técnicas en el proceso de productivo, lo que, a su vez, incrementaría la productividad por hectárea.

Palabras clave: costos, rentabilidad, proceso productivo, recomendaciones técnicas

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. (ayala.alma@inifap.gob.mx).
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México.
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Bajío.

Introducción

El estado de Tlaxcala posee recursos y características naturales para la producción agrícola. La entidad se encuentra localizada en la región centro-oriental del país entre los 2,200 y a una altura de 4,400 m; el clima predominante es templado-subhúmedo con una precipitación media anual de 711 y una temperatura promedio de 16.5°C. La extensión territorial de la entidad es de 4,060 km^2, aproximadamente 0.2% del área total del país. (INIFAP, 2017; Damián *et al,* 2009). Es uno de los estados que mayor porcentaje de su superficie destina a la agricultura en México, el 76% del total de su territorio y, se caracteriza por ser la entidad más pequeña en extensión territorial del país (INEGI, 2017). El área agrícola del estado es de 223 745 ha, 88.2% de temporal y 11.8% de riego. Durante el año 2020, se sembraron alrededor de treinta y seis cultivos; sin embargo, cinco fueron son los más importantes: maíz, trigo, cebada, avena y frijol, los cuales cubrieron 96.1% del área cosechada y generaron 73.0% del total del valor de la producción agrícola. De los 60 municipios que tiene el estado, 26 municipios produjeron cebada (SIAP, 2022).

De acuerdo con datos del SIAP, para el 2019 se sembró en promedio 57,274.43 ha de cebada grano en esta entidad, obteniendo un rendimiento de 139,986 t, lo que aportó el 15% de la producción nacional, con un valor de 4 mil 720 pesos por t de grano obtenido. (SIAP, 2022). La mayor producción de cebada en el estado de Tlaxcala, está centrada entre las planicies de los municipios de Calpulalpan y Tlaxco y forman parte del Distrito de Desarrollo Rural 165 que corresponde a Calpulalpan, donde se siembra alrededor del 76% de la superficie total de cebada en la entidad. En México se producen aproximadamente 964,704.98 toneladas de cebada anualmente (SIAP, 2022). Del total de la producción nacional obtenida, alrededor del 80% se destina para la elaboración de malta y producción de cerveza. Por otro lado, las exportaciones mexicanas de cerveza también se han incrementado principalmente con destino a Estados Unidos, Australia y Reino Unido, entre otros, siendo México uno de los principales proveedores de cerveza en el mercado internacional pues representa 21.32% del valor de las exportaciones mundiales. (SAGARPA, 2017). La limitante principal para su comercialización para este sector es la calidad del grano, la cual es afectada por diversos factores tanto abióticos como bióticos. En el primer grupo destacan la sequía, heladas tempranas y exceso de lluvias como los principales problemas (González *et al*., 2013). Dentro de los factores bióticos la

incidencia de enfermedades son la de mayor efecto, principalmente las causadas por hongos; las variedades de dos hileras actualmente recomendadas son susceptibles a las enfermedades comunes y no adecuadas a la zona de producción, pues la totalidad de ellas han sido introducidas de Canadá, EEUU y Europa. Entre las enfermedades más comunes destacan las royas (roya de la hoja, roya amarilla) y enfermedades foliares (mancha en red y mancha borrosa o marrón) (Rodríguez *et al*., 2021) Para su control es necesario la aplicación de fungicidas, lo que incrementa el costo de producción, debido a que es necesario realizar varias aplicaciones para tener un control adecuado.

Adicionalmente, la producción de cebada maltera en condiciones de temporal, enfrenta retos que limitan su productividad entre ellas los factores asociados al sistema de producción (manejo del cultivo) y las condiciones establecidas por los consorcios cerveceros, quienes determinan el paquete tecnológico a utilizar, por lo que sembrar variedades o realizar actividades con productos no especificados en el convenio condiciona o cancela la venta del grano producido.

El aprovechamiento de la producción de este importante cereal en otros sectores, no solo en la entidad sino a nivel nacional es limitado. Una opción viable es destinarla para su aprovechamiento como forraje en el sector ganadero ya que, por sus características, posee un alto contenido energético y puede obtenerse forraje de calidad en menor tiempo comparado con otros cultivos.

La siembra de genotipos aristados o imberbes desarrollados para la zona y con resistencia a las enfermedades permitirá incrementar la producción de este cereal la cual se verá reflejado en mayores ingresos para los productores. De acuerdo con el SIAP (2021) el potencial de rendimiento promedio es de 24.88 t/ha; y en genotipos imberbes han sido reportados rendimientos superiores (González *et al*., 2020).

La productividad del cultivo de cebada bajo condiciones de temporal está condicionada por diversos factores algunas de ellas no están bajo el control del productor (disponibilidad de lluvias, presencia de heladas y granizadas, altas temperaturas) los cuales demeritan la calidad del grano cosechado. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de rentabilidad de cebada en Calpulalpan, Tlaxcala, asi como proponer algunas recomendaciones para su producción.

Materiales y Métodos

El estado de Tlaxcala se encuentra ubicado en la región centro-oriental sobre la Meseta de Anáhuac, entre los 2 200 y 4 400 m. Las coordenadas geográficas del estado de Tlaxcala son al Norte 19º 43' 44" y al Oeste 98º 42' 35". Limita al Norte, Oriente y Sur con Puebla, al Noroeste con Hidalgo y al Oeste con el Estado de México (INEGI, 2017). Cuenta con un clima templado-húmedo y una precipitación media anual de 711 milímetros; los suelos predominantes son los cambisoles que cubren el 75% del territorio, cuya extensión territorial es de 4 060 km^2.

La investigación se desarrolló en Calpulalpan (19º 35' 18" LN, 98º 34' 13" LO). Como instrumento de captación de la información, se elaboró una encuesta para productores. El tamaño de muestra fue de 90 productores y la aplicación de la encuesta fue durante junio a septiembre de 2020, el criterio de selección de los individuos fueron su disposición a ser entrevistado, que hubiese cultivado cebada el ciclo pasado, y con la mayoría de edad. Se utilizó un muestreo no aleatorio dirigido.

El instrumento de trabajo para productores contó con los siguientes apartados: características del productor, unidad de producción, manejo agronómico, proceso de producción y conocimiento de paquetes tecnológicos, productividad, costos de producción, comercialización, organización de productores, acceso a seguros y financiamiento, acceso a asesoría técnica, apoyos gubernamentales y problemática principal del cultivo. Además, se estimó la rentabilidad de los cultivos, y se obtuvo la relación B/C. También se hicieron entrevistas semiestructuradas para los informantes claves, conformados por investigadores de cebada grano del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Resultados y Discusión

Producción de cebada en el estado de Tlaxcala. Regionalmente el estado se encuentra dividido en tres Distritos de Desarrollo Rural (DDR): DDR164-Tlaxcala, DDR165-Calpulalpan y DDR166-Huamantla y se cuenta con 10 Centros de Apoyo para el Desarrollo Rural, ubicados en los municipios de Calpulalpan, Cuapiaxtla, Hueyotlipan, Huamantla, Ixtacuixtla de Mariano

Matamoros, Tepeyanco, Tetla de la Solidaridad, Tlaxcala y Tlaxco (INIFAP, 2017-agenda técnica Tlaxcala). La mayor producción de cebada en el estado de Tlaxcala, está centrada entre las planicies de los municipios de Calpulalpan y Tlaxco, que forman parte del Distrito de Desarrollo Rural 165 donde se siembra alrededor del 76% de la superficie total de cebada en la entidad.

Se localiza al noroeste de la entidad y ocupa un área de 1774.279 km^2, 43.7% del estado; abarca 11 municipios y su sede es Calpulalpan; de ellos, nueve municipios produjeron cebada (Atlangatepec, Apizaco, Calpulalpan, Muñoz de Domingo Arenas, Españita, Hueyotlipan, Sanctórum de Lázaro Cárdenas, Nanacamilpa de Mariano Arista, Tetla de La Solidaridad, Tlaxco y Benito Juárez). Durante el 2020 en este distrito se sembraron en promedio 12 cultivos casi todos de temporal, pues sólo cuenta con 1.4% del área de riego.

El distrito concentró 42.3% del área cosechada y generó 42.8% del valor total de la producción agrícola de la entidad. En esta área, se produjo el mayor volumen de cebada con el 81.47% que equivalen a 50 241.04 t producidas en 19 595 ha, los municipios de Calpulalpan, Tlaxco y Hueyotlipan destacan con mayor aportación en la producción de cebada no solo del DDR sino a nivel estatal (SIAP, 2022).

Caracteríticas de la producción de cebada en Calpulalpan, Tlaxcala. Los productores son ejidatarios con una edad promedio de 50 años, se caracterizan por tener superficies en promedio de 4.5 ha e incursionan en el nivel medio superior de educación. Además, existen productores que rentan en promedio 10 ha para siembra de este cultivo. De acuerdo con el INEGI (2007), en promedio un ejidatario posee una superficie de 5.04 ha en Tlaxcala. En un 95%, las actividades del cultivo son realizadas por personas del sexo masculino.

El productor que cultiva más de 50 ha de cebada, tiene mayor posibilidad de establecer agricultura de contrato con la maltera de forma directa, pero si tiene menos superficie, entonces realiza el compromiso de venta con el intermediario o acopiador, quien después vende a la maltera. Además, también siembran haba y maíz, alternando en los ciclos de producción agrícola. En el proceso de producción, los productores reciben recomendaciones por parte de los intermediarios o la maltera, en función de con quien establezcan contrato de compraventa.

Rentabilidad del cultivo. Durante el 2020, los productores que establecieron parcelas para el cultivo de cebada obtuvieron ganancias. En el Cuadro 1, se presentan los costos de producción y la utilidad obtenida por tonelada y por hectárea producida. De acuerdo con esta información,

la producción de cebada representa una alternativa de negocios por los niveles de rentabilidad que registra. La relación Beneficio/Costo obtenida fue de 1.30

Cuadro 1. Costos de producción de cebada grano en Tlaxcala, ciclo pv-2019.

Actividad	Cantidad ($)
Preparación del terreno ($)	4,900
Labores agrícolas con trilla ($)	3,143
Insumos ($)	6,069
Costo total por ha ($)	14,111
Rendimiento (t/ ha)	4
Precio por t ($)	4,613
Ingreso por ha ($)	18,452
Utilidad ha	4,340
Costo por t	3,528
Utilidad t	1,085
Relación Beneficio/Costo	1.30

Fuente: Elaboración propia con información de campo, durante octubre-diciembre 2020.

El 43% de los costos se destinó a los insumos requeridos para el proceso de producción, el 35% a preparacion del terreno y el 22% a labores de cultivo. Por información de campo se conoce que los productores que producen para las malteras regionales, firman una carta compromiso, en la que se estipula seguir el paquete tecnológico que se les indique, ya que, si no lo hacen, entonces su cosecha es castigada en el precio de compra por tonelada, o en su defecto no es comprada en su totalidad. La cebada representa una alternativa de negocios en los Valles Altos de la Mesa Central de México por los niveles de rentabilidad que registra, que son desde 27% al considerar los costos totales, y mayor de 60% con costos directos.

Entorno de la cebada grano. Los productores de cebada coinciden en que uno de los problemas que enfrentan, es la comercialización del grano, ya que solo los productores que tienen más de 100 ha (denominados grandes productores por la empresa maltera), son los que pueden acceder a negociar directamente. Para el caso de Calpulalpan es la compañía de Grupo Modelo (Cebadas y Maltas Calpulalpan), la principal comercializadora, mientras que otro sector de productores traslada su grano a Grajales Puebla con Grupo Heineken. Los pequeños y medianos productores que siembran de 2 a 50 ha de cebada, y que tienen cupón

con la empresa sea Modelo o Heineken pueden venderle su producción. Los que no cuentan con cupón, venden su producción al intermediario o coyote, quienes castigan el precio por falta de limpieza, porcentaje de humedad y el peso hectolitrico. Los productores de cebada grano, coinciden que la falta de agua en etapas críticas de la cebada les perjudica en desarrollo del cultivo y por consecuencia en los rendimientos que obtiene; por lo que necesitan conocer técnicas de captación de agua de lluvia, y de conservación de humedad en el suelo. Respecto a la forma de cultivar la cebada, el paquete tecnológico está disponible para el productor ya que es proporcionado al momento de establecer la agricultura por contrato con la maltera o intermediario local o regional. Destaca que los productores de cebada son los que cuentan con mayor nivel de escolaridad, siendo educación media superior trunca, lo que facilita la aplicación en tiempo y forma de los insumos, favoreciendo el desarrollo del cultivo de cebada maltera y obteniendo la calidad requerida para la industria cervecera.

Ambientes de producción. En los Valles Altos del Centro de México, se presentan condiciones adecuadas para la producción de cebada maltera, la cual se realiza durante el ciclo Primavera-Verano bajo condiciones de temporal. El 70% de la superficie establecida bajo esta modalidad se siembra en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Estado de México.

Para el estado de Tlaxcala, este cultivo es una excelente alternativa de producción. Siendo los municipios de Calpulalpan, Tlaxco, Hueyotlipan y Terrenate las principales localidades donde se cultiva este importante cereal. Las condiciones medio ambientales de las principales áreas productoras de cebada en la entidad, son consideradas en su mayoría como ambientes de buena y mediana productividad.

Las características de los ambientes de producción delimitadas por el INIFAP (2017) son:

- Muy buena Productividad: Se caracteriza por presentar precipitaciones superiores a 450 mm de lluvia con buena distribución. Los suelos son profundos mayores a 1 m y buena retención de humedad. La humedad relativa es superior al 60%.
- Buena productividad: precipitaciones de hasta 500 mm y suelos profundos (mayores a 0.6 m) y con buena retención de humedad. la estación de crecimiento supera los 120 días.
- Mediana productividad: Precipitaciones de 450 a 500 mm de lluvia y suelos delgados con regular retención de humedad y heladas tempranas.

- Baja productividad: estos ambientes se caracterizan por tener precipitaciones menores a los 450 mm y mala distribución de lluvias. Los suelos predominantes son suelos delgados con pendientes de 4-6% y baja retención de humedad. El ciclo de cultivo es corto (menor a 100 días) debido a los problemas de sequía y presencia de heladas.

Recomendaciones para el cultivo de cebada. La productividad del cultivo de cebada bajo condiciones de temporal está condicionada por diversos factores algunas de ellas no están bajo el control del productor (disponibilidad de lluvias, presencia de heladas y granizadas, altas temperaturas) los cuales demeritan la calidad del grano cosechado. Sin embargo, existen factores que están bajo el control del productor por lo que la adecuada implementación en el control de cada una de ellas permitirá obtener un excelente rendimiento con las características de calidad requeridas para su comercialización.

Preparación del terreno. Antes de realizar la siembra es recomendable realizar un barbecho y dos cruces de rastra para dejar mullido y en condiciones óptimas el terreno. Se deben evitar terrones en el suelo debido a que dificultan y/o evitan la emergencia de plantas.

Variedades

La adecuada elección de variedades de cebada determinará el éxito del cultivo. Variedades no adaptadas a la región o muy susceptibles a las enfermedades elevarán los costos de producción. La variedad de cebada maltera recomendada para las zonas de producción en el estado de Tlaxcala es Esmeralda (Zamora *et al*., 2014). Además, para la producción de grano con fines forrajeros, se puede utilizar la variedad Maravilla (siguiendo para ello las mismas recomendaciones aquí indicadas.

Densidad de siembra del cultivo

Se recomienda utilizar 100 – 120 kg de semilla certificada por hectárea. La siembra de preferencia se realiza de forma mecánica auxiliándose para ello de una sembradora de cereales de grano pequeño (tapadora); si no se cuenta con sembradora, realizarla al voleo de forma manual utilizando 120 kg de semilla. En siembras en camas de dos y tres hileras se sugiere realizarla a una densidad de 70 y 80 kg de semilla ha. La semilla utilizada debe tener un mínimo de 85% de germinación (Zamora *et al*., 2014; Rojas *et al*., 2013).

Fecha de siembra

La siembra está en función del establecimiento del periodo de lluvias. Las fechas de siembra más apropiadas se recomiendan del 1 al 30 de junio o al inicio de las temporadas de lluvias, lo que asegurara una germinación y emergencia de plantas adecuada (INIFAP, 2017).

Labores de cultivo

En la mayoría de las siembras de cebada, no se realizan labores de cultivo, debido a que esta es al voleo o de forma convencional; sin embargo, en siembras en surcos, se recomienda realizar un cultivo (aporque) en la etapa de amacollamiento, lo que permitirá un mejor desarrollo del cultivo (Rojas *et al*., 2013). Las actividades de control de malezas, plagas insectiles y enfermedades se facilitan con este último sistema de siembra.

Fertilización

La fertilización se debe realizar con base al tipo de suelo y ambiente de productividad. Para ello es preferible realizar un análisis de suelo para conocer el nivel de fertilidad que se tiene. Se recomienda aplicar todo el fertilizante al momento de la siembra. Al igual que con la semilla, se puede aplicar la dosis recomendada con la sembradora o de forma manual al voleo. Las fuentes de fertilización pueden ser: Urea (46.-00-00), Sulfato de amonio (20.5-00-00), DAP (18-46-00), Cloruro de potasio (00-00-60). En el Cuadro 2, se presentan las dosis recomendadas para los dos ambientes de productividad más comunes en la entidad para el cultivo de cebada.

Cuadro 2. Dosis de fertilización recomendadas para el cultivo de cebada de acuerdo al ambiente de producción.

Ambiente	Fertilización		
	N	P	K
Buena productividad	60	40	30
Mediana productividad	40	40	30

Control de enfermedades

Las enfermedades son el principal problema en el cultivo de cebada, siendo las royas (roya de la hoja y roya lineal o amarilla) las de mayor importancia económica; junto con las enfermedades foliares (mancha en red, mancha borrosa, escaldadura y cenicilla) son las más comunes en el cultivo (Rodríguez *et al*, 2020a; Rodríguez *et al*., 2020b). Por ello es importante

conocer y diferenciar las principales enfermedades que afectan al cultivo, lo que permitirá un control eficaz y oportuno (Rodríguez *et al*., 2019a)

Para las variedades aquí recomendadas para el control de royas es necesario realizar una aplicación de fungicidas. Sin embargo, si se utilizan variedades susceptibles, se recomienda realizar varias aplicaciones de productos como Folicur (450 mL/ha), Azimut (700 mL/ha), entre otros disponibles comercialmente para el cultivo. Es necesario preparar la mezcla en 200 litros de agua y utilizar un surfactante penetrante como Break Thru a razón de 1 mL por cada litro de agua (Rodríguez *et al*., 2019b).

Control de plagas

Las plagas insectiles por lo general no son problema de importancia económica en el cultivo de cebada. Sin embargo, ocasionalmente pueden presentarse daños ocasionados principalmente por pulgones, gusano soldado, chapulines y gallina ciega. Para su control se recomienda:

- Gusano soldado (*Mythima unipuctata*): Neemix (0.24-.077 L/ha), Lanate (250 g/ha)
- Pulgones: Pirimor 250 gr/ha.
- Gallina ciega: Allectus 7% G (25 Kg /ha, mezclado con el fertilizante a la siembra).
- Chapulines: el chapulín de la milpa *Sphenarium purpuracens* está ampliamente distribuida en el estado y es la de mayor importancia debido a los daños que causa no solo al cultivo de cebada sino a diferentes cultivos básico, hortalizas, forrajes y frutales (SENASICA-DGSV, 2020), son muy difíciles de controlar en etapa adulta, sin embargo para las etapas de ninfa, existen en el mercado diferentes productos químicos que se pueden utilizar para su control, en su mayoría son muy tóxicos para el ser humano por lo que es preferible aplicar aquellos con moderada toxicidad. Entre los más viables se encuentran el Malatión y la Cipermetrina. La aplicación se recomienda cuando se observen 9 o más chapulines por m^2, utilizando la dosis especificada en el envase. El uso de bioinsecticidas a base de extracto de NIM (Neemix) es otra opción se recomienda aplicar 1 L/ha + 1 L de citrolina. Además, se puede optar por utilizar hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* var. *acridum*, recomendándose 25 g de esporas/ha en aplicaciones a ultra bajo volumen con excelentes resultados (Garza, 2005).

Control de malezas

La cebada debe estar libre de malezas durante todo el ciclo, para evitar que estas compitan con el cultivo. Para su control químico, se recomienda aplicar herbicidas postemergentes durante el amacollamiento (Zamora *et al*., 2014). Existen diversos productos en el mercado en función del tipo de maleza. Los recomendados son:

- Malezas de hoja ancha: Esteron (1.0 L/ha), Amber (10 g/ha), Peak (30 g/ha)
- Malezas de hoja angosta: Axial (1 L/ha)

La cantidad de agua está en función del equipo con que se disponga para su aplicación, si es de bajo volumen (20 a 100 L/ha) o volumen normal (200 a 300 L/ha). La eficiencia del herbicida para el control de las malezas dependerá de la correcta identificación de especies predominantes, la época y dosis de aplicación. Es necesario agregar un surfactante penetrante como Break Thru o Full Extensor a razón de 1 mL por cada litro de agua. Evitar aplicar herbicidas bajo condiciones de extrema sequía, vientos fuertes y temperaturas altas.

Cosecha

La cosecha por lo general se realiza de forma mecánica. Se debe cuidar que el grano este completamente lleno, sano y seco. Para ello, se recomienda cosechar el grano maduro con humedad de alrededor de 14%, para evitar pérdidas en el rendimiento. Antes de realizar la trilla es importante revisar la trilladora, ajustando el espacio del cilindro-concavo, asegurando que el grano sea removido de la espiga sin sufrir daño mecánico y evitar con ello grano pelado o quebrado. Lo adecuado es una velocidad de 600 a 800 rpm (Zamora *et al*., 2014).

Rendimiento

Potencial de rendimiento en Ambientes de Buena Productividad: >4.0 t/ha.

Potencial de rendimiento en Ambientes de Mediana Productividad: 3.0 t/ha

Conclusiones

El cultivo de cebada en Tlaxcala es de los principales para el estado, los datos muestran que es rentable su producción. Además, de ser un cultivo utilizado como materia prima por la producción de cerveza en México. Esta rentabilidad podría aumentar si se siguen las

recomendaciones técnicas en el proceso de productivo, lo que, a su vez, incrementaría la productividad por hectárea.

Literatura Citada

Damián, M., Ramírez, B., Parra, F., Paredes, J., Gil, A., López, J., *et al*. 2009. Estrategias de reproducción social de los productores de maíz de Tlaxcala. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional,* 17(34):112-146. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572009000200004

Damián, M., Ramírez, B., Parra, F., Paredes, J., Gil, A., López, J., *et al*. 2007. Tecnología agrícola y territorio: el caso de los productores de maíz de Tlaxcala, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 63. pp 36-55.

Garza U. E. 2005. El chapulín *Melanoplus* sp. y su manejo en la planicie Huasteca. Folleto Técnico No. 11. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Ébano. 15p.

González, G., Rodríguez, M., Solano, S., y Delfín, J. 2020. Comportamiento agronómico y potencial productivo en líneas de cebada forrajera. Resumen. VIII congreso Internacional y XXII Congreso nacional de Ciencias Agronómicas. UACh, Texcoco, Edo de México. pp 232-233.

González, G. M., Zamora, D.M., Huerta, Z. R. y Solano, H. S. 2013. Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. Rev. Mex. Cienc. Agric. 4(8):1237-1250.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Tlaxcala 2017. Aguascalientes, México. 580 p.

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2017. Agenda Técnica Agrícola Tlaxcala. 68 p.

Rodríguez G. M. F., M. González G., J. Huerta E. y S. Solano H. 2019b. Principales estrategias de control de las royas en cebada cultivada en la mesa central de México. Desplegable para productores No. 7. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX.

Rodríguez G. M. F., M. González G., J. Huerta E., S. Solano H. S. G. Leyva M. y H. E. Villaseñor M. 2019a. Enfermedades del cultivo de cebada producida en los Valles Altos de la Mesa Central de México. Desplegable Técnica No. 4. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX.

Rodríguez, G. M. F., M. González G., J. Huerta E., S. Solano H. y J. Delfín R. 2020a. Enfermedades foliares que afectan al cultivo de cebada. Desplegable para productores No. 4. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX.

Rodríguez-García MF, González-González M, Huerta-Espino J and Solano-Hernández S. 2021. Fungicides evaluation against yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) in six barley cultivars. Mexican Journal of Phytopathology 39(3): 414-434.

Rodríguez G. M. F., M. González G., J. Huerta E., S. Solano H. y J. Delfín R. 2020b. Las royas de la cebada en México. Desplegable para productores No. 5. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX.

Rojas M. I., Fernández S. R. y Zamora D. M. 2013. La cebada en camas con siembra de dos hileras en el Estado de México. Folleto técnico No. 52. INIFAP-CIRCE-CETLAX. 35 pp.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257069/Potencial-Cebada.pdf

SENASICA-DGSV, 2020. Chapulines de importancia económica en México en cultivo de frijol. *Brachystola magna*, *Brachystola mexicana*, *Melanoplus differentialis*, *Sphenarium purpurascens*, *Taeniopoda eques* y *Boopedon diabolicum* (Orthoptera: Romaleidae; Acrididae; Pyrgomorphidae). SADER-SENASICA. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 37 p.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/ (Marzo 2022).

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. 2021. Boletín Informativo de Producción de Semilla Calificada por el SNICS, Ciclos agrícolas OI 2020-2021 / PV 2021, Año 3, No. 2. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México. 98 pp. https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/boletin-de-semilla-calificada.

Zamora D. M., S. Solano H., M. González G., R. Huerta Z. y M. López C. 2014. Tecnología para el cultivo de cebada maltera en los Valles Altos del Centro de México. Despegable técnica No. 40. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX.

LA PRODUCCIÓN DE AMARANTO EN TULYEHUALCO XOCHIMILCO, CIUDAD DE MÉXICO

Alma Velia Ayala Garay[1]*, Eduardo Espitia Rangel[2] y Yoxkin Estevez Martínez[3]

Resumen

Durante 2010-2019 el amaranto se ha cultivado en al menos 11 estados en México; mientras que en la Ciudad de México este cultivo se cultiva en las alcaldías de Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac, destacando por superficie cosechada y producción Xochimilco con 82.9 ha y 91.7 t lo que representa 60.4% y 55.6% respectivamente. El objetivo de la investigación fue conocer la forma de producción del amaranto en Tulyehualco, Xochimilco para identificar y proponer acciones de mejora. La información fue obtenida mediante la aplicación de una encuesta a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, con el criterio de selección de individuos que tuvieran la disposición de ser encuestados, y la encuesta se aplicó de septiembre a diciembre de 2019, a 35 productores. La producción de amaranto se realiza sin la aplicación de agroquímicos, la fertilización es a base de estiércol de ganado vacuno, lo que ubica a la forma de producir el amaranto en Tulyehualco como agricultura libre de agroquímicos. La producción de amaranto tiene una relación beneficio costo R (B/C) positiva, sin embargo, en la producción con siembra directa esta es mejor. La siembra con almacigo (Chapin) tiene costos y rendimiento mayores, sin embargo, este no compensa en las ganancias al productor. Para un impacto potencial a nivel de producción de amaranto se requiere de la adopción de tecnologías referentes a la densidad, nutrición; ya que el cultivo requiere, por ejemplo, recomendaciones técnicas para el control de plagas y enfermedades que permitan incrementar rendimientos para hacer más rentable el cultivo.

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México, Texcoco, Estado de México. Carretera Los Reyes-Lechería, km.18.5. Texcoco Estado de México. 56230. ayala.alma@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de México, Texcoco, Estado de México. Carretera Los Reyes-Lechería, km.18.5. Texcoco Estado de México. 56230.
[3] Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio-Ingeniería Gestión Empresarial. Carretera Acatlán-San Juan Ixcaquixtla km 5.5, Acatlán de Osorio, Puebla CP 74949, México.

Palabras clave: *Amaranthus* spp, chapin**,** costos de producción, rentabilidad

Introducción

El amaranto (*Amaranthus spp*) es uno de los cultivos más antiguos de Mesoamérica, se estima que constituyó el alimento básico de los aztecas, incas, mayas, pueblos recolectores y cazadores. Los primeros datos de esta planta datan de diez mil años atrás y su papel en la dieta era tan importante como el maíz y el frijol (Corona *et al*., 2019).

En México el amaranto enfrenta diversos problemas especialmente en su fase de la producción con respecto a bajo nivel tecnológico, variedades nativas de bajo rendimiento y características agronómicas no favorables, como maduración tardía, plantas muy altas, variación de color de planta y semilla (Ruíz *et al.,* 2013). Durante 2010-2019 el amaranto se ha cultivado en al menos 11 estados en México, entre los que destacan Puebla, Tlaxcala, Estado de México y la Ciudad de México con un promedio de 2,108, 1,153, 285 y 137 ha respectivamente de superficie cosechada de forma anual (SIAP, 2020). El aporte a la producción ha sido de 50.6% de Puebla con 2,794 t en promedio, 30.3% Tlaxcala con 1,672 t, con 11.10% Estado de México con 613 t y de 2.9% Ciudad de México con 161 t. Sin embargo, los rendimientos más altos durante el periodo de estudio son los obtenidos por Ciudad de México que en promedio han sido de 2.11 t/ha, seguido por Tlaxcala con 1.46 t/ha (SIAP, 2020). En la Ciudad de México el amaranto se cultiva en las alcaldías de Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac, destacando por superficie cosechada y producción Xochimilco con 82.9 ha y 91.7 t lo que representa 60.4% y 55.6% respectivamente, durante 2010-2019 la TMAC de la superficie cosechada fue 0.27% mientras que la TMAC de la producción fue de 1.34%; sin embargo, los mejores rendimientos son los de Tláhuac con 1.30 t/ha (SIAP, 2020) aunque su TMAC de la superficie cosechada es -10.8%. En el Cuadro 1, se muestran los indicadores de producción que se han tenido en las alcaldías productoras de amaranto en la Ciudad de México. El objetivo de la investigación fue conocer la forma de producción del amaranto en Tulyehualco, Xochimilco para identificar acciones de mejora en sus tecnologías de producción.

Cuadro 1. Indicadores de producción en la Ciudad de México de las alcaldías Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac durante el periodo 2010-2019 (SIAP, 2020).

Alcaldía	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha^{-1})
Xochimilco	82.9	91.7	1.11
Milpa Alta	19.7	23.3	1.18
Tláhuac	34.6	46.0	1.30

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2020).

Materiales y Métodos

La alcaldía de Xochimilco se encuentra en las coordenadas geográficas de 19°19' al Norte y al Sur de 19°09' de LN y representa el 7.9% de la superficie de la Ciudad de México. Cuenta con ocho localidades principales: Tepepan, San Luis Tlaxialmateco, Tulyehualco, Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, Santa Cruz Acalpixca, Santa María Nativitas y San Francisco Tlalnepantla. En 60.8% del territorio predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media, seguido de templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad en 26.5% del territorio (INEGI, 2014). El estudio se realizó en la localidad de Tulyehualco, en la que se tiene un total de 100 productores cultivando amaranto. La información fue obtenida mediante la aplicación de una encuesta dirigida. La utilización de esta técnica se justifica cuando no existe suficiente material informativo sobre aspectos que interesan investigar, o cuando la información no puede conseguirse a través de otras técnicas (Rojas, 2002). Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, con el criterio de selección de individuos que tuvieran la disposición de ser encuestados, esta se aplicó de septiembre a diciembre de 2019, a 35 productores, 3 comercializadores y 4 transformadores. Se realizó el cálculo de la rentabilidad del cultivo de amaranto obteniendo los costos de producción promedio en que incurren durante el proceso de producción. Los costos fueron divididos en dos partes; costos directos y costos indirectos (Swenson y Haugen, 2005). Dentro de los costos directos se incluyeron los costos de los insumos y medios de producción, tales como semilla, fertilizantes, mano de obra y el costo de oportunidad de la inversión. En los indirectos se incluyó renta de la tierra y gastos generales. Para determinar la rentabilidad se

emplearon las siguientes expresiones algebraicas, basados en la teoría económica (Krugman y Wells, 2006; Samuelson y Nordhaus, 2009):

CT=PxX;

Donde CT = Costo total, Px= Precio del insumo o actividad X y X= Actividad o insumo.

El ingreso total por hectárea se obtiene de multiplicar el rendimiento del cultivo por su precio del mercado. La expresión algebraica es: IT= PyY.

Donde IT= Ingreso total ($ ha^{-1}), Py=Precio del mercado del cultivo Y ($ t^{-1}); Y= Rendimiento del cultivo (t ha^{-1}).

Finalmente, la rentabilidad se calcula con la siguiente formula: Rentabilidad =IT – CT

Resultados

Los productores de la localidad de Tulyehualco, Xochimilco se encuentran en un rango de edad de 35 a 79 años, con un promedio de 57 años, no obstante, en un estudio realizado en los estados de Puebla, Tlaxcala, Morelos, e Hidalgo se encontró que el rango de edad entre productores de amaranto era de 20 a 79 años, con un promedio de 48 años, mostrando que los productores con mayor edad promedio, son los procedentes de la Ciudad de México (Ayala *et al*., 2016). Del 100% de entrevistados, un 5% fueron mujeres, y el restante hombres; con respecto a la educación se encontró que el 22% de los productores cuenta con estudios de nivel superior concluido, otro 22% con nivel media superior y un 56% con nivel básico, predomina una posesión de 1.5 ha como pequeña propiedad.

Proceso de producción de amaranto en Tulyehualco, Xochimilco. El proceso de siembra y producción del cultivo de amaranto se realiza con materiales nativos de Tulyehualco; Ramírez *et al.* (2010), encontraron que los productores, a través de la transmisión de generación en generación de sus tradiciones, identidad y conocimiento de su medio, salvaguardan la Zona de Conservación Ecológica Teuhtli y al mismo tiempo, el cultivo del amaranto y su diversidad genética. La semilla que emplean los productores van recolectando para el siguiente ciclo, y la almacenan encostalada en sus casas. Moreno *et al*. (2005) encontraron que es una práctica común entre los productores el seleccionar en campo las panojas con características fenológicas adecuadas para su uso común como semilla, y con

base en esta práctica más del 50% de la superficie cultivada en México con amaranto, se siembra con semilla de la cosecha anterior. La preparación del terreno se realiza de marera mecanizada, es importante mencionar la producción de amaranto se realiza sin la aplicación de agroquímicos, la fertilización es a base de estiércol y realizan dos aplicaciones; la primera es al momento de la siembra, y la otra a los 45 días de emergencia, lo que ubica a la forma de producir el amaranto en Tulyehualco como agricultura libre de agroquímicos.

En promedio, se utilizan 6 kg de semilla de amaranto para sembrar una hectárea. Sólo el 5.6% de los productores emplean semilla seleccionada. El arreglo topológico es de surcos de 0.40 m de ancho, distanciados a 0.60 m y 0.30 m de distancia entre cada cepa de siembra; en el cual se deposita un número variable de semillas con la finalidad de asegurar que en cada hoyo germinen varias plantas. A los 30 días después de la siembra, se realiza un aclareo donde se arrancan las plantas más pequeñas y se dejan tres, cuatro o cinco plantas en cada cepa sembrada. Un porcentaje de las plantas que son arrancadas son trasplantadas a otros surcos donde no emergió o se han secado, el resto de las plantas sobrantes se deja secar en la misma parcela. El 76.7% de los entrevistados antes de la siembra revuelve la semilla con suelo o excretas secas de su ganado, con el propósito de que las aves no se las coman o que estas sean removidas del surco por causa de la lluvia o el viento; esto debido a que las semillas se colocan en la cepa de siembra sin ser enterradas, por experiencia saben que al enterrarlas disminuyen el número de plantas emergidas y se corre el riesgo de tener que resembrar.

Respecto a la asistencia técnica, el 56% se encontró la necesidad de asesoría contra las plagas, ya que desconocen cómo combatirlas y controlarlas, además de que el cultivo que realizan es de tipo ancestral y en un entorno de agricultura libre de residuos químicos, por lo que no hacen uso de agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas.

En el caso de la cosecha se realiza en dos fases, primero se siega la planta de amaranto y se deja ocho días a la intemperie para después trillarla de forma mecánica. El rendimiento promedio en la zona en condiciones agroclimáticas usuales es de 1.2 t/ha, mientras que el promedio nacional durante 2016-2019 fue de 1.66 t/ha (SIAP, 2020). Respecto a la comercialización del amaranto, el 40% se realiza con acopiadores, y el 60% de los productores de la zona lo transforma en diversos subproductos como palanqueta, galletas, obleas y panadería, los cuales se comercializan de forma directa en locales dispuestos en sus domicilios o en puestos semifijos en la vía pública.

Formas de producción de amaranto en Tulyehualco, Xochimilco. Ramírez *et al.* (2017) mencionan que en la actualidad se conocen dos tipos de siembras del amaranto:

1) La siembra indirecta se caracteriza por realizar primero los almácigos (denominados chapines) donde se siembra la semilla y se hace germinar, para que posteriormente se realice el trasplante. De acuerdo a Espitia *et al.* (2010) mencionan que en Tulyehualco Ciudad de México el cultivo es de temporal. El almácigo, se prepara de fines de abril o principios de mayo, para efectuar el trasplante en el inicio de la temporada de lluvias, que habitualmente ocurre a partir de junio. La preparación del almácigo se realiza bajo el sistema de chinampa, para ello las camas se establecen en parcelas cercanas al canal, con dimensiones de 5 a 10 m de ancho y 100 m de largo. Al siguiente día, cuando la cama está ligeramente seca, se corta en pequeños cuadrados (Chapines) y se siembra.

2) Siembra directa a chorrillo con alta densidad de población, se tira la semilla sin dejar espacio, se va tapando ligeramente y las plantas crecen juntas, la distancia entre surcos es de 60 cm y se requieren de 4 a 6 kg de semilla por hectárea (Ramírez *et al.,* 2017).

En cuanto a la fertilización, 6.6% de los productores no aplica ningún tipo de abono; 15.6% aplica sólo fertilizantes químicos, generalmente 50 kg/ha de fosfato diamónico (18-46-0) 20 días después de la siembra y 50 kg/ha de urea (46-0-0) 60 días después de la siembra; 77.8% de los encuestados combina fertilización química y orgánica que consiste en aplicaciones promedio de una tonelada de excretas de ganado por hectárea antes de la siembra, 50 kg/ha de fosfato diamónico y 50 kg/ha de urea siguiendo el mismo calendario de los agricultores que solo realizan fertilización química. El abono orgánico más utilizado son las deyecciones de ganado, principalmente de ovinos.

Las familias que no poseen ganado (43.7%) compran el abono en otros municipios colindantes con Tochimilco. El control de malezas se realiza manualmente y de forma periódica durante todo el ciclo de cultivo.

Una vez que el 90% de las plantas alcanzaron la madurez, se lleva a cabo el corte de la panícula de cada una de las plantas de amaranto. El corte se realiza 15 cm abajo de la panoja; una vez cortada se coloca sobre el surco y se deja secar para que al momento de la trilla la semilla se desprenda con mayor facilidad. En el tiempo en que las panículas se encuentran en contacto con el suelo se tiene el riesgo de que se pierda cierta cantidad de grano ya sea por desprendimiento o por pudrición causada por hongos del género *Thecaphora.*

El 15.6% de los entrevistados trilla con el método tradicional, el cual se efectúa manualmente o con el uso de animales de carga. Este método consiste en pisar o azotar con varas e madera, sobre mantas o lonas, las panículas secas para que se desprenda la semilla; posteriormente la semilla se cierne para retirar el polvo y paja conocido como el tamo. Con el método tradicional la trilla de una hectárea se realiza aproximadamente en una semana, pero depende del número de jornales utilizados (1 jornal = 8 horas de trabajo) y de las condiciones climáticas, ya que en días nublados y con alta humedad relativa la semilla se desprende con mayor dificultad. En contraparte, el 84.4% de los productores contrata máquinas cosechadoras, destinadas para otros cultivos como el sorgo (*Sorghum* spp.), con el fin de ahorrar tiempo y trabajo; ya que con esta maquinaria una hectárea sembrada con amaranto se trilla en una hora y se ocupan menos jornales. En promedio cinco trabajadores por hectárea que se emplean en introducir manualmente la panoja seca en la cosechadora y en empacar el grano. Dado que, las máquinas cosechadoras no están diseñadas para el grano del amaranto se pierde cierta cantidad de la producción al caer al suelo mientras que la cosechadora avanza.

Costos de producción de amaranto en Tulyehualco, Xochimilco. Para ambos tipos de siembra se obtuvieron los costos de producción de amaranto (Cuadro 2).

Cuadro 2. Costos de producción de siembra directa y siembra con chapin, ciclo 2019 ($).

Concepto	Siembra con chapin	Siembra directa
Preparación del terreno ($/ha)	1,800.00	2,300.00
Preparación del chapin($/ha)	3,000.00	
Insumos ($/ha)	3,510.00	5,540.00
Jornales ($/ha)	7,850.00	5,750.00
Cosecha($/ha)	5,800.00	3,450.00
Costo Total ($/ha)	21,960.00	17,040.00
Rendimiento t/ha	1.35	1.20
Precio ($/t)	18,500.00	18,500.00
Ingreso neto ($/ha)	24,975.00	22,200.00
Utilidad ($/ha)	**3,015.00**	**5,160.00**
Costo ($/t)	**16,266.67**	**14,200.00**
Utilidad por t	2,233.33	4,300.00
B/C	**1.14**	**1.30**

Fuente**:** Elaboración propia con información levantada en campo durante octubre-noviembre de 2019. Precios de 2019.

Para los productores que cultivan auxiliándose del chapin (almacigo), este representa el 13.7% del gasto total, la utilidad de usar chapin es lograr la germinación del amaranto en mejores condiciones, sin la competencia de malezas por los nutrientes, y cuando alcanza una altura de 10 cm se trasplanta en la parcela. En la siembra con chapin se hace uso de insumos como Bocashi (abono orgánico) y caldo sulfocálcico, mientras que en la siembra directa solo es la aplicación manual de estiércol de ganado vacuno como fertilizante. En ambos métodos de cultivo hay un gasto en jornales que representa en promedio el 34.7% de los costos totales. De manera similar Ayala *et al.* (2017) encontraron que, en los estados de Puebla, Tlaxcala y Morelos, la estructura de costos por hectárea de amaranto tiene como rubro más importante los gastos de labores manuales, que acapararon el 37% del costo total en promedio, seguido del uso de insumos (21%) y labores mecanizadas (19%). El cultivo de amaranto es un gran demandante de mano de obra, lo que encarece su proceso de producción, así se refleja en la estructura de costos.

Entorno regional del amaranto. Los productores de Tulyehualco que comercializan su cosecha con transformadores locales, que les dan un precio bajo, con el argumento de que es semilla nativa. Sin embargo, los transformadores acopian la producción de Puebla y Morelos donde la compran a un precio menor que en Tulyehualco, aunque la semilla revienta en promedio en un 80%. Sin embargo, hay un transformador que brinda una bonificación de 15% más sobre el precio a los productores locales, ya que lo hace con la intención de valorar la semilla nativa de la zona y apoyar para que el productor recupere su inversión. Los costos de producción oscilaron (para el ciclo agrícola 2019) entre $17,000 y $21,000 por ha, y el precio de venta por tonelada fluctúa entre $17,000 a $20,000 por lo que el productor, en ocasiones solo recupera su inversión. No obstante, con los apoyos monetarios que el productor por parte del gobierno federal, así como de la alcaldía de Xochimilco, puede obtener recuperación de la inversión y por tanto el estímulo para seguir cultivando y resguardando la zona de cultivo y la diversidad genética del amaranto de la zona del volcán Teuhtli.

Respecto a los precios reales obtenidos por el productor de amaranto en la alcaldía de Xochimilco ha mostrado una TMAC -3.2%, siendo en 2010 de $31,150 y de $23,301 en 2019 (calculado con el IPP para sorgo y otros cultivos de leguminosas y cereales con Julio 2019=100); estando por encima del precio medio rural real nacional que fue de $10,123 en 2010 y de $7,689 en 2019, con una TMAC -3.0%.

En la localidad de Tulyehualco se transforma el amaranto de forma artesanal e industrial para su comercialización (Ramírez-Meza *et al*., 2017). Se consume principalmente como grano reventado del cual se elaboran productos como: alegrías, cereal, granolas, atoles, pinole, mazapán, entre otros. También existen frituras, productos panificados, galletas, y harina de amaranto que se emplea en la elaboración de sopas, pasteles y panes (De Jesús *et al*., 2017) mencionan que la producción de amaranto en Tulyehualco es una actividad representativa de la cultura local y pone de relieve su trascendencia como elemento constructor de la identidad territorial y de su profundidad histórica, con prácticas agrícolas peculiares y tradicionales, caracterizadas por un manejo sustentable de los recursos naturales.

Problemática del amaranto en Tulyehualco. Respecto a su cultivo, este es bajo condiciones de temporal, por lo que se necesita conocer técnicas de captación de agua y abrocharlas para riegos de auxilio; además el productor se enfrenta a bajos rendimientos por hectárea, ya que, al carecer de una tecnología de producción acorde a la zona agroclimática. Ayala *et al*. (2017), mencionan que los problemas técnicos que prevalecen en el cultivo del amaranto hacen necesario que se elabore un programa de transferencia de tecnología y capacitación continua que detecte las necesidades del productor con la finalidad de mejorar la producción y rendimientos, así como minimizar los riesgos del cultivo. Otra amenaza a la zona de cultivos, es el crecimiento de la mancha urbana, invadiendo los terrenos de cultivo ya que es atractivo para el productor realizar la venta de la parcela para uso habitacional por el ingreso que genera, derivado en parte por el envejecimiento de las personas que se dedican al campo, que está por encima de los 55 años y pocos jóvenes se involucran en la actividad agrícola, quedando sin relevo generacional la parcela de amaranto.

Conclusiones

La producción de amaranto de la localidad de Tulyehualco debe de ser reconocida por su forma de producción tradicional ancestral, que destaque que su proceso es sin insumos químicos y siguiendo técnicas ancestrales de cultivo como el chapin.

En el escenario actual, la producción primaria de amaranto demanda una gran cantidad de mano de obra, sobre todo en la siembra y cosecha, que, si bien genera empleo en la región, influye en el incremento de los costos de producción por el uso de mano de obra.

Es necesario diseñar nuevos canales institucionales para realizar la transferencia de tecnología de producción existente para las áreas de cultivo del amaranto, con el objetivo de mejorar la producción, controlar problemas fitosanitarios, incrementar rendimientos y diversificar su uso y consumo.

Literatura Citada

Ayala Garay- A.V., González González-M. y Limón Ortega-L. 2016. Mecanización del proceso de producción de maíz y amaranto en la región centro de México. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 25 (4): 74-80. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.36250.85449

Ayala Garay-A., Rivas Valencia-P., Cortes Espinoza-L., De la O Olán-M., Escobedo López-D. y Espitia Rangel-E. 2017. La rentabilidad del cultivo de amaranto (Amaranthus spp.) en la región centro de México. Revista CIENCIA Ergo-Sum, 21 (1):47-54. https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7749

Corona-González, N A., Jaramillo-Villanueva, J. L., Manzo-Ramos, F. y Cervantes-Vargas, J. 2019. Percepción, opinión y actitud de los productores de amaranto en torno a procesos de agregación de valor en el municipio de Tochimilco, Puebla, Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional, 29 (54):2-26. https://doi.org/10.24836/es.v29i54.824

De Jesús, C. D., Ramírez de la O, I. L., Viesca-González-F.C. y Thome-Ortíz, H. 2017. La búsqueda de la denominación de origen (DO) del amaranto de Santiago Tulyehualco, Xochimilco D.F. En Thome-Ortiz, H., & Martínez-Campos, A. R. Calificación, valorización y turismo. Aproximaciones al patrimonio agroalimentario. (pp. 183-216). México (México): COLOFON.

Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, C., Escobedo-López, D., De la O-Olán-M., Rivas-Valencia, P., Martínez-Trejo, G., *et al.* 2010. Conservación y uso de los recursos genéticos de Amaranto en México. INIFAP, Centro de Investigación Regional Centro, Celaya, Guanajuato, México. 200 pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2014. Cuaderno Estadístico Delegacional, Xochimilco Distrito Federal. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_servcontenidos/espanol/bvinegi/productos/historico1334/702825926892/702825926892_1.pdf

Krugman, P.R. y Well, R. 2006. Introducción a la economía: microeconomía. Barcelona (España): REVERTÉ S.A. (576 p).

Moreno-Velázquez., Yáñez-Morales, M. J., Rojas-Martínez. I., Zavaleta-Mejía, E., Trinidad-Santos, A. y Arellano-Vázquez, J. L. 2005. Diversidad de Hongos en Semilla de Amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) y su Caracterización Molecular. Revista Mexicana de Fitopatología, 23(2):111-118.

Ramírez-Meza, B., Torres-Carral, G., Muro-Bowling, P., Muruaga-Martínez, J. y López-Monroy, D. 2010. Los productores de amaranto en la Zona de Conservación Ecológica Teuhtli. Revista de Geografía Agrícola, (44):57-69.

Ramírez-Meza, B., Manzo-Ramos, F., Pérez-Olvera, M. A. y León-Merino, A. 2017. Las familias amaranteras de Tulyehualco, Ciudad de México: entre lo tradicional y lo moderno. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(18):3799-3813.

Rojas, S. R. 2002. Guía para realizar investigaciones sociales. México (México): Plaza y Valdés. (437 p).

Ruiz-Hernández, V. C., De la O-Olán, M., Espitia-Rangel, E., Sangerman-Jarquín, D. M., Hernández-Casillas, J. M. y Schwentesius-Rindermann, R. 2013. Variabilidad cualitativa y cuantitativa de accesiones de amaranto determinada mediante caracterización morfológica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(5):789-801.

Samuelson, P. A. y Nodhaus, W. D. 2009. Economía con aplicaciones a Latinoamérica. México, (México): McGraw-Hill. (754 p).

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Recuperado de https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Swenson, A. & Haugen, R. 2012. Projected crop budgets. USA (North Dakota). http://www.ag.ndsu.edu/pubs/agecon/ecguides/nw2013.pdf

CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL DE UNA PASTA TIPO TALLARÍN ELABORADA CON SORGO MALTEADO

María Guadalupe Herrera Hernández[1*], Talina Olivia Martínez Martínez[1], Diana Escobedo López[1], Ramón Huerta Zurita[1] y Víctor Pecina Quintero[1]

Resumen

El sorgo es un cultivo cuya popularidad ha crecido en los últimos años debido a su capacidad de producir buenos rendimientos en regiones secas siendo para esas regiones una fuente primaria de energía con niveles significativos de fitoquímicos los cuales aportan beneficios a la salud. La harina de sorgo es considerada la principal alternativa a la harina de trigo, y presenta un carácter libre de gluten. En este sentido, existe una amplia diversidad de productos en los cuales se está utilizando la harina de sorgo para obtener alimentos más saludables. El objetivo del presente trabajo fue realizar la caracterización nutrimental de una pasta tipo tallarín empleando harina de sorgo malteado. La formulación de la pasta se realizó tomando en cuenta la mezcla original con que se hace este alimento y sustituyendo en su formulación un porcentaje de harina malteada de sorgo, además también se utilizaron harinas de amaranto y lenteja con la finalidad de aumentar el aporte proteico. A las pastas elaboradas se les realizó el análisis de composición proximal, así como la digestibilidad. Se encontraron diferencias significativas en la composición nutrimental en las pastas analizadas en las cuales resaltó en algunas de ellas su alto contenido de proteína y fibra y su bajo contenido de carbohidratos. En cuanto a la digestibilidad, varias de las formulaciones elaboradas con sorgo malteado permitió obtener un alimento con un valor similar en digestibilidad de aquellas pastas elaboradas con sémola (>80%).

Palabras clave: sémola, proteína, carbohidratos, fibra, digestibilidad

[1] 1Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel Allende. *herrera.guadalupe@inifap.gob.mx.

Introducción

El sorgo es un cultivo comercial con una producción anual de más de 64 millones de toneladas métricas y ocupa el quinto lugar entre los cereales en capacidad de producción (Stefan, 2015). Por su alta resistencia a condiciones de sequía, es una alternativa ideal para enfrentar los desafíos que plantea el calentamiento global y la drástica caída del cultivo de maíz provocada por los barbechos formados por los cambios climáticos. El sorgo a pesar de contribuir significativamente a la producción mundial de alimentos, la mayor parte del grano de sorgo del mundo, y casi todo en los países occidentales, se utiliza como alimento para animales. En los países desarrollados la producción de sorgo se lleva a cabo a gran escala y tiene como objetivo principal la fabricación de piensos y la producción de etanol. Sin embargo, las aplicaciones alimentarias son populares en África, Asia, Estados Unidos, Europa y Australia (Thilakarathna *et al*., 2022). En este sentido, el grano de sorgo es un alimento básico para unos 500 millones de personas en 30 países de África y Asia. Su popularidad ha crecido en los últimos años debido a su capacidad de producir buenos rendimientos en regiones secas con niveles significativos de fitoquímicos los cuales aportan beneficios a la salud. Una característica que hace interesante a este cultivo es que contiene almidones de baja digestibilidad que los hace idóneos para productos dirigidos a consumidores con problemas de obesidad o diabetes, además es una alternativa de alimentación para la población con problemas de tolerancia al gluten (Saithalavi *et al*., 2021).

En México este cultivo se emplea principalmente para dietas pecuarias, se estima que, del total de la producción, el 95% se destina a la fabricación de alimentos balanceados (SAGARPA, 2017). Su uso como alimento humano es incipiente, solo en algunas regiones productoras se emplea para la elaboración de tortillas (Montes García *et al*., 2010) y algunas cerveceras ofrecen productos elaborados con malta de sorgo. Aun cuando su valor nutricional es similar al de maíz, es un cultivo subutilizado y en general la población mexicana desconoce su potencial para consumo humano. De acuerdo a los precios generados por la Secretaria de Economía, utilizar harina de sorgo en proporciones menores al 50% con harina de maíz o trigo, implica la reducción de costos cercanos a 30% (SNIIM, 2019).

En cuanto al uso de este cultivo para el desarrollo de alimentos emergentes la gama de productos varía desde sorgo 100% mezclas con harina de trigo en diferentes proporciones, su

potencial de mercado está determinado por el bajo índice glucémico y la naturaleza libre de gluten del sorgo. Además, el sorgo es un excelente agente aumentado volumen que el trigo y posee la capacidad de reducir el colesterol (Liu *et al*., 2021). Su contenido de antioxidantes, incluidos ácidos fenólicos, los flavonoides, antocianinas, etc., hace que el sorgo sea atractivo para la industria alimentaria (Przybylska-Balcerek *et al*., 2019).

En cuanto a las aplicaciones alimentarias, el potencial de mercado está determinado principalmente por el bajo índice glucémico y la naturaleza libre de gluten del sorgo, que abordan los riesgos actuales para la salud (Noerhartati *et al*., 2020). La gama de productos a base de sorgo varía desde sorgo 100% hasta mezclas con harina de trigo en diferentes proporciones. Los alimentos sin gluten están conquistando rápidamente el mercado y el sorgo es una de las principales alternativas a la harina de trigo, de aquí el interés de utilizar éste grano para elaborar una pasta tipo tallarín y evaluar su calidad nutrimental.

Materiales y Métodos

Se utilizó la variedad de sorgo blanco fortuna, para el mateado se lavaron las semillas y se remojaron las semillas en una solución de hipoclorito de sodio 0.1% por 30 min, se sacaron de la solución, se escurrieron y posteriormente se sumergieron en agua a 45°C por 20 min, posteriormente se llevó a cabo un choque térmico con agua a 4°C, después se colocaron las semillas en agua a temperatura ambiente por 20 min y finalmente se dejaron embeber por 24 horas a temperatura ambiente. Paso el tiempo se colocaron en charolas con soporte de papel húmedo y se dejaron germinar por 48 h. El secado se realizó en una estufo de convección bajo temperatura de 60°C por 21 h. Posteriormente se molió y tamizó hasta obtener un tamaño de partícula de 50µm. Se realizaron varias mezclas de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro1. Formulaciones de las pastas elaboradas.

Identificación muestras	Sémola %	Trigo %	Sorgo %	Amaranto %	Lenteja %
2	0	75	25	0	0
3	50	0	40	0	10
5	0	40	50	10	0
6	0	30	50	10	10
7	0	40	40	10	10
9	0	0	0	0	0
11	40	0	40	10	10
C-Trigo	0	100	0	0	0
C-Sémola	100	0	0	0	0

Una vez obtenida las pastas se realizó el análisis de proximal de las muestras. El contenido de humedad, ceniza, grasa y proteína se determinó de acuerdo a los métodos reportados por la AOAC 2002. El contenido de fibra dietaría se realizó de acuerdo al método descrito por Prosky *et al*., 1988. Además, se determinó la digestibilidad de acuerdo al método descrito por Mertz *et al*., 1984. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante la comparación de medias empleando el método Tukey con $p<0.05$.

Resultados y Discusión

El aumento del uso de sorgo en formulaciones de pasta y fideos, que se encuentran entre los productos más consumidos en el mundo, pero sus beneficios potenciales en la dieta humana no se están aprovechando por completo. La pasta y los fideos se pueden producir con 5 a 100% de sorgo a escala de laboratorio, piloto o industrial con una calidad de cocción y textura adecuada junto con atributos sensoriales distintivos (Palavecino *et al*., 2020). Los porcentajes de sorgo utilizados en las pastas aquí evaluadas fueron los que presentaron buenos atributos sensoriales (datos no presentados). La composición proximal de las pastas elaboradas se muestra en el 2.

Cuadro 2. Composición proximal de pastas (%).

Muestra	Humedad	Proteína	Grasa	Ceniza	FDT	CHS
2	9.3±0.25cd	15.9±0.67bc	22.3±0.79ab	1.64±0.036bc	5.1±0.10de	45.9±1.14b
3	12.6±1.1ab	14.5±0.12c	20.1±1.26abc	1.37±0.011f	8.4±0.82bc	43.0±3.0b
5	11.8±0.58ab	14.9±0.01c	23.1±0.06a	1.72±0.021ab	6.6±0.19cd	41.9±0.44bc
6	13.5±0.92a	13.8±1.03c	19.6±0.55bc	1.54±0.013cde	3.7±0.21e	47.9±0.24b
7	13.5±0.30a	15.8±1.39bc	14.1±0.57de	1.48±0.021def	7.96±0.72bc	47.1±1.85b
9	10.1±0.50bcd	18.8±1.42b	19.4±0.14bc	1.56±0.028cd	7.3±0.56bc	42.8±1.46b
11	10.7±0.35bc	25.9±1.06a	17.6±0.14c	1.76±0.037a	12.3±0.49a	31.7±1.30d
C-Trigo	8.2±0.69de	27.7±0.57a	18.2±1.34c	1.43±0.055ef	8.6±0.12b	36.0±1.57cd
C-Sémola	6.5±0.27e	13.6±0.94c	8.8±2.55e	1.54±0.003cd	12.4±0.33 a	57.1±1.56a

Medias con letras iguales en la misma columna no presentaron diferencia significativa p<0.05. FDT=fibra dietaria total. CHS=carbohidratos.

Se encontraron diferencias significativas en cada uno de los parámetros evaluados. Lo que más resaltó fue el contenido de proteína, fibra dietaria y carbohidratos.

Se observó que la formulación 11 presentó las mejores características nutrimentales, de tal forma que, en comparación con una pasta control elaborada con harina de trigo el contenido de fibra 43% mayor y la cantidad de carbohidratos es 11% menor. Cuando se comparó el contenido de carbohidratos con la pasta a base de sémola, se encontró también que presenta 43% menos contenido de carbohidratos. En general, al aumentar el contenido de fibra y disminuir el contenido de carbohidratos existe un efecto hipoglucémico que incrementa la sensación de plenitud y saciedad, y se reduce la absorción de glucosa, esta característica disminuye el riesgo de patologías como la diabetes tipo 2 y sobrepeso.

Referente a la digestibilidad de proteína en la figura 1 se muestran los resultados obtenidos de las muestras analizadas. La pasta elaborada con harina de trigo presentó la mayor digestibilidad de proteína con 93%. Varias de las formulaciones elaboradas con sorgo malteado permitió obtener un alimento con un valor similar en digestibilidad de aquellas pastas elaboradas con sémola (>80%).

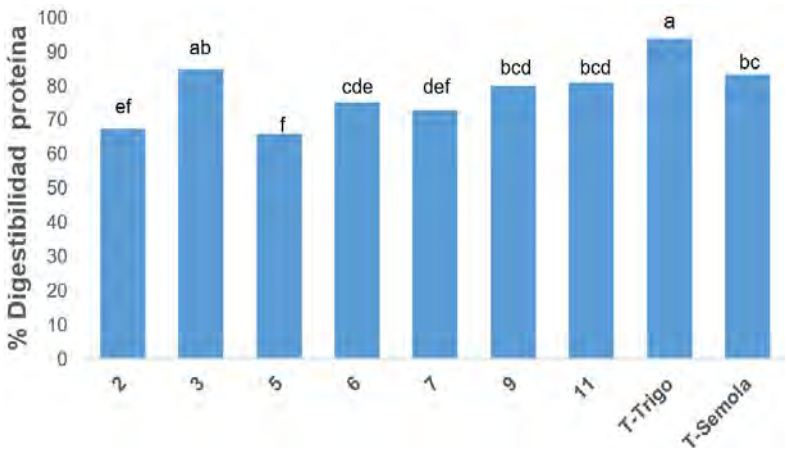


Figura 1. Porcentaje de digestibilidad de proteína de las pastas analizadas.

Conclusiones

Con la elaboración de pastas alimenticias a base de sorgo se ofrece un producto libre de gluten rico en fibra y de óptimo contenido nutricional. Además, las pastas presentan una digestibilidad similar a una elaborada con sémola en función de que emplea sorgo malteado que proporciona mayor digestibilidad y también porque se adiciona fuentes de proteína vegetal. Por otra parte, también se obtiene una pasta con bajo contenido de carbohidratos, lo que permitiría su uso en la población que requiere un bajo índice glucémico. Adicionalmente, el aprovechamiento del sorgo para el consumo humano permite incrementar la cadena de valor de este cultivo.

Agradecimientos

Los resultados aquí presentados forman parte del proyecto titulado “Desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de sorgo para consumo humano”, financiado por INIFAP.

Literatura Citada

AOAC. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 2002.Official methods of analysis, 16th edn.

Liu, H., Huang, L., and Pei, X. 2021. Effects of sorghum rice and black rice on genes associated with cholesterol metabolism in hypercholesterolemic mice liver and intestine. Food Science & Nutrition, 9(1):217–229

Mertz, E. T., Hassen, M. M., Cairns-Whittern, C., Kirleis, A. W., Tu, L., and Axtell, J. D.1984. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. Proceedings of the National Academy of Sciences, 81(1):1-2.

Montes García N., García Gracia M.A., Castillo Tovar H., Pecina Quintero V. y Anaya López J.L. 2010. Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] blanco: alternativa para la alimentación humana. Folleto Técnico Núm. 45

Noerhartati, E., Saurina, N., Soewadini, H. M. D., Muharlisiani, L. T. and Chamidah, D. 202. Entrepreneurship marketing through the marketplace for sorghum based alternative food. In International Conference on Community Development (ICCD 2020) pp. 225–229. Atlantis Press.

Palavecino, P. M., Curti, M. I., Bustos, M. C., Penci, M. C., and Ribotta, P. D. 2020. Sorghum pasta and noodles: Technological and nutritional aspects. Plant Foods for Human Nutrition, 75(3):326-336

Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T.F., DeVries, J. W., and Furda, I. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products. J. Assoc. Off. Anal. Chem., 71:1017-1023.

Przybylska-Balcerek, A., Frankowski, J., and Stuper-Szablewska, K. 2019. Bioactive compounds in sorghum. European Food Research and Technology, 245(5):1075– 1080

SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional. Sorgo grano mexicano. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México, México. 18 p.

Saithalavi, K. M., Bhasin, A., and Yaqoob, M. 2021. Impact of sprouting on physicochemical and nutritional properties of sorghum: a review. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(5):4190-4204.

SNIIM. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. 2019. Merados nacionales: precios de mercado. Disponible en línea: http://www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/. [Consultaltado el 27 de enero de 2019]

Stefan, M. 2015. The sorghum varieties-more profitable and safer for a continuous climate change. Competitiveness of Agro-Food and Environmental Economy, 4, 377.

Thilakarathna, R.C.N., Madhusankha, G.D.M.P. and Navaratne, S.B. 2022. Potential food applications of sorghum (*Sorghum bicolor*) and rapid screening methods of nutritional traits by spectroscopic platforms. Journal of Food Science, 87(1):36-51.

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA MEDIANTE HUERTOS URBANOS: UNA ACTIVIDAD OCUPACIONAL

Casimiro Ordóñez Prado[1], Rosa Laura Rebolledo García[2]* y Andrés Rebolledo Martínez[2]

Resumen

La acelerada urbanización de las ciudades trae consigo problemas como la demanda de agua, aumento de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, demanda de espacios recreativos, aumento en la demanda de los productos y disminución de áreas de producción, así como el aumento en los niveles de estrés de la ciudadanía. Para contrapesar algunos de estos problemas, diferentes gobiernos, principalmente europeos, han puesto en marcha proyectos de producción agrícola en las ciudades, denominados de diferentes maneras, siendo una de ellas “Huertos urbanos comunitarios”. El objetivo fue describir el sistema de producción de los huertos urbanos comunitarios y su repercusión en la sociedad de la diputación de Lugo, España. Mediante entrevistas con beneficiarios directos y asesores técnicos, se recopiló la información necesaria para describir los huertos urbanos comunitarios de Lugo, España. En parcelas de 25 m^2 los habitantes de este municipio establecen diferentes cultivos de ciclo corto con apoyo de asesoría técnica. Además del beneficio alimentario, los huertos urbanos comunitarios brindan un bienestar social y emocional, a las personas que los cultivan.

Palabras clave: huertos urbanos comunitarios, agricultura urbana, comunos urbanos verdes

[1] Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56230, México.
[2] INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, Carret. Federal Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín, Ver., 94283 *rebolledo.rosa@inifap.gob.mx

Introducción

La agricultura urbana es una actividad que aporta diversos significados a las prácticas agrícolas (Larrubia-Vargas *et al*., 2020). La práctica comunitaria de la agricultura urbana en "huertos urbanos comunitarios" o "barrios productores" tienen como objetivo fomentar la economía verde de estos lugares y la generación de empleos (del Viso *et al*., 2017). Además, es una propuesta para la renovación de prácticas para la gestión de recursos estratégicos de las comunidades, contemplando dimensiones ecológicas y sociales (del Viso *et al.*, 2017).

Un ejemplo de estos sistemas de producción es el que se dio en Alemania a finales de los años cuarenta, donde para resolver el problema de la hambruna posguerra, se asignaron pequeñas parcelas a la población con el objetivo de producir sus propios alimentos (Alonso, 2014). Sumado a la suficiencia alimentaria, en la actualidad, se le atribuyen al uso de estas prácticas, diversos beneficios, como mejora de hábitos nutricionales, incremento de actividad física, mejora del bienestar psicológico, entre otros (Mejías-Moreno, 2013).

Si bien, hoy en día la disponibilidad de tierras del gobierno es condicionada, y no se puede asignar una superficie que sea económicamente rentable, los huertos urbanos mejoran la calidad de vida de la población y las relaciones dentro de la sociedad. El asignar una actividad ocupacional a personas ayuda a cerrar los espacios de ocio, que con frecuencia se presentan personas mayores y en niños. El objetivo del trabajo, fue describir el sistema de producción de los huertos urbanos comunitarios y su repercusión en la sociedad de la diputación de Lugo, España

Materiales y Métodos

La Diputación de Lugo, Santiago de Compostela, se encuentra al noroeste de España (Figura 1). El área total de la cuenca de la ciudad de Lugo es de 1, 280 ha, en la cual se encuentran los ríos Miño y Rato, éste último afluente del primero (Anta-Álvarez *et al*., 2015).

En el verano del 2022, se realizaron recorridos de campo en la Diputación de Lugo, donde se identificaron huertos urbanos en la zona de río Rato, dirigidos por el gobierno y asignados a habitantes de la localidad y se ubicaron las personas con asignación de parcelas (pequeños

productores) y asesores técnicos. Se realizó una recopilación de experiencias con ellos, mediante una entrevista, haciendo énfasis en el proceso de acceso a una parcela, los productos agrícolas que cultivan y su manejo, así como la influencia que esta actividad ha tenido en su vida cotidiana.

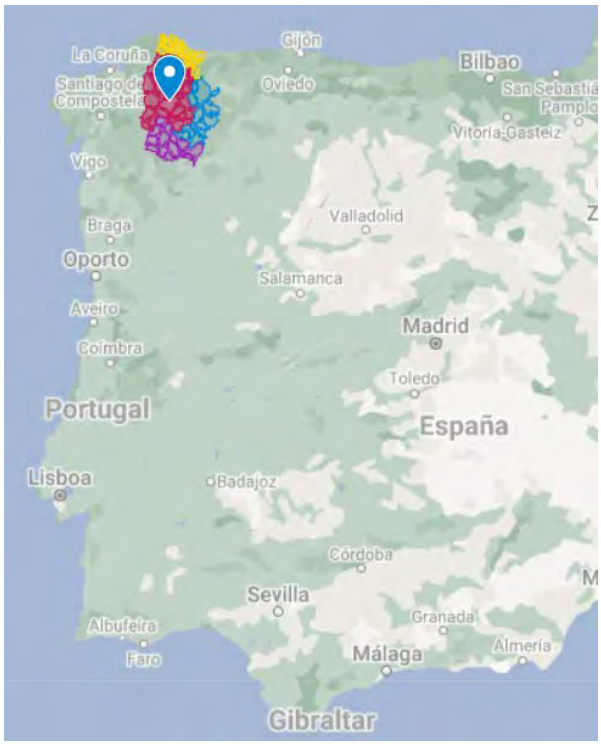


Figura 1. Localización geográfica de la provincia de Lugo, España (Depútación de Lugo, 2022).

Con la información recopilada, se realizó una descripción de los sistemas de producción de huertos urbanos empleados en Lugo, España y en como estos mejoran la calidad de vida de las personas.

Resultados y Discusión

En la Diputación de Lugo se encuentran los huertos urbanos del Parque del río Rato, los cuales son un espacio público integrador, que pretende potenciar los hábitos de vida saludables

relacionados con la agroecología, la obtención y consumo de alimentos de proximidad y locales, así como fomentar el contacto y actividad física en la naturaleza.

Asignación de parcelas

Se asignan parcelas cuadradas de 25 m^2, las cuales están delimitadas por tabiques, y también ayudan a la retención del suelo (Figura 2). Las líneas de parcelas son separadas por un pasillo de 1 m, que permite el tránsito de las personas sin dañar los cultivos; se cuenta con tomas de agua para riego. Cada parcela cuanta con una clave de identificación asignada a las personas mediante una convocatoria pública, y existe un reglamento de los Huertos urbanos.



Figura 2. Parcelas en huertos urbanos comunitarios en Lugo, España.

De manera general las personas interesadas en una parcela deben cumplir con las siguientes condiciones: ser mayor de edad; estar empadronado en el ayuntamiento de Lugo o colindantes; estar exento de obligaciones con las administraciones públicas; no poseer terrenos en el ayuntamiento de Lugo con potencialidad de ser cultivados, o convivir con una persona que ya tiene autorizado el uso de un huerto. Las parcelas se asignan por un periodo anual, con posibilidad de extensión a dos años, el gobierno de la diputación cuenta con aproximadamente 150 parcelas destinadas a esta finalidad. Esto es consistente con lo descrito por Alonso (2011), como huertos de ocio, refiriéndose a terrenos administrados y gestionados por la administración local, asignados a los participantes por un periodo prestablecido de 3 a 5 años.

Cultivo y manejo

La selección del cultivo es definida por el productor, en función de sus necesidades o el producto que desea obtener (Figura 3). Principalmente son asociaciones de cultivos que pueden involucrar alubias, haba, tomates, lechugas, pimientos, calabazas, repollo, cebollines entre otros; similar a los de Navia de Suarna (Vázquez *et al*., 2016).



Figura 3. Cultivos de ciclo corto establecidos dentro de huertos urbanos comunitarios en Lugo, España.

En el manejo juega un papel importante el asesoramiento de técnico especializado, el cual es asignado por el gobierno para dar seguimiento y capacitar a los productores en cuestión de siembra, riego, tutorado, control de plagas, entre otras actividades. Periódicamente se dan cursos de capacitación para mejorar el manejo y aprovechar al máximo su parcela. También, el responsable técnico se encarga de la germinación de semillas, proporcionando plántula de calidad al productor. Los residuos vegetales son depositados en contenedores para su compostaje y usos en los cultivos.

Aceptación de los huertos urbanos

La iniciativa del proyecto de Barrios Productores, ha tenido buena aceptación por la población. Se ha difundido y adoptado a lo largo y ancho de España, hoy en día este concepto se puede encontrar en diferentes ciudades.

Los beneficiarios concuerdan en que los huertos urbanos, más allá de proporcionales productos alimenticios son una actividad de auto empleo. Un espacio donde realizan actividad física en compañía de la familia junto a la naturaleza. Además, se ha fomentado la convivencia

entre vecinos, pues las charlas sobre el manejo de cultivos e intercambios de ideas son frecuentes. Esto es consistente con los registros existentes desde el 2, 600 A.C. en China, en donde se indican los beneficios de una ocupación, como terapia (Oropesa-Roblejo *et al*., 2014). Por lo que, las actividades que se realizan en un huerto urbano como el manejo de la tierra, limpieza de plantas, riego, cosecha e intercambio experiencias, puede ser una alternativa saludable, además de recreacional para personas dentro de las ciudades.

Uno de los productores entrevistados mencionó que *"Los huertos urbanos nos han venido a sacar de la casa, asignado una actividad productiva a la gente jubilada, al mismo tiempo de producir productos orgánicos y frescos, actividad que realizamos con gusto y diversión"* (Figura 4).

Esta iniciativa presenta una lista de productores en espera de que el gobierno destine más zonas de producción y les sea asignada una parcela.



Figura 4. Productor de hortalizas en sistemas productivos de huertos urbanos comunitarios en Lugo, España.

Conclusiones

1) Los huertos urbanos comunitarios en Lugo tienen una buena aceptación entre la población, son fuente de empleo para técnicos y proveen a sus usuarios de beneficios alimenticios, sociales y de salud orgánica y psíquica. 2) La estrategia de implantación es relativamente

simple y se puede resumir de la siguiente forma: el gobierno da acceso a parcelas municipales por uno o dos años y mediante el asesoramiento, de ingenieros agrónomos o afines, se establece una producción diversificada de cultivos agrícolas de ciclo corto. 3) Este esquema puede ser replicable con éxito en espacios de ocio que tienen algunos gobiernos en diferentes países.

Literatura Citada

Alonso, N. M. 2014. Huertos urbanos en tres ciudades europeas: Londres, Berlín, Madrid. *Boletín CF+ S*, (47/48), 75-124.

Anta-Álvarez, J., M. Bermúdez. L. Cea, J. Suárez, P. Ures, y J. Puertas. 2015. Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo). Ingeniería Del Agua 19(2): 105-116.

Del Viso, N., J. L. Fernández Casadevante y N. Morán. 2017. Cultivating relationships. The common and the "communitarian" through the experience of two urban gardens in Madrid. Cultivando relaciones sociales. Rev. antropol. soc. 26(2):449–472.

Larrubia-Vargas, R., J. J. Natera R. y C. Herrera D. 2020. Urban gardens as an urban transition strategy for the sustainability in the city of Málaga. Boletín de la Asociación de geógrafos españoles, BAGE 86: 1-55

Deputación de Lugo 2022. Provincia de Lugo. Deputación provincial de Lugo. https://www.deputacionlugo.gal/es/ayuntamientos/a-provincia

Mejías-Moreno, A. I. 2013. Contribución de los huertos urbanos a la salud. HYS 6, 85–103. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/48353/HyS6-mon4-85-104.pdf?sequence=1

Oropesa R., P., C. Couso S., V. Puente S. y I. M. García W. 2014. Acercamiento histórico a la formación y la práctica en Terapia Ocupacional. Medisan. 18(3): 425-439.

Vázquez Varela, J. M., A. L. Vázquez R. y M. Valcárcel D. 2016. Estudio etnoarqueológico de la evolución de un hábitat estacional de alta montaña en Lugo (Galicia, España). Boletín del MAN 34: 405–420.

CALIDAD NIXTAMALERO-TORTILLERA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ AZUL DESARROLLADOS PARA EL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO

María Gricelda Vázquez Carrillo[1*], José Luis Arellano Vázquez[1], Israel Rojas Martínez[2], Rogelio Fernández Sosa[2] y Ricardo Ernesto Preciado Ortiz[3]

Resumen

La creciente demanda de maíces mejorados azules para la producción de tortillas**,** requiere la generación de maíces que cumplan con las especificaciones que el mercado reclama. El objetivo fue evaluar la calidad del grano y la de tortillas de diez variedades de maíces mejorados azules y cultivados en tres localidades del Altiplano Central de México. Las variedades se cultivaron el Teacalco, Tlax., Soltepec, Tlax. y Santa Lucia, Estado de México. Se estudiaron siete híbridos, tres variedades sintéticas y dos testigos locales criollos. Se evaluaron características físicas de los granos y variables de calidad en tortillas. Los resultados se analizaron con un diseño factorial y componentes principales. En todas las variables se encontraron diferencias significativas por efecto de localidad, genotipo y la interacción L x G. Los híbridos con mejor calidad comercial de grano y de sus tortillas fueron los de Santa Lucia, le siguieron los de Teacalco y al final los de Soltepec. Los valores de peso hectolítrico, índice de flotación, perdida de materia seca en el nejayote y pericarpio retenido, estuvieron dentro de lo declarado en la norma NMX034(parte 1) (2020), por lo que son adecuados para la industria de masa fresca. Los maíces cultivados en Santa Lucia, fueron los de tono más intenso, lo mismo que sus tortillas, destaco el H12a, aunque el tono de sus tortillas fue menor que el de los testigos. El mejoramiento genético de las variedades de maíz azul, redujo el tamaño y el tono de los granos, incorporó una mayor dureza a estos, y mantuvo la buena la calidad de las tortillas, al registrar elevada: húmeda y rendimiento, requerir poca fuerza para romperse y mantenerla constante durante el almacenamiento.

[1] INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de México, *vazquez.gricelda@inifap.gob.mx.
[2] INIFAP-CIRCE. Sitio Experimental Tlaxcala.
[3] INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Bajío.

Palabras clave: índice de flotación, rendimiento de tortillas, fuerza de ruptura

Introducción

En el Altiplano Central de México (> 2000 m) se localizan las áreas de mayor importancia comercial de maíz azul, ocupan una superficie aproximada de 75 mil hectáreas, que producen 200 mil toneladas (Arellano *et al*., 2014). Entre las condiciones que limitan la producción están la presencia de heladas, granizadas, sequía, vientos fuertes, suelos con baja fertilidad, la cantidad y distribución de la precipitación, y el bajo potencial de los maíces nativos que son los que se producen mayoritariamente. Actualmente a nivel comercial no se dispone de materiales mejorados de maíz azul, por lo que es prioridad la generación de estos. El mejoramiento genético de los maíces azules ha tenido como objetivo resolver el problema de rendimientos bajos y otros de tipo agronómico, así como reducir la textura suave de sus granos (Salinas *et al*., 2010).

México es uno de los principales consumidores de maíz, particularmente en forma de tortilla cuyo consumo *per capita* se ha informado es de 79.5 kg/año en el área rural y 56.7 kg/ año en el área urbana (CONEVAL, 2018). En el territorio nacional las tortillas se elaboran principalmente con maíz blanco, sin embargo, en los últimos años ha crecido la demanda de las tortillas de maíz azul, debido a los beneficios que su consumo aporta a la salud humana, entre las que destacan, propiedades anticancerígenas, antitumorales y antiinflamatorias, mejoran la circulación sanguínea promuevan la regeneración del tejido conectivo y la producción de colágeno entre otros, siendo estos beneficios atribuidos a la capacidad antioxidante de las antocianinas del maíz azul (Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos, 2021). También se ha señalado que poseen una calidad nutricional mayor que el maíz blanco o amarillo, su nivel de fibra es uno de los más elevados comparado con el resto de cereales. Contiene altos niveles de carbohidratos de fácil digestión y es rico en magnesio y vitaminas.

Para aumentar la productividad del maíz en esta región del país, se han desarrollado híbridos y variedades sintéticas, con mejores rendimientos que los maíces criollos. Híbridos experimentales azules fueron evaluados, entre 2010 y 2015, en diez localidades del estado de Tlaxcala, encontrando genotipos (H-10AZ, H-11AZ, H-12AZ y H-13AZ) con rendimiento

promedio de 6.9 t/ha, en áreas de 20,450 ha con potencial favorable (Arellano *et al.*, 2013; Rojas *et al.*, 2015). El siguiente paso es evaluar la calidad comercial de sus granos y la de sus tortillas, para identificar aquellos que cumplen con las especificaciones demandadas en la norma NMX-034-1 (SE, 2020b) y las requeridas por los industriales de masa fresca y los de harina nixtamalizada. El objetivo fue evaluar la calidad del grano y tortillas de diez variedades de maíces mejorados azules, cultivados en tres localidades del Altiplano Central de México.

Materiales y Métodos

El cultivo se realizó en el ciclo primavera verano 2021 en las localidades de San José Teacalco municipio de Teacalco ubicada en las faldas del volcán Malintzi a una altitud de 2618 m., tipo de suelo fluvisol eutrico con texturas arenosas que permiten la conservación de la humedad, profundidad mayor a 1.0 m, precipitación anual mayor a 800 mm anuales y temperatura promedio máxima de 22.5°C y mínima de 8.6°C. La Magdalena Soltepec municipio de Tlaxco con altitud de 2520 m, suelos Feozem háplico con textura franco-arcillosa, suelos con menos de 1.0 m de profundidad, con pendientes menor a 0.5%; precipitación promedio anual de 650 mm y temperatura máxima promedio de 20.5°C y mínima de 5.8°C. Santa Lucia, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, localizada a 2240 m de altura, predominan los suelo tipo cambrisoles con textura migajón arcillo-arenosa, con bajo contenido de materia orgánica, pH ácido, precipitación anual de 700 mm y temperatura promedio máxima de 24°C y mínima de 16°C.

Los híbridos evaluados fueron proporcionados por investigadores del Programa de Maíz del Campo Experimental Valle de México del INIFAP y del Sitio Experimental de Tlaxcala. La siembra se realizó en condiciones de temporal a finales del mes de abril. En las localidades de Tlaxcala se evaluaron siete híbridos: H10, H12, H13, H14, H15, H17 y H19 y tres variedades sintéticas: VS05, VS07 y VA09. En Teacalco (‘Tea’) se incluyeron dos testigos locales criollos (‘TLC’ y TLCI), en Soltepec (‘Sol’) el testigo fue ‘TLCI’. En Santa Lucia se evaluaron cinco de los híbridos antes declarados y el H12a, todos de color azul. La fertilización utilizada fue 140-69-30 (N-P-K). El control químico de la maleza fue con Marvel® después de la segunda labor.

Las determinaciones de calidad de los granos y sus tortillas se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Cevamex-INIFAP. Se evaluó el peso hectolítrico (PH) siguiendo el método 55-10 de American Association of Cereal Chemistry (AACC, 2021), el índice de flotación (IF) y el peso de 100 granos (PCG), que se emplean como medida indirecta de la dureza y el tamaño del grano. Los porcentajes de pedicelo (PIG), pericarpio (PEG), germen (GEG), endospermo harinoso (EH) y endospermo corneo (EC), se calificaron siguiendo la metodología descrita en la norma NMX034(1) (Secretaría de Economía, 2020b). El color en grano y tortillas, se calificó en el colorímetro HunterLab Mini Scan XE Plus (Modelo 45/0-L Serie 5348), usando la escala CIE Lab y un ángulo de 10°. Se obtuvieron los valores L*, a* y b*. Con a* y b* se calculó el ángulo de tono ($hue = arctan\,(b/a)$) (McLellan *et al.,* 1995).

Elaboración de tortillas. La nixtamalización se realizó siguiendo el proceso tradicional descrito por Vázquez-Carrillo *et al*. (2016). Los tiempos de cocción del grano se asignaron con el IF de acuerdo a lo expuesto en la NMX-034(1) (Secretaría de Economía, 2020b). El acondicionamiento de la masa se llevó a cabo mediante el método de humedad indirecta por compresión de masa. Las tortillas fueron troqueladas y cocidas en una tortilladora Marca: VILLAMEX Mod. V-14 C/R de tres comales circulares trabajados a 280, 320 y 300°C. Se evaluaron las pérdidas de materia seca en el nejayote y el pericarpio retenido en el nixtamal, de acuerdo a la metodología descrita en la NMX-034(1) (Secretaría de Economía, 2020b). La humedad y la fuerza requerida para romper la tortilla se evaluaron 2 horas después de elaboradas (HT2h, FZA2h), y a 24 y 48 horas después de almacenadas a 4°C (HT24h, HT48h, FZA24h, FZA48h), esta última determinación se realizó en un texturómetro Brookfield® modelo CT325K (Middleboro, MA, USA), utilizando el punzón con punta de esfera de 1.7 cm de diámetro, ('TA8') trabajado a una velocidad de 1 mm/segundo y un valor meta de 20 mm. Los parámetros obtenidos fueron fuerza de ruptura (g_f) y elongación (mm). Finalmente se evaluó el rendimiento en tortilla fría (RT) expresado como kg de tortillas por kg de grano procesado.

El diseño experimental utilizado fue un análisis factorial alojado en un diseño completamente al azar (Cochran y Cox, 2001). En todas las variables se realizó el análisis de varianza (ANOVA), las que resultaron significativas, se sometieron a la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Se realizó la correlación general de Pearson utilizando el software SAS® (Statistical Analysis System, SAS Institute, 2012, v. 9.3) y el análisis de competentes principales usando el software Rstudio. Todas las variables se obtuvieron por duplicado.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en los factores de variación: localidad, genotipo y la interacción localidad x genotipo, de las variables de calidad evaluadas, excepto en el porcentaje de germen y la variable SUMA, en donde sólo fue significativo el efecto de genotipo.

La interacción localidad x genotipo (LxG), mostró que los genotipos de 'Tea' fueron los de mayor PH y PCG, inversamente registraron el menor índice de flotación (IF) (Cuadro 1), características que los clasificaron como granos de tamaño grande y dureza intermedia. Destacaron: H13 y H15 por su mayor PH y menor IF. En 'Sol' y 'SLM' el H19 fue el de mayor PH y también el más estable en estas dos localidades, en 'Sol' sus granos calificaron con dureza intermedia (IF=46) (Figura 1). En PH e IF, el H13 presentó la mayor variación entre localidad (Figura 1).

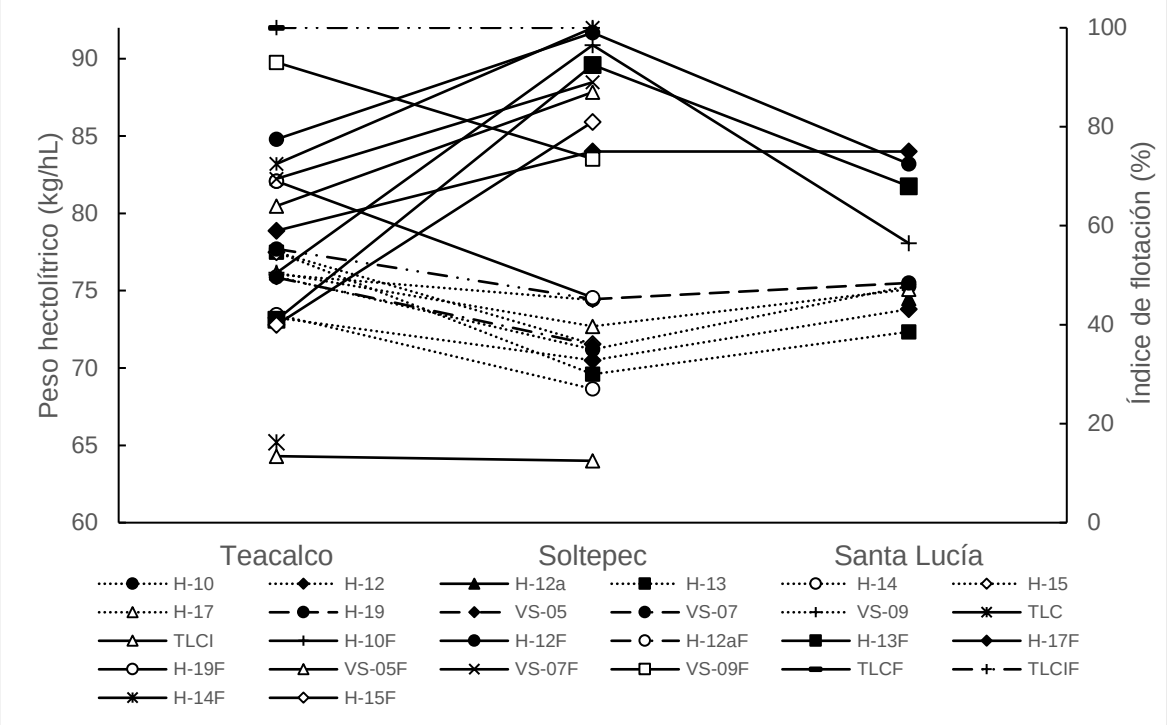


Figura 1. Interacción localidad x genotipo en peso hectolítrico e índice de flotación en maíces mejorados azules desarrollados para la mesa Central de México. PV-2021.

Cuadro 1. Características físicas de maíces mejorados azules evaluados en tres localidades de la Mesa Central de México. PV-2021.

Variedades	PH	PCG	IF	DEN	PI	PE	GER	EH	EC	SUMA
H-10	74.13 ed	36.13 d	67.83 f	1.23 bcd	1.54 b	5.07 def	9.84 abcd	37.93 ef	45.89 bc	16.45 abc
H-12	72.52 g	34.62 f	83 bc	1.22 fef	1.63 b	4.76 f	8.83 cde	48.72 c	36.01 ef	15.21 bcd
H-13	73.15 f	33.63 i	67.17 f	1.24 bc	1.55 b	5.25 cde	9.77 abcd	42.96 d	40.47 ed	16.58 abc
H-14	71.05 h	34.18 g	86.25 b	1.19bg	1.17 ed	5.15 cde	8.76 cde	53.23 c	31.69 fg	15.07 cd
H-15	74.53 cd	33.90 h	60.5 g	1.22def	1.13 e	5.51 bc	9.13 bcde	35.43 fg	48.80 b	15.76 abcd
H-17	74.65 cd	34.47 f	69.67 ef	1.23 bcd	1.44 bcd	5.41 bcd	9.93 abc	39.09 def	44.12 bcd	16.77 ab
VS-05	73.67 ef	35.20 e	75.50 ed	1.21 f	1.14 e	5.64 b	9.51 abcd	53.13 c	30.57 g	16.29 abc
VS-07	76.08 a	36.98 b	79.25 cd	1.23 cde	1.16 ed	4.97 ef	10.12 abc	50.78 c	32.96 fg	16.25abc
VS-09	75.23 b	36.43 c	83.25 bc	1.25 b	1.25 ed	5.33 bcde	9.82 abcd	43.47 d	40.13 ed	16.39 abc
H-19	74.96 cb	32.10 k	57.25 g	1.26 a	1.92 a	6.89 a	7.57 e	41.84 de	41.78 cd	16.38 abc
H-12a	74.50 cd	29.10 l	69 f	1.27 a	1.60 b	4.22 g	8.34 ed	31.06 g	53.80 a	15.14 cd
TLC	65.20 i	32.60 j	100 a	1.12 h	1.57 b	5.08 def	10.61 ab	69.00 a	13.75 i	17.25 a
TLCI	64.15 j	39.28 a	100 a	1.08 i	1.52 bc	4.76 f	10.74 a	62.79 b	21.93 h	17.02 a
DMS	0.5531	0.1525	6.35	0.0144	0.2844	0.3845	1.5851	4.6173	5.3036	1.6547
Localidad										
Teacalco	75.9 a	37.7 a	63.0 c	1.23 b	1.35 b	5.24 b	9.45 a	46.59 b	42.67 b	15.82 a
Soltepec	71.9 c	33.9 b	86.2 a	1.20 c	1.28 b	5.58 a	9.35 a	53.42 a	30.34 c	16.22 a
Santa Lucía	74.4 b	30.9 c	64.4 c	1.27 a	1.75 a	4.94 c	9.45 a	30.74 c	53.11 a	16.14 a
DMS	0.1829	0.053	2.2708	0.0052	0.101	0.1338	0.5413	1.6411	1.7	0.56

Los granos con menor PH y mayor IF, esto es, los de textura más suave, se desarrollaron en 'Sol', resultado que se atribuye a condiciones agroclimáticas adversas (Rojas *et al*., 2015). En las tres localidades los maíces mejorados azules superaron a los testigos locales (Figura 1), además su PH fue superior a lo establecido en la norma NMZ-034(1) para maíces azules destinados al proceso de nixtamalización.

Los maíces mejorados registraron el mayor y menor peso de 100 g (PCG), en 'Tea' y 'SLM' (x= 37.7 y 31.6 g respectivamente). El testigo TLCI fue el de mayor PCG y semejante al de VS09 en 'Tea' (x=39.3 g) y al H10 en 'Sol' (x=39.1 g), el gran tamaño de los granos de este híbrido en 'Sol', muestra que es el mejor adaptado a las condiciones agroclimáticas de esta localidad (Figura 2). Adicionalmente el H10, cumple con lo demandado por la industria de harina nixtamalizada (PCG > 37.9 g[£]). El H12a evaluado únicamente en 'SLM' fue el de granos más pequeños (PCG< 30 g) (Figura 2).

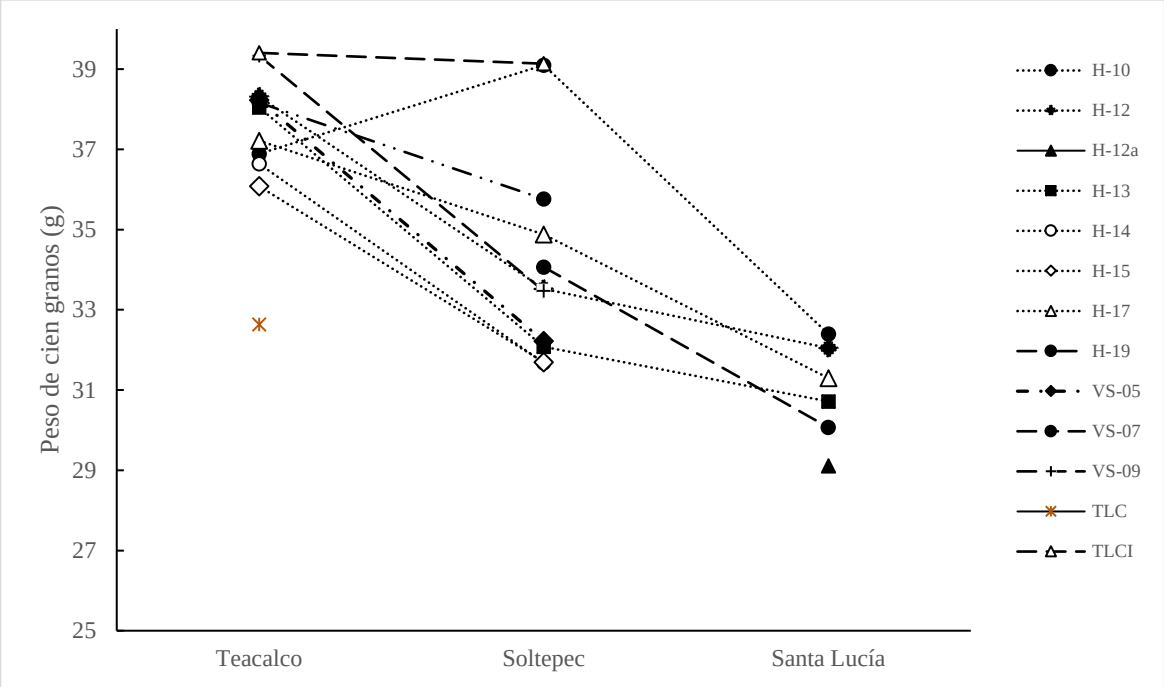


Figura 2. Interacción localidad x genotipo en el peso de cien granos en maíces mejorados azules desarrollados para la mesa Central de México. PV-2021.

La mayor dureza de los granos de las variedades mejoradas de maíz azul, respecto a los testigos criollos locales y a lo informado por Salinas *et al*. (2010) para maíces mejorados del Estado de México, muestran el avance en el mejoramiento genético de estos maíces. La

diferencia entre localidades indica que las mejores características de calidad de los granos se presentaron en Teacalco, Tlax.

Las variedades mejoradas registraron una mayor densidad que los testigos locales criollos, así como valores de: pedicelo, pericarpio y germen, menores al máximo permitido por las industrias de masa fresca y harina nixtamalizada (Salinas *et al*., 2012). La suma de las tres estructuras fue menor a los testigos (Cuadro 1) y a la demandada por la industria de harina nixtamalizada (< 20.4%[£]), esta reducción se atribuye a menores proporciones de pedicelo y germen debido al mejoramiento genético, ya que el efecto de localidad no fue significativo en esta variable (Cuadro 1). Por otra parte, el menor porcentaje de germen, se asocia con una reducción en el contenido de aceite, lo que reduce el deterioro de la harina nixtamalizada por enranciamiento durante el almacenamiento

Con base en el peso hectolítrico, todos los maíces son aptos, para la industria de masa fresca, ya que la norma MNX-FF-034/1-SCFI (Secretaría de Economía 2020b) establece que los maíces azules deben tener un peso hectolítrico mínimo de 61 $kghL^{-1}$. Así los híbridos estudiados pueden ser procesados por la industria de masa fresca, quienes requieren granos con menos dureza y que retengan mayor contenido de pericarpio.

Calidad nixtamalero-tortillera

El análisis de varianza de las variables de nixtamalización y color mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), por efecto de localidad, genotipo y en la interacción (LxG), lo que indicó que el valor resultante en las variedades mejoradas, se ve afectado por las condiciones de la localidad donde fueron cultivados

Las mayores pérdidas de materia seca (PMS) y menor pericarpio retenido (PR) se registró en las variedades mejoradas cultivadas en 'Tea', valor que resulto superior e inferior, al de los testigos criollos (Cuadro 2). Los genotipos tuvieron PMS entre 3.0-4.1%, los cuales están dentro de lo establecido en la norma NMX-FF-034/1-SCFI- (SE, 2020b), para maíces destinados a la producción de masa fresca (2.5-5.0%) (SE, 2020b) y lo informado por Salinas *et al*. (2012) para maíces mejorados azules del estado de México. Adicionalmente las PMS fueron superiores a lo informado por Gómez-Montiel *et al.* (2017) (x=1.9%) para una variedad mejorada de maíz azul desarrollada para el trópico mexicano.

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias en las variables de calidad del nixtamal. Masa y tortillas de maíces mejorados azules de la Mesa Central de México, PV-2021.

Variedades	PMS (%)	PR (%)	Humedad (%)					Rendimiento tortillas (kg kg maíz^{-1})
			Nixtamal	Masa	Tortilla 2h	Tortilla 24h	Tortilla 48h	
H-10	3.71 b	42.0 c	45.8cde	58.3 bc	43.7 cde	41.7 ef	41.7 ef	1.51 bcd
H-12	3.55 bc	45.3 abc	47.9 bcd	57.6 cd	44.3 cbd	44.3 bcd	44.3 bcd	1.53 abcd
H-13	4.02 a	38.3 cd	47.1 cd	58.8 abc	44.0 cbd	44.1 bcd	44.1 bcd	1.51 bcd
H-14	3.26 cd	52.3 ab	46.9cd	57.7 cd	40.7 hg	44.7 b	44.7 b	1.45 ef
H-15	4.14 a	27.6 e	46.9cd	57.6 cd	42.8 def	42.4 cde	42.4 cde	1.52 abcd
H-17	3.61 b	40.6 c	48.6 abc	59.2 ab	43.3 cdef	44.4 nbc	44.4 bc	1.49 de
VS-05	3.84 ab	45.5 abc	46.0 cd	58.5 abc	44.8 bc	42.3 cde	42.3 cde	1.57 a
VS-07	3.63 b	37.4cd	43.0 e	56.4 e	38.8 h	41.3 ef	41.3 ef	1.40 f
VS-09	3.57 b	38.9c	45.2de	56.6 de	41.8 efg	42.2 de	42.2 de	1.48 de
H-19	3.22 d	43.8 bc	45.0 de	58.4 abc	45.6 b	44.5 bc	44.5 bc	1.52 abcd
H-12a	3.00 d	54.3a	51.6 a	59.5 a	50.5 a	49.3 a	49.3 a	1.54 abc
TLC	3.65 b	29.1 de	50.3 ab	58.3 bc	44.0 cbd	43.5 bcde	43.5 bcde	1.56 ab
TLCI	3.62 b	39.8 c	47.3 bcd	58.0 bc	41.7 fg	39.7 f	39.7 f	1.50 cde
DMS	0.30	9.50	3.02	1.25	1.94	2.23	2.23	0.05
Localidad								
Teacalco	4.08 a	305 c	45.0 c	58.4 b	41.3 c	42.6 b	41.3 b	1.46 c
Soltepec	3.35 b	44.4 b	46.3 b	56.3 c	42.0 b	41.5 c	41.4 b	1.50 b
Santa Lucía	3.43 b	54.3 a	49.7 a	60.4 a	48.9 a	48.1 a	46.9 a	1.56 a
DMS	0.11	3.09	0.97	0.44	0.64	0.74	0.54	0.02

DMS = diferencia mínima significativa. PMS = Pérdida de materia seca, PR = Percarpio retenido Letras iguales en la misma columna indican no diferencia estadística significativa (Tukey, $p<0.05$).

El PR estuvo altamente correlacionado con las PMS (r = - 0.72; p>0.01), así los híbridos H12a y H19 son una excelente opción para la industria de masa fresca, por su alta retención de pericarpio lo cual se asoció con una elevada humedad de sus tortillas (Cuadro 2) y de su elongación (Cuadro 3).

La mayor humedad de nixtamal (HN), masa (HM) y tortillas (HT2h, HT24h y HT48h) la registraron los híbridos sembrados en 'SLM', no obstante, en las tres localidades se alcanzaron valores de HN, dentro del intervalo (45 -50%) declarado en la NMX-034(1) (SE, 2020b) para masa fresca; resultaron semejantes a los informados por Salinas *et al*. (2010a) para maíces mejorados azules del estado de México. Destacó el H12a por haber registrado la mayor humedad, y estadísticamente diferente, al resto de las variedades estudiadas (Cuadro 2), cabe señalar, que fue el híbrido con el menor tamaño de granos (Cuadro 1).

La HM oscilaron de 56.6-59.2%, resultados superiores a los reportados por Chimimba *et al*. (2019), quienes mencionan valores de 47-56% para maíces azules harinosos. La HT se redujo en un promedio de 25% respecto a la HM (Cuadro 2), no obstante, la HT estuvo dentro de lo informado por Bello-Pérez *et al*. (2015) para tortillas de maíz azul criollo. Si bien, la HT depende de factores como espesor de la tortilla, tiempo y temperatura de cocimiento, así como características intrínsecas de la masa como el contenido de almidón, proteína y grasa (Salinas-Moreno *et al*., 2010), la HT de las variedades estudiadas, sufrió reduciéndose en promedio 1.1% durante el almacenamiento (24 y 48 h) (Cuadro 2), lo que podría relacionarse con buena textura después del recalentado.

El mayor rendimiento de tortillas (RT) se presentó en 'SLM' (Cuadro 2). Destaco la VS05 con el mayor rendimiento y estadísticamente igual al testigo criollo. En el extremo opuesto estuvo la VS07 que tuvo el menor RT (x=1.40 kg/kg de maíz), las variedades restantes tuvieron valores entre 1.45 – 1.57 kg/kg de maíz (Cuadro 2), lo cual es alto y semejante a lo obtenido por Gómez-Montiel *et al*. (2017), y superior a lo reportado por Vázquez-Carrillo *et al*. (2016) para variedades de maíz azul, cuyo rendimiento fue de 1.37 kg/kg de maíz.

Las tortillas, recién elaboradas y almacenadas, con mejor textura (más suaves) fueron las de 'SLM', al haber requerido la menor fuerza para romperse, además de haber superado al TLCI. Las tortillas más duras fueron las de 'Sol', no obstante, su elongación (ELO) fue estadísticamente igual en las tres localidades (Cuadro 3).

PH peso hectolítrico, PCG peso de cien granos, IF índice de flotación, DEN densidad, PI pedicelo, PE pericarpio, GER germen, EH endospermo harinoso, EC endospermo córneo, SUMA de las estructuras pedicelo, pericarpio y germen. Letras iguales entre columnas indican no diferencia estadística significativa (Tukey, p<0.05). Cuadro 2. Prueba de comparación de medias en las variables de calidad del nixtamal. Masa y tortillas de maíces mejorados azules de la Mesa Central de México, PV-2021.

Cuadro 3. Prueba de comparación de medias en variable de textura de tortillas recién elaboradas y almacenadas calidad del nixtamal, masa y tortillas de maíces mejorados azules evaluados en tres localidades de la Mesa Central de México. PV-2021.

Variedad	Fuerza de ruptura (g_f)			Elongación (mm)		
	2 h	24 h	48 h	2 h	24 h	48 h
H-10	238.7 a	228.7 bc	250.3 de	15.0 abcd	11.4 ab	11.52 a
H-12	154.7 f	200.7 d	212.2 fg	15.2 abc	11.0 bcd	10.9 ab
H-13	152.3 fg	204.5 d	228.7 def	15.5 ab	10.6 cd	10.6 ab
H-14	199.5 c	189.5 ed	203.0 g	16.0 a	11.2 b	11.0 ab
H-15	212.5 b	252.0 a	251.5 bcd	15.2 abc	11.9 a	11.2 ab
H-17	182.7 d	210.7 cd	264.3 bc	15.2 abc	11.4 ab	11.0 ab
VS-05	144.5 g	209.5 cd	323.5 a	14.7 bcde	11.2 bc	11.6 a
VS-07	241.0 a	261.5 a	226.0 efg	15.2 abc	11.6 ab	11.5 a
VS-09	198.0 c	195.8 d	232.0 def	14.1 de	11.4 ab	10.8 ab
H-19	168.0 e	246.0 ab	213.5 gf	14.4 cde	10.4 d	11.4 a
H-12a	156.0 f	172.0 e	156.0 h	15.2 abc	11.1 bc	10.3 b
TLC	118.0 h	147.0 f	239.0 de	14.7 bcde	11.3 b	10.6 ab
TLCI	184.0 d	197.0 d	274.5 b	13.7 e	11.2 b	11.3 ab
DMS	8.57	21.96	23.24	1.06	0.61	1.05
Localidad						
Teacalco	164.9 b	198.9 b	199.8 b	15.1 a	11.6 a	11.3 a
Soltepec	238.7 a	264.3 a	319.7 a	15.1 a	11.2 b	11.2 a
Santa Lucía	132.8 c	163.6 c	155.1 c	15.0 a	10.6 c	10.5 b
DMS	2.5	7.5851	6.6392	0.3498	0.2148	0.3688

DMS = diferencia mínima significativa. Letras iguales en la misma columna indican no diferencia estadística significativa (Tukey, p<0.05).

En tortillas con 2h de elaboradas, la comparación entre variedades mostró, valores de Fza de 152 a 241 g_f, en tanto que la ELO fue de 13.7 a 16.0 mm (Cuadro 3), sin observarse correlación entre las dos variables. Las tortillas del TLC fueron las más suaves, seguidas por: VS05 y H13, las de este último híbrido fueron las de mayor elongación (Cuadro 3).

Tortillas almacenadas por 24 h, requirieron de mayor fuerza de punción (152-262 gf) para romperse, y disminuyeron la ELO (10.4- 88.9 mm), lo cual se atribuye a la retrogradación del almidón. Después de 48 h de almacenamiento, las tortillas requirieron de más fuerza para romperse, la excepción fue el H12a, cuya Fza48h, fue igual a las tortillas recién elaboradas (2h), mientras que su elongación se redujo (Cuadro 3), lo cual podría indicar que son tortillas frágiles, con poca cohesión entre sus partículas y mínima elasticidad, por lo que fácilmente se rompen.

Análisis por componentes principales

El análisis por componentes principales (ACP) se realizó con las 11 variables de menor correlación entre ellas. Los dos primeros componentes explicaron el 71% de la variabilidad de los datos. En el CP1 las variables con mayor peso positivo fueron: EH, Fza (2h), Fza24 y Fza48, en tanto que en el componente principal 2 las de mayor peso positivo fueron PH y EC. En la Figura 3, se puede observar que las variedades mejoradas y el testigo criollo, cultivados en ‘Sol’ se agruparon alrededor de las variables fuerza de punción, lo cual indica que las tortillas de las variedades de ‘Sol’ fueron las más duras y los granos tuvieron el mayor contenido de endospermo harinoso (EH). Inversamente las tortillas más suaves se elaboraron con los híbridos cultivados en ‘SLM’ (V) también fueron las de mayor HM y HT. Las variedades mejoradas cultivadas en ‘Tea’ se localizaron en el centro del gráfico, y se caracterizaron por su alto PH y EC; en el extremo opuesto, aparecen los testigos criollos, caracterizados por su alta proporción de endospermo harinoso (EH), humedad (HT 2h) y rendimiento (RT) (Figura 3A).

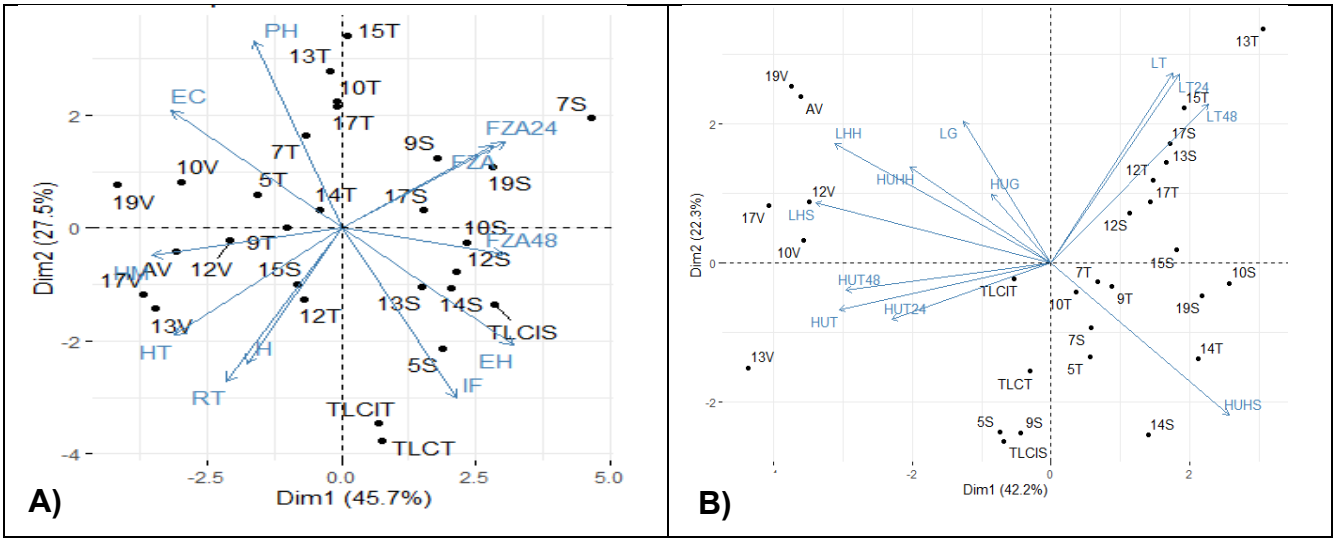


Figura 3. A) Gráfica de componentes principales donde los vectores representan las variables de calidad de los granos y las tortillas y los puntos a los maíces mejorados azules cultivados en Teacalco (T), Soltepec (S) y Salta Lucia (V). PV-2021. B) Gráfica de componentes principales donde los vectores representan la variable de color ángulo de tono en grano (HUG), harina seca (HUHS), harina húmeda (HUHH) y tortillas (HUT, HUT24 y HUT48), y luminosidad en grano (LG), en harina seca (LHS), harina húmeda (LHH) y tortillas (LT. LT24, LT48). Los puntos representan a los maíces mejorados azules y testigos locales criollos cultivados en Teacalco (T), Soltepec (S) y Salta Lucia (V). PV-2021.

El ACP de la variable de color ángulo de tono y luminosidad en grano, harina y tortilla los dos primeros componentes explicaron el 64.5% de la variabilidad de los datos. Los híbridos cultivados en 'Sol' y 'Tea' se agruparon alrededor de las variables LT, LT24, LT48 y HUHS, lo cual indicó que presentaron las tortillas más claras, en tanto que los cultivados en Santa Lucia destacaron por tener los valores de luminosidad más altos en harina seca y húmeda (LHS y LHH) y HUHH. También se observó que las variedades sintéticas VS-05 y VS-09 cultivadas en 'Sol' fueron semejantes a los testigos criollos (Figura 3B).

Conclusiones

Los híbridos con mejor calidad comercial de grano y de sus tortillas fueron los de Santa Lucia, le siguieron los de Teacalco y al final los de Soltepec. Los valores de peso hectolítrico, índice de flotación, perdida de materia seca en el nejayote y pericarpio retenido, estuvieron dentro de lo establecido en la norma NMX034(1)-SCFI 2020b, por lo que se recomiendan para la

industria de masa fresca. Los maíces cultivados en Santa Lucia, fueron los de tono más intenso, lo mismo que sus tortillas. El mejoramiento genético de las variedades de maíz azul, ha reducido el tamaño y el tono de los granos y ha incorporado una mayor dureza a estos, con los que se produjeron tortillas de buena calidad, registraron elevada: húmeda y rendimiento, requirieron poca fuerza para romperse y mantuvieron textura suave durante el almacenamiento. El híbrido con mejor calidad de grano y tortillas fue el H12a, aunque el tono de sus tortillas fue menor que el de los testigos.

Literatura Citada

AACC International. Approved Methods of Analysis, 2017. 11th Ed. Method 55–10.01. Test weight per bushel. Available online only. AACCI, St. Paul, MN. USA.

Arellano V., J.L., I. Rojas M. y G. F. Gutiérrez-Hernández. 2014. Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. REMEXCA 5(8):1469-1480.

Arellano V., J.L., I. Rojas M., y G.F. Gutiérrez H. 2013. Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México: potencial agronómico y estabilidad del rendimiento. REMEXCA 4 (7): 999-1011

Bello-Pérez, L. A., P. C. Flores-Silva, G. A. Camelo-Méndez, O. Paredes-López and J. D. D Figueroa-Cárdenas. 2015. Effect of the nixtamalization process on the dietary fiber content, starch digestibility and antioxidant capacity of blue maize tortilla. Cereal Chemistry, 92(3): 265-270.

Chimimba, J., R. Pratt, M. Cuellar, and E. Delgado. 2019. Quality parameters of masa and tortillas produced from blue maize (*Zea mays* sp. *mays*) landraces. Journal of Food Science. 84(2): 213-223.

Cochran, W. G and G.M. Cox. 2001. Diseños Experimentales. Edit Trillas, México. 661p.

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2018. Medición de la Pobreza. Resultados de la pobreza en México 2018 a nivel nacional y por entidades federativas. CONEVAL Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social | CONEVAL.

Gómez-Montiel, N. O., M. A. Cantú-Almaguer., M. G. Vázquez-Carrillo, C. D. A. Hernández-Galeno, F. Aragón-Cuevas, A. Espinosa-Calderón y M. Tadeo-Robledo. 2017. Variedad mejorada de maíz azul 'V-239AZ' para las regiones semicálidas de Guerrero. REMEXCA. 8(8): 1905-1910.

McLellan M.R., L.R. Lind and R.W Kime. 1995. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant hunterLab data. Journal of Food Quality 18:235-240.

Rabanal-Atalaya, M., y A. Medina-Hoyos. 2021. *Análisis de antocianinas en el maíz* morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. Terra Latinoam 39 (a808):1-12.

Rojas, M. I., R. Fernández S., A. P. Ceballos S., J. L. Arellano V., S. M. Romero y M. García P. 2015. Evaluación multicriterio para determinar zonas potenciales para maíz azul en el estado de Tlaxcala. *In:* Memoria VI Reunión Nacional de Maíces Nativos. Universidad Autónoma Chapingo. Acta Fitogenética. 2(1):99.

Salinas-Moreno, Y., N. O. Gómez-Montiel, J. E. Cervantes-Martínez, M. Sierra-Macías, A. Palafox-Caballero, E. Betanzos-Mendoza y B. Coutiño-Estrada. 2010. Calidad nixtamalera tortillera en maíces del trópico húmedo y subhúmedo de México. REMEXCA. 1(4):509-523.

Salinas-Moreno, Y., J. Soria R. y E. Espinosa T. 2010. Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. INIFAP, México. Folleto Técnico No 42.50 p.

Salinas M., Y., G. Vázquez C., G. Velázquez C. y J. Soria R. 2012 Esquema de selección de maíces con calidad para elaborar masa-tortilla y harinas nixtamalizadas: Caso Estado de México. INIFAP, México. Folleto Técnico No. 50. 65 p.

SE (Secretaría de Economía). 2020a. NMX-FF-034-SCFI-2020. Productos alimenticios para uso humano no industrializados – cereales - maíz (Z*ea mays* L.) – Especificaciones y métodos de prueba (cancela a la nmx-ff-034-1995)

SE (Secretaría de Economía). 2020b. NMX-FF-034/1-SCFI-2020. Productos alimenticios para uso humano no industrializados - cereales – maíz - parte 1: granos para tortillas y productos nixtamalizados - especificaciones y métodos de prueba (Cancela a la NMX.FF.034/1-2002) Dirección General de normas. Secretaría de Economía, México. 42p

SAS Institute. 2012. User´s Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p

Vázquez-Carrillo, M. G., I. Rojas-Martínez, D. Santiago-Ramos, J.L. Arellano-Vázquez, A. Espinosa-Calderón, M. García-Pérez *et al.* 2016. Stability analysis of yield and grain quality traits for the nixtamalization process of maize genotypes cultivated in the central high valleys of Mexico. Crop Science. 56(6): 3090-3099.

Pecuario

ESTUDIO GENÓMICO COMPARATIVO DE CEPAS ATENUADA Y VIRULENTA DE *Babesia bigemina*

Bernardo Sachman Ruiz[1], Luis Lozano Gracia[2], R. Montserrat Santamaría Espinosa[1], Jose J. Lira Amaya[1], Grecia Martínez García[1], Carmen Rojas Martínez[1], J. Antonio Álvarez Martínez[1] y Julio V. Figueroa Millán[1]*

Resumen

En este estudio se comparó el viruloma de una cepa atenuada de *Babesia bigemina*, la cual se ha mantenido bajo condiciones de cultivo in vitro durante varios años en el laboratorio, con reducida virulencia para el hospedero bovino, e incapacidad de ser transmitida por la garrapata vector, con el viruloma de una cepa virulenta de *B. bigemina* transmitida en México por garrapatas *Rhipicephalus microplus* a bovinos. Se realizó un mapeo de genes de virulencia contra un genoma de referencia: Cepa Bond de Australia. El análisis de los resultados preliminares obtenidos con la herramienta de búsqueda de alineación local básica (BLAST) demostró que, de 27 genes de virulencia descritos para *Babesia spp.* e identificados en la cepa mexicana virulenta de *B. bigemina* transmitida por la garrapata, solo cinco fueron completamente identificados en la cepa atenuada de laboratorio. En todos los casos, los porcentajes de cobertura e identidad de los genes identificados en la cepa virulenta de *B. bigemina* fueron más altos que los identificados en la cepa atenuada de laboratorio. Este hallazgo está supuestamente asociado con la pérdida parcial continua de genes de virulencia en la cepa de laboratorio, después de múltiples pasajes de la población de parásitos bajo condiciones óptimas de cultivo *in vitro*. La pérdida de algunos de los factores de virulencia podría reflejarse en la ausencia de síntomas de la enfermedad en ganado inoculado con la cepa atenuada, a pesar de la presencia de infección en los eritrocitos del hospedero bovino. Esto, tendrá que ser corroborado por el análisis transcripcional en futuros estudios de investigación. El análisis del repertorio de genes expresados diferencialmente en la cepa

[1] Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, INIFAP. Jiutepec, Morelos, México. E-mail: figueroa.julio@inifap.gob.mx.
[2] Centro de Ciencias Genómicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Cuernavaca, Morelos, México.

atenuada de *B. bigemina* y estudios del transcriptoma están en curso para determinar si se mantiene la expresión génica diferencial o si varía con respecto a la cepa virulenta.

Palabras clave: genes de virulencia, búsqueda de alineación local básica, bovinos

Introducción

La babesiosis del ganado es una importante enfermedad transmitida por garrapatas, la cual es causada por protozoarios Apicomplexa del género *Babesia* considerados como parásitos intraeritrocíticos obligados (Bock *et al*., 2004). En México, la babesiosis bovina es causada por *Babesia bigemina* y *Babesia bovis*. La enfermedad se distribuye en zonas tropicales y es transmitida por garrapatas *Rhipicephalus microplus* y *R. annulatus* (Rojas-Martínez *et al*., 2018a). La presentación de la babesiosis bovina causada por *Babesia bigemina* (*B. bigemina*) es 12-16 días después de que las garrapatas se alimentan del bovino, coincidente con la presencia del parásito intraeritrocítico en sangre periférica. La temperatura se eleva paralelamente al incremento en parasitemia hasta 41-42ºC en 2 o 3 días. Los animales infectados están tristes, anoréxicos y con pelo hirsuto. Se presenta hemoglobinemia y hemoglobinuria seguida por palidez de las mucosas junto con otros signos que pueden incluir constipación, deshidratación, temblor muscular, debilidad, postración y, si no se instaura el tratamiento adecuado, la muerte (Dalgliesh *et al*., 1981).

Se han generado diversos estudios sobre el bovino hospedero, el agente y sus relaciones tratando de reconocer sus características biológicas, así como su distribución, con el objeto de establecer programas de prevención y/o control de la enfermedad. Estas actividades han requerido la replicación del ciclo biológico logrado mediante el crecimiento artificial de estos parásitos en condiciones *in vitro* (Levy y Ristic, 1980; Vega, *et al*., 1985). Se han reportado diversos métodos para disminuir la virulencia de las especies patógenas en bovinos: Pases rápidos por inoculación parenteral en becerros esplenectomizados, pases lentos por inoculación parenteral en becerros intactos (Dalgliesh *et al*., 1981), y la metodología de cultivo *in vitro* para las especies de *Babesia* que afectan a los bovinos (Levy y Ristic, 1980; Figueroa-Millán *et al*., 1984; Vega *et al*., 1985; Fish *et al*., 2008). La atenuación de patógenos

intracelulares por cultivo in vitro es un fenómeno bien conocido y patógenos como *B. bovis* y *B. bigemina* se han tornado avirulentos o menos patógenos mediante prolongado crecimiento en cultivo celular (Yunker *et al*., 1987; Kuttler *et al*., 1988; Schuster, 2002). Trabajos de nuestro grupo de investigación han permitido demostrar que una cepa de *B. bigemina* mantenida por pases continuos en cultivo *in vitro*, se ha comportado como población atenuada al no afectar en forma importante los valores hematológicos en animales inoculados (Hernández-Ortiz *et al*., 1990; Figueroa-Millán *et al*, 1998). La cepa atenuada de *B. bigemina* ha inducido protección al desafío heterólogo con sangre infectada o con garrapatas infectadas bajo condiciones controladas y de campo (Hernández-Ortiz *et al*. 1990; Figueroa-Millán *et al*, 1998; Álvarez *et al*, 2004). Las cepas vacunales han sido desarrolladas para conferir una adecuada protección sin ser transmitidas por garrapatas, un rasgo considerado deseable ya que previene la aparición de casos clínicos debido a la transmisión de la cepa vacunal por garrapatas (Mangold *et al*., 1993). Esta capacidad ha sido demostrada después de un pase en ganado susceptible (Dalgliesh *et al*., 1981; O'Sullivan y Callow, 1966; Hernández-Ortiz *et al*., 1990; Timms *et al.*, 1990; Mangold *et al*., 1993). Además, este tipo de vacunas vivas atenuadas, tiene la gran ventaja conferida por su producción in vitro: un bajo riesgo de contaminación con otros agentes infecciosos (Pipano, 1995; Rojas-Martínez *et al*, 2018a; 2018b); una suspensión de glóbulos rojos altamente parasitada, y la posibilidad de producción de la vacuna en relativamente gran escala (Timms y Stewart, 1989). Se demostró que la cepa mexicana de *Babesia bigemina* atenuada no fue transmitida por garrapatas después de varios pases en bovinos susceptibles. Se demostró ausencia de reversión a la virulencia de esta cepa después de tres pases sucesivos en bovinos susceptibles y se confirmó que los parásitos mantenidos en cultivo in vitro perdieron la capacidad para multiplicarse en la garrapata vector durante un segundo pase por sub-inoculación en bovinos susceptibles (Rojas-Ramírez *et al*, 2011). En este estudio se confirmó que los parásitos mantenidos en cultivo in vitro perdieron la capacidad para multiplicarse en la garrapata vector durante un segundo pase por sub-inoculación en bovinos susceptibles. Esto, evidenciado por la ausencia de quinetos, en la hemolinfa de garrapatas alimentadas en bovinos con parasitemia patente. Además, se demuestra que, aun cuando es sujeta a tres pases sucesivos en bovinos altamente susceptibles, la población de parásitos mantiene su característica biológica de reducida virulencia, manifestada por los valores clínicos determinados en los bovinos sub-inoculados, los cuales no mostraron cambios relevantes.

Por otro lado, se desconocen hasta el momento los componentes del parasito responsables de la inducción de la hemolisis y otros efectos fisiopatológicos en los bovinos infectados. Resulta evidente que se requiere de estudios adicionales e investigación de frontera con metodologías de nueva generación, para determinar los mecanismos involucrados en la determinación de virulencia para el desarrollo del parásito dentro del eritrocito infectado (y provocar la enfermedad en un bovino inoculado), así como para el desarrollo de estadios de *Babesia* subsecuentes y necesarios para la infección del intestino de *Rh. microplus* (formas sexuales), que permiten al parasito adquirir nuevamente la capacidad infectiva hacia la garrapata vector y, consecuentemente, ser transmitidos de forma trans-ovárica. Solo a través de la utilización de innovadores métodos de secuenciación masiva, el análisis del genoma y del transcriptoma, se podrá probar la hipótesis de que, algunos cambios genéticos (rearreglos cromosomales, deleciones o inserciones génicas) han ocurrido en el genoma de la cepa atenuada sujeta de estudio y mantenida en cultivo in vitro, los cuales se ven reflejadas en un fenotipo atenuado y carente de la capacidad de ser transmitido por la garrapata vector *R. microplus*. El análisis comparativo del genoma de la cepa virulenta mexicana, con el genoma de la cepa virulenta australiana denominada Bond, y de otras cepas (Jackson *et al*, 2014), permitirá demostrar que los cambios observados con las cepas mexicanas no se derivan de polimorfismos en genoma, asociados al origen geográfico de las cepas. La genómica comparativa, permite identificar genes únicos de ciertas cepas patógenas los cuales pueden estar ausentes en las cepas apatógenas.

La patogenicidad de *Babesia* para el ganado bovino, está determinada en parte por la interacción con el sistema inmunológico del huésped y la presencia de genes de virulencia del parásito. En este estudio, se comparó el viruloma de una cepa atenuada de *B. bigemina*, la cual se ha mantenido bajo condiciones de cultivo in vitro, durante varios años en el laboratorio, con reducida virulencia para el hospedero bovino, e incapacidad de ser transmitida por la garrapata vector, con el viruloma de una cepa virulenta de *B. bigemina* transmitida por garrapatas *Rhipicephalus microplus* a bovinos.

Materiales y Métodos

Parásitos

La cepa atenuada de *B. bigemina*, es una población de parásitos originalmente derivada de un aislado virulento de México recolectado de un caso clínico de babesiosis. La cepa se adaptó a un cultivo in vitro, usando un sistema estacionario microaerófilo (Vega *et al*, 1985). Una vez establecida en cultivo in vitro, se cultivó continuamente durante casi cinco años consecutivos en laboratorio, con pases cada 72 o 96 horas (al menos 500 subcultivos en cultivo). Posteriormente, el cultivo in vitro de la B. bigemina se realizó de forma discontinua y con un número indefinido de pasadas en cultivo; se cultivó por períodos cortos de tiempo (uno o dos meses), justo hasta obtener material suficiente para los experimentos que se realizaron durante el desarrollo de la vacuna viva atenuada (períodos 1991-1998 y 2001-2006) y se congeló inmediatamente en nitrógeno líquido hasta que se realizaron otros experimentos en el período 2011-2017, en los que se cultivó para los últimos experimentos (transmisibilidad de garrapatas) y validación de inmunogenicidad (Figueroa-Millán *et al.*, 1998; Álvarez *et al.*, 2004; Rojas-Martínez *et al.*, 2018a;2018b; Rojas-Ramírez *et al.*, 2011) hasta ahora, cuando se realizó la secuenciación. Más importante para tener en cuenta es que el material biológico atenuado, no ha pasado a través de un hospedero bovino desde su aislamiento original a diferencia del aislado virulento (del que se seleccionó la cepa atenuada) y que se replica en animales siempre que se requiere. Morfológicamente, la cepa atenuada no ha cambiado; sigue infectando eritrocitos tanto *in vivo* como *in vitro*, pero no provoca enfermedad cuando se inocula en el ganado y se ha mantenido en forma alterna en cultivo continuo y crioconservación desde entonces (Figueroa-Millán *et al.*, 1998; Álvarez *et al.*, 2004; Rojas-Martínez *et al.*, 2018a;2018b; Rojas-Ramírez *et al.*, 2011). La cepa virulenta, originalmente aislado de un caso clínico de campo, se ha mantenido a través de pasajes de garrapatas en susceptibles animales y crio preservación en nitrógeno líquido (Vega *et al.*, 1985; Figueroa-Millán *et al.*, 1998; Rojas-Ramírez *et al.*, 2011).

Extracción de ADN genómico

Se utilizaron eritrocitos bovinos infectados con las diferentes poblaciones de *B. bigemina*, para llevar a cabo la extracción de ADN genómico por métodos convencionales (Strauss 2001;

Genis *et al.*, 2009). Se utilizaron entre 20 y 30 µg de ADN genómico para preparar las dos bibliotecas clonales requeridas para cada cepa.

Secuenciación del genoma de *B. bigemina*, cepas atenuada y virulenta

La secuenciación del genoma completo se realizó con la plataforma Illumina de secuenciación de próxima generación Mi-Seq (Illumina, San Diego, CA, EE. UU.) en el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México ubicado en Cuernavaca, Morelos. Las lecturas de secuencias obtenidas con el sistema Illumina se ensamblaron de *novo*, utilizando el Programa SPAdes (versión 3.1.1, Laboratorio de Biología Algorítmica, Universidad Académica San Petersburgo, San Petersburgo, Rusia) (Bankevich *et al.*, 2012). Los *contigs* generados, se ordenaron con la herramienta MUmmer (Kurtz *et al.*, 2004). El esfuerzo de secuenciación del genoma de *B. bigemina*, permitió obtener una cobertura de 264 X y 89 X para la cepa atenuada y virulenta, respectivamente. La lista de genes seleccionados se basó inicialmente en la consideración de artículos anteriores sobre inmunología clásica y estudios del transcriptoma donde se menciona que son genes atribuidos a la virulencia o posibles factores de virulencia (Bastos *et al.*, 2013; Eichenberger *et al.*, 2017). El mapeo de secuencias de genes virulentos contra un genoma de referencia (genoma australiano de *B. bigemina*) se realizó con BLAST (Altschul, 1990). Esto permitió un primer análisis de la composición del genoma de cada cepa, e identificó posibles cambios (deleciones o inserciones) o reordenamientos cromosómicos que ocurrieron en los genomas de las cepas virulentas y atenuadas de *B. bigemina*.

Resultados y Discusión

La secuenciación del genoma y el análisis del ensamble mostraron que la cepa atenuada de *B. bigemina* contenía 9,180,241 pb, mientras que la cepa virulenta 11,852,459 pb, una diferencia de 22.54% (Cuadro 1). El esfuerzo de secuenciación obtuvo una cobertura de 264X y 89X para las cepas atenuada y virulenta, respectivamente. Las secuencias de genes de virulencia se obtuvieron a partir de una búsqueda BLAST y las diferencias entre las cepas fueron notables; mientras que la cepa virulenta de *B. bigemina* transmitida por la garrapata presentó 27 genes con un promedio de cobertura del 98.06%, la cepa atenuada sólo presentó

cinco de esos genes, con 81.2% de cobertura (Cuadro 2). En todos los casos, los porcentajes de cobertura e identidad de los genes identificados en la cepa virulenta de *B. bigemina*, fueron más altos que los identificados en la cepa atenuada de laboratorio (Cuadro 3). Este hallazgo de virulencia en la cepa de laboratorio después de múltiples pasajes de la población de parásitos, bajo condiciones óptimas de cultivo in vitro.

Cuadro 1. Cepas de *Babesia bigemina* analizadas en el estudio.

Datos de Secuenciación\Cepa	*B. bigemina* atenuada	*B. bigemina* virulenta
# Contigs	4,017	1,537
Longitud total genoma	9,272,266	11,852,459
Contenido GC (%)	52.3	50.74
Cobertura (X)	264	89
GenBank No. de acceso	PRJNA685856	PRJNA685857

Cuadro 2. Genes de virulencia identificados en el genoma de la cepa virulenta de *B. bigemina*.

Identificación de genes Cepa virulenta de *Babesia bigemina*	No. De Acceso	No. de Contig	% identidad	Valor E
calcium-dependent protein kinase 4	XM_012911530.1	contig00169	99.08	0
calmodulin-domain protein kinase 2	XM_012910710.1	contig00134	98.75	0
cAMP-dependent protein kinase	XM_012914446.1	contig00026	98.88	0
casein kinase I	XM_012913338.1	contig00174	98.62	0
cGMP dependent protein kinase	XM_012914849.1	contig00056	99.21	0
cyclin 4	XM_012914402.1	contig00018	98.62	0
diphosphate kinase family, putative	XM_012913759.1	contig00012	99.34	1E-166
dnaJ C terminal region domian	XM_012910446.1	contig00220	98.74	0
glycerol kinase	XM_012914443.1	contig00026	98.99	4E-160
glycogen synthase kinase-3 alpha	XM_012910925.1	contig00076	98.86	4E-141
Hypotetical gene	XM_012911455.1	contig00674	100	2E-54
merozoite surface glycoprotein	AF298630.1	contig00098	92.31	2E-106
mitogen-activated protein kinase	XM_012912499.1	contig00013	98.23	0
phosphatidylinositol 3-and 4-kinase	XM_012912148.1	contig00156	97.66	0
phosphatidylinositol 4 kinase	XM_012911128.1	contig00059	97.19	0
phosphatidylinositol-4-phosphate 5-kinase	XM_012914497.1	contig00063	99.10	0
phosphatidylinositol-4-phosphate 5-kinase	XM_012910512.1	contig00138	96.47	0

Continúa Cuadro 2…

Identificación de genes Cepa virulenta de *Babesia bigemina*	No. De Acceso	No. de Contig	% identidad	Valor E
Probable fructokinase	XM_012910446.1	contig00220	98.74	0
protein kinase domain	XM_012914171.1	contig00006	98.32	0
putative rhoptry protein	NC_027216.1	contig00167	96.66	0
RAP-1 related antigen	NC_027216.1	contig00003	97.46	0
related serine/threonine protein kinase	XM_012911485.1	contig00028	95.70	0
Ser/Thr protein kinase	XM_012910695.1	contig00064	96.96	0
serine/threonine kinase	XM_012914264.1	contig00171	98.78	0
serine/threonine kinase 1	XM_012914521.1	contig00041	98.23	0
transcription factor TFIIB	XM_012912762.1	contig00016	98.16	0
transcription initiation factor TFIIB	XM_012910684.1	contig00064	98.67	0
			98.06*	

*Cobertura promedio.

Cuadro 3. Genes de virulencia identificados en el genoma de la cepa atenuada de *B. bigemina*.

Identificación de Genes	No. De Acceso	No. de Contig	% identidad	Valor E
cGMP dependent protein kinase	XM_012914849.1	contig00032	84.55	1E-15
calcium-dependent protein kinase 4	XM_012911530.1	contig00066	78.68	6E-32
phosphatidylinositol 4 kinase	XM_012911128.1	contig00009	80.52	2E-46
serine/threonine kinase	XM_012914264.1	contig00035	83.54	4E-24
transcription factor TFIIB	XM_012912762.1	contig00023	78.73	2E-41
			81.20*	

*Cobertura promedio.

Las secuencias de los genes de virulencia, se obtuvieron de una búsqueda de alineación local básica con la herramienta BLAST, y las diferencias entre las cepas fueron notables; mientras que la cepa virulenta presentó 27 genes con una cobertura promedio de 98.06%, la cepa atenuada solo presentó cinco de esos genes con 81.2% de cobertura (Cuadro 2). El tipo más común de genes identificados en ambas cepas, fueron genes parciales putativos; 18 para el tipo virulento y tres para la cepa atenuada. El único gen hipotético identificado, con la secuencia más corta observada y sin diferencias en las bases, pertenece a la cepa virulenta (107 pb; Cuadro 2). El gen más grande (6117 pb) presente en la cepa virulenta, mostró el mayor número

de diferencias en bases (216 pb; Cuadro 2). Se hicieron intentos para predecir si esos genes se traducirían en proteínas.

Para las predicciones de los genes eucariotas, generalmente se utiliza el programa Augustus, que predice el marco de lectura abierta de las proteínas en las seis posibles formas. Desafortunadamente para nosotros, el ensamblaje del genoma se realizó con la secuencia de lecturas aun conteniendo demasiados *contigs*, lo que dificultó la realización de un adecuado análisis bioinformático. Esto se resolverá mediante la realización de secuenciación de genoma de alto rendimiento, en una plataforma denominada "PacBio Single Molecule Real Time (English *et al.*, 2012) o la tecnología de Oxford Nanopore, con el objeto de cerrar huecos o extender los extremos de los *contigs* obtenidos en el ensamblaje de Illumina. Además, considerando que las diferencias fenotípicas entre la cepa atenuada de cultivo y la cepa virulenta incluye la falta de transmisión por garrapatas de la cepa cultivada, se realizó un análisis comparativo de la codificación de genes específicos de quinetos, para proteínas involucradas en el desarrollo de la etapa sexual, u otros genes requeridos para la transmisión de *Babesia* por garrapatas. Varios de los genes que están involucrados en el desarrollo del parásito en la garrapata vector, están bien descritos en la literatura, tales como los genes de la familia hap2 y CCp (Cuadro 3) (Bastos *et al.*, 2013; Alzan *et al.*, 2016; Camacho-Nuez *et al.*, 2017; Bohaliga *et al.*, 2018; 2019). Se encontró que estos genes, estaban bien conservados en ambos genomas analizados con una identidad de secuencia ligeramente superior en la cepa atenuada. Curiosamente, los genes CCp2 y BBBOND fueron identificado en dos *contigs* diferentes y aparentemente faltaban algunos nucleótidos (406 pb y 61 pb, respectivamente). El gen CCp1 descrito en *B. bovis* (Alzan *et al*, 2016) aparentemente falta tanto en el genoma de *B. bigemina* de la cepa virulenta como de la atenuada (Cuadro 3). En cuanto al desarrollo de genes descritos en el Cuadro 3, que parecían tener una homología similar sin importar si pertenecían al aislado avirulento o al virulento, estudios previos han demostrado que los miembros de la familia del gen CCp de *Babesia*, se expresan diferencialmente a lo largo del ciclo de vida y los datos presentados en esos estudios, demostraron que los genes CCcp de *Babesia* se expresan predominantemente durante la replicación del parásito en la garrapata vector (Bastos *et al.*, 2013; Alzan *et al.*, 2016; Camacho-Nuez *et al.*, 2017; Bohaliga *et al.*, 2018; 2019). Si este es el caso de los genes CCp, identificados en este estudio de genómica

comparativa, es necesario mayor investigación y, que actualmente estamos preparando estudios apropiados *in vivo* y experimentos *in vitro* para probar eso por RT-PCR.

Conclusiones

La pérdida de algunos de los factores de virulencia podría reflejarse en la ausencia de síntomas de la enfermedad en ganado inoculado con la cepa atenuada, a pesar de la presencia de infección en los eritrocitos de un hospedero bovino. Esto, tendrá que ser corroborado por el análisis transcripcional en futuros estudios de investigación. Será interesante analizar el repertorio de genes expresados diferencialmente en la cepa atenuada de *B. bigemina* y estudios del transcriptoma están en curso para determinar si se mantiene la expresión génica diferencial o si varía con respecto a la cepa virulenta de *B. bigemina*.

Agradecimientos y fuente financiera

El apoyo técnico fue brindado por la Unidad Universitaria de Secuenciación Masiva y Bioinformática, Instituto de Biotecnología, UNAM. Trabajo parcialmente financiado por CONACYT, Proyecto CB2017-2018 No. A1-S-43508; e INIFAP, Proyecto SIGI No. 1672534936.

Literatura Citada

Altschul, S.F., W. Gish, W. Miller, E. W. Myers and D. J. Lipman. 1990. Basic Local Alignment Search Tool. J Mol Biol. 215: 403-410.

Álvarez, J. A., J. A. Ramos A., E. E. Rojas, R., J. J. Mosqueda G., C. A. Vega M., A. Olvera G. *et al*. 2004. Field challenge of cattle vaccinated with a combined *Babesia bovis* and *Babesia bigemina* frozen immunogen. Ann N Y Acad Sci. 1026: 277-283.

Alzan, H. F., A. O. T. Lau., D. P. Knowles, D. R. Herndon, M. W. Ueti, G. A. Scoles *et al*. 2016. Expression of 6-Cys gene superfamily defines *Babesia bovis* sexual stage development within *Rhipicephalus microplus*. PLoS ONE. 11, e0163791.

Bankevich, A., S. Nurk, D. Antipov, A. A. Gurevich, M. Dvorkin, A. S. Kulikov *et al*. 2012. SPAdes: A new genome assembly algorithm and its applications to single-cell sequencing. J Comput Biol. 19: 455-477.

Bastos, R. G., C. E. Suarez, J. M. Laughery, W. C. Johnson, M. W. Ueti and D. P. Knowles. 2013. Differential expression of three members of the multidomain adhesion CCp family in *Babesia bigemina*, *Babesia bovis* and *Theileria equi*. PLoS ONE. 8, e67765.

Bock, R., J. Jackson, A. de vos and W. Jorgensen. 2004. Babesiosis of cattle. Parasitol. 129: 247-269.

Bohaliga, G. A. R., W. C. Johnson, N. S. Taus, H. E. Hussein, R. G. Bastos, C. E Suarez *et al*. 2018. Identification of a putative methyltransferase gene of *Babesia bigemina* as a novel molecular biomarker uniquely expressed in parasite tick stages. Parasites Vectors. 11, 480.

Bohaliga, G. A. R., W. C. Johnson, N. S. Taus, H. E. Hussein, R. G. Bastos, C. E Suarez *et al*. 2019. Identification of proteins expressed by *Babesia bigemina* kinetes. Parasites Vectors. 12, 271.

Camacho-Nuez, M., D. J. Hernández-Silva, E. J. Castañeda-Ortiz, M. E. Paredes-Martínez, M.K. Rocha-Martínez, M. E. Álvarez-Sánchez *et al*. 2017. Hap2, a novel gene in *Babesia bigemina* is expressed in tick stages, and specific antibodies block zygote formation. Parasites Vectors. 10, 568.

Dalgliesh, R. J., L. L. Callow, L. T. Mellors and W. McGregor. 1981. Development of a highly infective *Babesia bigemina* vaccine of reduced virulence. Aust Vet J. 57(1): 8-11.

Eichenberger, R. M., C. Ramakrishnan, G. Russo, P. Deplazes and A. B. Hehl. 2017. Genome-wide analysis of gene expression and protein secretion of *Babesia canis* during virulent infection identifies potential pathogenicity factors. Sci Rep. 7, 3357.

English A. C., S. Richards, Y. Han, M. Wang, V. Vee, J. Qu *et al*. 2012. Mind the gap: Upgrading genomes with Pacific Biosciences RS long-read sequencing technology. PLoS ONE. 7:e47768

Figueroa-Millán, J. V., G. J. Cantó-Alarcón, J. A. Álvarez-Martínez, R. Loza-Galván, J. A. Ramos-Aragón y C. A. Vega-Murguía. 1998. Capacidad protectora en bovinos de una cepa de *Babesia bigemina* derivada del cultivo in vitro. Tec Pecu Mex. 36:95-107.

Figueroa-Millán, J. V., G. J. Cantó-Alarcón, J. Juárez-Flores y F. Ruíz-López. 1984. Cultivo in vitro de *Babesia bovis*: establecimiento y condiciones óptimas de multiplicación. Téc Pecu Mex. 46: 46-52.

Fish, L., B. Leibovich, Y. Krigel, T. F. McElwain and V. Shkap. 2008. Vaccination of cattle against *B. bovis* infection with live attenuated parasites and non-viable immunogens. Vaccine. 265: G29-G33.

Genis, A. D., J. Perez, J. J. Mosqueda, J. A. Alvarez, M. Camacho, M.L. Muñoz *et al*. 2009. Using msa-2b as a molecular marker for genotyping Mexican isolates of *Babesia bovis*. Infect Genet Evol. 9:1102-1107.

Hernández-Ortiz R., J. A. Álvarez-Martínez, G. M. Buening, G. J. Cantó-Alarcón, M. Monroy-García, J. A. Ramos-Aragón *et al*. 1990. Diferencias en la virulencia y en la inducción de protección de aislamientos de *Babesia bigemina* derivados de cultivo in vitro. Tec Pecu Mex. 28: 51–61.

Jackson A. P., T. D. Otto, A. Darby, A. Ramaprasad, D. Xia, I. E. Echaide *et al*. 2014. The evolutionary dynamics of variant antigen genes in *Babesia* reveal a history of genomic innovation underlying host–parasite interaction. Nucleic Acids Res. 42: 7113–7131.

Kurtz, S., A. Phillippy, A. L. Delcher, M. Smoot, M. Shumway, C. Antonescu *et al*. 2004. Versatile and open software for comparing large genomes. Genome Biol. 5, R12.

Kuttler K. L., J. L. Zaugg and C. E. Yunker. 1988. The pathogenicity and immunologic relationship of a virulent and a tissue-culture-adapted *Babesia bovis*. Vet Parasitol. 27: 239–244.

Levy M. G. and M. Ristic. 1980. *Babesia bovis*: continuous cultivation in a microaerophilous stationary phase culture. Science. 207: 1218-1220.

Mangold, A. J., D. H. Aguirre, M. M. Cafrune, S. T. de Echaide and A. A. Guglielmone. 1993. Evaluation of the infectivity of a vaccinal and a pathogenic *Babesia bovis* strain from Argentina to *Boophilus microplus*. Vet Parasitol. 51: 143-148.

O'Sullivan, P. J. and L. L. Callow. 1966. Loss of infectivity of a vaccine strain of *Babesia argentina* for *Boophilus microplus*. Aust Vet J. 42: 252-254.

Pipano, E. 1995. Live vaccines against hemoparasitic diseases in livestock. Vet Parasitol. 57: 213-231.

Rojas-Martínez, C., R. I. Rodriguez-Vivas, J. V. Figueroa-Millán, C. R. Bautista-Garfias, R. O. Castaneda-Arriola, J. J. Lira-Amaya *et al*. 2018a. Bovine babesiosis: Cattle protected in the field with a frozen vaccine containing *Babesia bovis* and *Babesia bigemina* cultured in vitro with a serum-free medium. Parasitol Intl. 67:190-195.

Rojas-Martínez, C., R. I. Rodriguez-Vivas, J. V. Figueroa-Millán, K. Y. Acosta-Viana, E. J. Gutierrez-Ruiz, C. R. Bautista-Garfias *et al*. 2018b. *Babesia bigemina*: Advances in continuous in vitro culture using serum free medium, supplemented with insulin, transferrin, selenite and putrescine. Parasitol Intl. 67:294-301.

Rojas-Ramírez, E.E., J. J. Mosqueda-Gualito, J. A. Álvarez Martínez, R. Hernandez-Ortiz, J. A. Ramos-Aragón, C. Rojas-Martínez *et al*. 2011. Transmissibility of *Babesia bigemina* and *Babesia bovis* attenuated strains by *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* ticks. Rev Mex Cienc Pecu. 2, 267-281.

Schuster, F. L. 2002. Cultivation of *Babesia* and *Babesia*-like blood parasites: Agents of an emerging zoonotic disease. Clin Microbiol Rev. 15: 365-373.

Strauss, W. M. 2001. Preparation of genomic DNA from mammalian tissue. In Current Protocols in Mol Biol; F. M. Ausubel Ed.; Jhon Wiley & Sons: West Sussex, UK; Volume 42, Chapter 2: Unit 2.2.

Timms, P. and N. P. Stewart. 1989. Growth of *Babesia bovis* parasites in stationery and suspension cultures and their use in experimental vaccination of cattle. Res Vet Sci. 47: 309-314.

Timms, P., N. P. Stewart and A. J. de Vos. 1990. Study of virulence and vector transmission of *Babesia bovis* by use of cloned parasite lines. Infect Immun. 58:2171-2176.

Vega, C. A., G. M. Buening, T. J. Green and C. A. Carson. 1985. In vitro cultivation of *Babesia bigemina*. Am J Vet Res. 46: 416-420.

Yunker, C. E., K. L. Kuttler and L. W. Johnson. 1987. Attenuation of *Babesia bovis* by in vitro cultivation. Vet Parasitol. 24: 7-13.

LA KISSPEPTINA-10 EN DIFERENTES DOSIS EN UN PROTOCOLO DE SINCRONIZACIÓN DE LA OVULACIÓN EN VACAS

Jorge Víctor Rosete Fernández[1*], Abraham Fragoso Islas[1], Ángel Ríos Utrera[2] y Rubén Santos Echeverría[3]

Resumen

La kisspeptina-10 (Kiss-10) en becerras prepúberes y vacas posparto, ha estimulado la secreción de la LH y FSH, pero en un ambiente con progesterona y estrógenos es posible provocar la ovulación y la formación de un cuerpo lúteo. El objetivo fue sincronizar la ovulación Kiss-10 con diferentes dosis para sustituir a la GnRH en un protocolo de sincronización con progesterona, estrógenos y prostaglandinas. Se incluyeron 252 vacas europeo x cebú productoras de becerros para la engorda de tres ranchos cooperantes, a las que se les insertó un dispositivo intravaginal (CIDR) con 1.9 g de progesterona durante 7 días. Al insertar el dispositivo (día 0) se inyectaron vía intramuscular (im) 2 mg de benzoato de estradiol, al retiro del dispositivo (día 7) 0.150 mg de D-cloprostenol im y al día siguiente (día 8) 1 mg de benzoato de estradiol im. Entre 52 y 56 horas posteriores del retiro del CIDR (día 9), las vacas se inyectaron im con la GnRH o Kiss-10. Las vacas se distribuyeron en cuatro grupos: a) GnRH, dosis de 100 µg; b) Kiss-10, dosis de 500 µg; c) Kiss-10, dosis de 1000 µg y; d) Kiss-10, dosis de 1500 µg. La variable de respuesta fue la tasa de ovulación. La ovulación fue detectada por ultrasonografía a los 4 días post-tratamiento con Kiss-10 o GnRH. El modelo incluyó los efectos de rancho, tratamiento anidado en rancho, condición ovárica y condición corporal como covariable. Se analizó con el procedimiento GENMOD de SAS, aplicando una función liga logit para la distribución binomial. El criterio de convergencia aplicado en el análisis de la tasa de ovulación fue 10^{-8}. La tasa de ovulación de las dosis de 1500 µg de Kiss-10 y 100 µg de GnRH (99.9%), no fueron diferentes ($P>0.05$), pero fue mayor ($P<0.05$) que las dosis de 500 (98.5%) y 1000 µg (88.4%) de Kiss-10. Las dosis de 500 y 1000 µg de

[1] 1INIFAP-CIRGOC-S. E. Las Margaritas. *Autor de correspondencia: rosete.jorge@inifap.gob.mx
[2] INIFAP-CIRGOC- C. E. La Posta.
[3] INIFAP-CIRSE-C. E. Iguala.

Kiss-10, no fueron diferentes (P>0.05). La Kiss-10 fue capaz de sincronizar la ovulación al igual que la GnRH.

Palabras clave: vacas, dosis de kisspeptina-10, GnRH, ovulación

Introducción

La kisspeptina que comprende cuatro péptidos (kisspeptina-53, -14, -13 y -10) que actúan a través de receptores GPR54, identificados en las neuronas productoras de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), por lo que es un importante regulador de la función reproductiva (Whitlock *et al*., 2010). Pertenece a una familia de neuropéptidos codificados por el gen Kiss1, producidos en neuronas del hipotálamo y son esenciales reguladores de la liberación de la GnRH y, por lo tanto, son potentes inductores de la secreción de gonadotropinas hipofisiarias (Pinilla *et al*., 2012). De hecho, como se reconoce fisiológicamente que es un regulador de la liberación de la GnRH, interviene en la maduración y función reproductiva, tales como la diferenciación sexual del cerebro, el inicio de la pubertad, la regulación de la secreción de gonadotropinas en animales adultos y el control metabólico de la fertilidad (Pinilla *et al*., 2012). Desde el punto de vista metabólico, el estrés nutricional reduce la concentración circulante del factor de crecimiento semejante a la insulina a IGF-I y leptina y esto se asocia con la reducción de la liberación de la GnRH, de tal manera que en animales con bajo consumo energético y con reservas energéticas bajas, la concentración de IGF-I es baja y causa una reducción en la secreción de la Kisspeptina y la GnRH (Guzmán *et al*., 2012). Aunado a lo anterior, también se reduce la secreción de insulina, que, junto con la leptina, permiten un incremento de la secreción del neuropéptido Y que, a su vez, reduce la secreción de la propiomelanocortina y el péptido similar a la galanina, lo cual también inhibe la secreción de GnRH; por lo tanto, todo lo contrario, causa el incremento de la secreción de kisspeptina y la liberación de la GnRH, favoreciendo la capacidad reproductiva de las hembras bovinas (Guzmán *et al*., 2012).

En estudios en becerras prepúberes, la kisspeptina-10 en dosis de 1, 5 y 10 µg/kg de peso corporal en forma repetida, estimula la liberación de la LH (Santos *et al*., 2012a; Santos *et al*.,

2012b). Además, en otro estudio, también en becerras prepúberes, la administración de kisspeptina-10 en dosis de 5 µg/kg de peso corporal, con altas concentraciones sanguíneas del factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-I) y bajas concentraciones de leptina, indujo incrementos consistentes de la LH, que incluso en algunas becerras indujo la ovulación y la formación de un cuerpo lúteo, sin lograr la ciclicidad estral (Santos *et al.*, 2014), por lo que seguramente con kisspeptina-10 junto con progesterona y estrógenos exógenos, será factible lograr la ovulación, como se ha documentado con la utilización de la GnRH o ECG (Yavas y Walton, 2000; Wilbank, 2002; Roa *et al*., 2012), con la liberación pulsátil de la LH (Báez y Grajales, 2009).

Similarmente, en vacas lecheras en lactación (Whitlock *et al*., 2011) y en vacas de carne en anestro posparto, la kisspeptina fue capaz de estimular la liberación de la LH (Rosete *et al*., 2015). Por lo anterior, existe la posibilidad de que la kisspeptina-10 aplicada en diferentes dosis, con progestágenos y estrógenos exógenos en un protocolo de sincronización de la ovulación, induzca la ovulación en vacas con buena condición corporal. Con base en lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron 1) comparar el efecto inductor de la ovulación de la kisspeptina-10 a dosis diferentes en sustitución de la GnRH en vacas en pastoreo tropical, 2) evaluar el efecto del estado ovárico, anestro o ciclando en la inducción de la ovulación con kisppetina-10 a dosis diferentes en sustitución de la GnRH en vacas en pastoreo, y 3) evaluar el efecto de la condición corporal en la inducción de la ovulación con Kisspeptina-10 a diferentes dosis en sustitución de la GnRH en vacas en pastoreo.

Materiales y Métodos

Lugar de realización

El trabajo se realizó en la región oriente del estado de Puebla, en tres ranchos cooperantes del área de influencia del Sitio Experimental Las Margaritas, en los municipios de Hueytamalco y San José Acateno, en clima subtropical húmedo.

Animales

Se utilizaron 252 vacas producto del cruzamiento entre razas cárnicas europeas y razas cebú con diferentes grados de cruzamiento, de las cuales, al inicio del estudio, algunas estaban

ciclando y con diferente condición corporal, pero no menor a 3 (escala 1 a 5), requisito indispensable para incluirse al estudio de sincronización de la ovulación. Cabe aclarar que las vacas que estuvieron en anestro estaban amamantando a su cría, pero la cría fue separada de su madre al momento de retirar el dispositivo intravaginal; después de determinar la ovulación por ultrasonografía, la cría fue unida a su madre.

Las vacas se mantuvieron en pastoreo rotacional en potreros mixtos de zacates Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), Mulato (*Brachiaria* hibrida I) y gramas nativas (*Axonopus* sp. y *Paspalum* sp.). Se les suministraron minerales a libertad y el agua la consumieron de los abrevaderos naturales.

Se les aplicó un bacterina polivalente contra clostridiasis, pasteurelosis y mannhemia, también se desparasitaron internamente contra vermes pulmonares y gastroentéricos y externamente contra garrapatas. Los animales estaban libres de tuberculosis y brucelosis.

Diagnóstico del estado ovárico

El diagnóstico del estado ovárico se hizo con ultrasonografía con un transductor de 7.5 MHZ para determinar animales en anestro y ciclando al momento de introducir el dispositivo intravaginal (día 0) y para detectar la ovulación por efecto del tratamiento con kisspeptina-10 o GnRH a los cuatro días posteriores de su inyección (día 13).

Grupos experimentales

A todas las vacas se le introdujo un dispositivo intravaginal (CIDR) impregnado con 1.9 g de progesterona que permaneció durante 7 días. Inmediatamente después de introducir el dispositivo (día 0), se aplicaron intramuscularmente (im) 2 mg de benzoato de estradiol, al retiro del dispositivo (día 7) se aplicaron im 0.150 mg de D-cloprostenol y al día siguiente (día 8) se aplicó im1 mg de benzoato de estradiol. En un periodo de 52 a 56 horas posteriores al retiro del CIDR (día 9), las vacas se distribuyeron en 4 grupos para recibir los tratamientos de kisspeptina-10 o GnRH, según el protocolo descrito en la Figura 1. Los tratamientos fueron: a) GnRH en dosis de 100 µg; b) Kisspeptina-10 en dosis de 500 µg; c) Kisspeptina-10 en dosis de 1000 µg y; d) Kisspeptina-10 en dosis de 1500 µg.

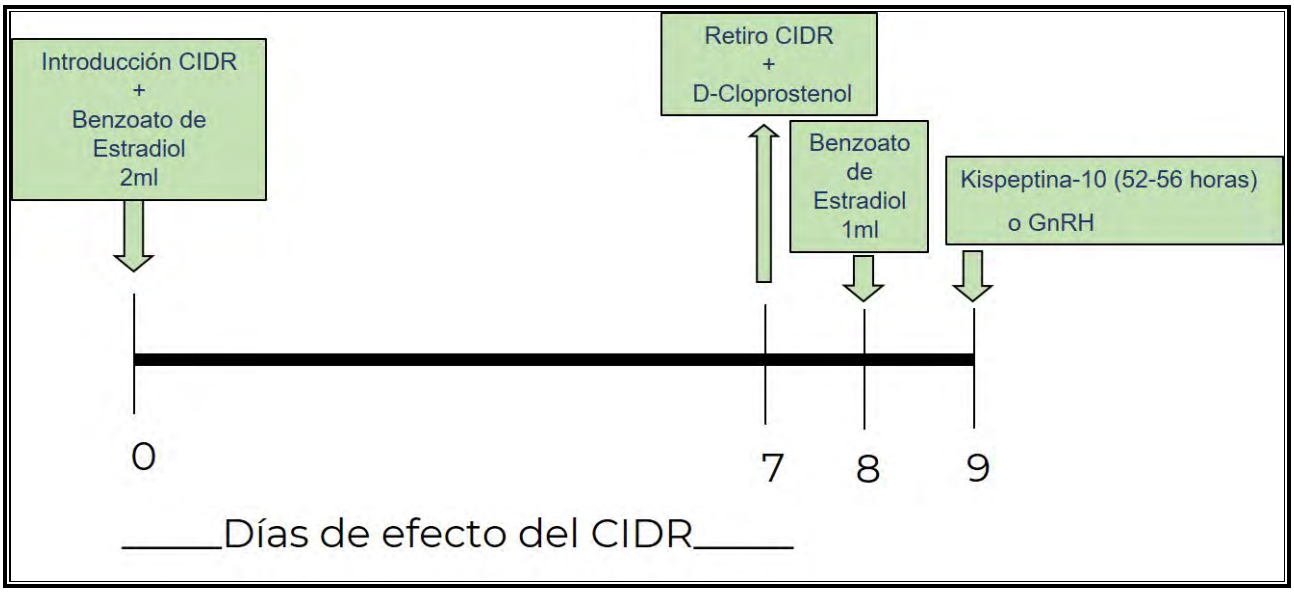


Figura 1. Protocolo de sincronización de la ovulación con un dispositivo intravaginal (CIDR) e inyecciones de benzoato de estradiol, D-cloprostenol, kisspeptina-10 y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH).

Análisis estadístico

La tasa de ovulación se analizó con el procedimiento GENMOD del programa SAS, aplicando una función liga logit para la distribución binomial. El modelo estadístico (de regresión logística) incluyó los efectos de rancho, tratamiento (GnRH o kisspeptina) anidado en rancho, condición ovárica (cuerpo lúteo u ovarios estáticos) y condición corporal de la hembra como covariable. El criterio de convergencia aplicado fue 10^{-8}.

Resultados

En el Cuadro 1 se presentan los valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico (rancho, tratamiento anidado en rancho, condición ovárica y condición corporal) para analizar la tasa de ovulación. Se puede observar que hubo efecto ($P<.05$) de rancho, tratamiento anidado en rancho y condición corporal, sin efecto de condición ovárica ($P>0.05$).

Cuadro 1. Valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico para analizar tasa de ovulación (TO; %).

	TO
Rancho	
Chi-cuadrada	10.95
Probabilidad	0.0042
Tratamiento anidado en rancho	
Chi-cuadrada	9.26
Probabilidad	0.0261
Condición ovárica	
Chi-cuadrada	0.57
Probabilidad	0.4509
Condición corporal	
Chi-cuadrada	32.17
Probabilidad	<0.0001

Las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar e intervalos de confianza al 95% para la tasa de ovulación por rancho (Cuadro 2), muestran que los ranchos A y B tuvieron menor (P<0.05) tasa de ovulación que el rancho C. Entre los ranchos A y B no hubo diferencia (P>0.05) en la tasa de ovulación.

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para tasa de ovulación (%), por rancho.

Rancho	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Rancho A	98.3 ± 1.7[a]	88.8	99.8
Rancho B	99.1 ± 1.0[a]	91.9	99.9
Rancho C	99.9 ± 0.001[b]	97.6	100

[a,b] Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05).

Las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar e intervalos de confianza al 95% para la tasa de ovulación por tratamiento anidado en rancho se muestran en el Cuadro 3. Los ranchos A-GnRH, B-GnRH, C-GnRH y C-Kiss1500, tuvieron la mayor (P<0.05) tasa de

ovulación que los ranchos A-Kiss1000, y B-Kiss500. Entre las dosis de kisspeptina-10 de 500 y 1000, no hubo diferencia (P>0.05) en la tasa ovulatoria.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para tasa de ovulación (%), por tratamiento anidado en rancho.

Tratamiento	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Rancho A-GnRH	99.8 ± 0.37^{ab}	93.9	99.9
Rancho A-Kiss1000	88.4 ± 11.3^{c}	46.9	98.5
Rancho B-GnRH	99.5 ± 0.67^{b}	93.9	99.9
Rancho B-Kiss500	98.5 ± 1.8b^{c}	86.9	99.8
Rancho C-GnRH	99.9 ± 0.002^{a}	98.6	100
Rancho C-Kiss1500	99.9 ± 0.24^{a}	93.8	100

^{a,b,c} Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05).

Como ya se mostró en el Cuadro 1, no hubo efecto (P>0.05) de la condición ovárica (ciclando o no ciclado) al iniciar el tratamiento, esto se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para tasa de ovulación (%), por condición ovárica.

Condición ovárica	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
No ciclando	99.7 ± 0.41	94.8	99.9
Ciclando	99.5 ± 0.58	95.1	99.9

Discusión

El efecto de la kisspeptina-10 sobre la tasa de ovulación, analizado como tratamiento anidado en rancho, muestra que la dosis de 1500 µg por animal fue efectiva al igual que la dosis de GnRH de100 µg por animal en los protocolos de sincronización de la ovulación con dispositivos intravaginales (CIDR); sin embargo, las dosis de 500 y 1000 µg también tuvieron tasas ovulatorias aceptables de 98 y 88%, respectivamente. Asimismo, la kisspeptina-10 mostró su

efectividad al igual que la GnRH para causar la ovulación en vacas que al inicio de los tratamientos no estaban ciclando, pero tenían buena condición corporal. En un estudio en vaquillas, la dosis efectiva para promover la mayor concentración de LH liberada fue de 10 µg/kg por animal (Macedo *et al*., 2019) que, si consideramos que la dosis de 1500 µg por animal como dosis total para una vaca de 500 kg promedio, la dosis sería aproximadamente de 3 µg/kg, la tercera parte de la de 10 µg/kg. Sin embargo, la dosis total de 1500 µg aplicada en este estudio resultó efectiva, pues incluso hubo ovulación.

Se ha documentado que en vacas ovariectomizadas, previamente tratadas con progesterona y estrógenos, se mejora la sensibilidad del eje somatotrópico cuando son tratadas con kisspeptina-10 y respaldan la posibilidad de que la kisspeptina es una integradora de la liberación de la LH y de la hormona del crecimiento (Whitlock *et al*., 2008); por lo tanto, esta puede ser la razón de que en este estudio la aplicación de la kisspeptina-10, junto con progesterona y benzoato de estradiol haya provocado la ovulación.

En los protocolos actuales de sincronización estral (Islam, 2011) y con dispositivos intravaginales, la kisspeptina-10 bien pude ser utilizada en sustitución de la GnRH, toda vez que los resultados de este estudio lo han demostrado, pero esto sucedería si algún laboratorio se interesará, pues la kisspeptina-10 por el momento no es comercial.

Otro aspecto relevante es que en trabajos previos la kisspeptina ha sido administrada por vía intravenosa (Santos *et al*., 2012a; Santos *et al*., 2012b; Santos *et al*, 2014; Rosete *et al*., 2015) y en este estudio como el de otros autores (Macedo *et al*., 2019), mostró su utilidad al ser aplicada por vía intramuscular facilitando su aplicación.

Conclusiones

La kisspeptina-10 en dosis de 1500 µg por vía intramuscular, resulta útil para provocar la ovulación en protocolos de sincronización de la ovulación, sin desestimar las dosis de 500 y 1000 µg por animal.

Agradecimientos

Al INIFAP por el apoyo en recursos financieros y materiales.

Literatura Citada

Báez, S.G. y H. Grajales L. 2009. Anestro posparto en ganado bovino en el trópico. Postpartum anestrus in cattle in the tropic. Rev. Med. Vet. Córdoba. 14(3):1867-1875.

Guzmán, S. A., A.M. Rosales-Torres and C.G. Gutiérrez A. 2012. Neuroendrocrine effects of insulin, IGF-I and leptine on the secretion of the gonadotropin-relasing hormone (GnRH. Trop. and Subtrop.Agroecosist. 15(supl 1):S79-S90.

Islam, R. 2011. Synchonization of estrus in cattle: A review. Veterinay Word. 4(3):136-141.

Macedo, G.G., R.D. Mignoti, E.O.S. Batista, B.M. Monteiro, L.M. Vieira, R.V. Barletta *et al*. 2019. Profile of LH release in response to intramuscular treatment with kisspeptin in *Bos indicus* and *Bos taurus* prepuberal heifers. Theriogenology. 125:64-70. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.10.011 [Consultado el 25 de mayo de 2022].

Pinilla, L., E. Aguilar, C. Dieguez, R.P. Millar and M. Tena-Sempere. 2012. Kisspeptins and reproduction: physiological roles and regulatory mechanisms. Physiol. Rev. 92:1235-1316.

Roa, N., T. Linares, D´Enjoy D´Endel, C. Marín y N. Martínez. 2012. Sincronización del ciclo estral con GnRH y PGF2alfa en vacas con tres tipos morfométricos diferentes en el Llano Venezolano. REDVET. Rev. Electronic. de Vet. Málaga España. 13(11):1-8. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63624842013. [Consultado el 14 de mayo de 2022].

Rosete, F.J.V., B. Hernández L., R. Santos E., B.M. Gómez-Chavarín, G. Perera M., R.C. Calderón R. *et al*. 2015. Respuesta de hormona luteinizante a aplicaciones repetidas de kisspeptina-10 en vacas en anestro posparto. LI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Toluca de Lerdo edo. de México. 2015: 61-63.

Santos, E.R., R.C. Calderón R., J.V. Rosete F., G. Perera M., C. Murcia M., H.R. Vera A. *et al*. 2012a. Efecto de la kisspeptina (KISS-10) administrada en forma repetida en la liberación de la LH inducción de la ovulación y su asociación con la composición corporal y el IGF-1 sérico en becerras prepúberes. XLVIII Reunión Nacional De Investigación Pecuaria, Querétaro. 2012a: 102.

Santos, E.R., R.C. Calderón R., J.V. Rosete F., G. Perera M., C. Murcia M., E. Villagómez A.M. *et al*. 2012b Evaluación de la sensibilidad del eje gonadotrópico a dosis bajas de kisspeptina (KISS-10) en becerras prepúberes. XLVIII Reunión Nacional De Investigación Pecuaria, Querétaro. 2012b: 125.

Santos, E.R., R.C. Calderón R., H.R. Vera A., G. Perera-Marín, J.A. Arreguín A., M.T. Nett *et al*. 2014. Hormona luteinizante y actividad ovárica en respuesta a kisspeptina-10 y su asociación con IGF-1 y leptina en becerras pre-púberes. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 5(2):181-200.

Whitlock, B.K., J.A. Daniel, R.R. Wilborn, S.P. Rodning, H.S. Maxwell, B.P. Steele, J.L. Sartin. 2008. Interaction of Estrogen and Progesterone on Kisspeptin-10-Stimulated Luteinizing Hormone and Growth Hormone in Ovariectomized Cows. Neuroendocrinol. 88:212–215. https://doi.org/10.1159/000146242 [Consultado el 25 de mayo de 2022].

Whitlock, B.K., J.A. Daniel, R.R. Wilborn, H.S. Maxwell, B.P. Steele and J.L. Sartin. 2010. Interaction of kisspeptin and somatotropic axis. Neuroendoc. 92:178-188. http://doi.org/10.1159/000318049 [Consultado el 25 de mayo de 2022].

Whitlock, B.K., J.A. Daniel, R.R. Wilborn, H.S. Maxwell, B.P. Steel and J.L. Sartin. 2011. Effect of kisspeptin on regulation of growth hormone and luteinizing hormone in lactating dairy cows. J. Anim. Sci. Biotech. 2(3):131-140.

Wilbank, M.C. 2002. Physiological classification of anovulatory conditions in cattle. Theriogenology. 57(1):21-52.

Yavas, Y. and J.S. Walton. 2000. Postpartum acyclicity in suckled beef cows. Theriogenology. 54(1):25-55.

KISSPEPTINA-10 EN UN PROTOCOLO DE SINCRONIZACIÓN DE LA OVULACIÓN COMPARADA CON GnRH EN VACAS CRUZADAS

Abraham Fragoso Islas[1*], Jorge Víctor Rosete Fernández[1], Ángel Ríos Utrera[1] y Rubén Santos Echeverría[1]

Resumen

Se hizo una comparación de la kisspeptina-10 (Kiss-10) con la GnRH, en un protocolo de inducción de la ovulación con progesterona, benzoato de estradiol y D-cloprostenol en vacas europeo x cebú destetadas a los 210 días y con condición corporal de 3.5 unidades (1=delgada; 5=obesa). Después del destete, todas las vacas recibieron el protocolo de inducción de la ovulación aplicando dos tratamientos, con inserción y permanencia por 7 días de un dispositivo intravaginal con 1.9 g de progesterona (CIDR), complementado con 2 mg de benzoato de estradiol vía intramuscular (im) al insertar el CIDR, 0.150 mg de D-cloprostenol vía im al retiro del CIDR (día 7) y 1 mg de benzoato de estradiol vía im al día siguiente del retiro del CIDR (día 8), e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) entre 52-56 horas post retiro del CIDR (día 9). Las vacas se dividieron en dos tratamientos que fueron: 1) GnRH, 100 µg vía im al momento de la IATF; y 2) Kiss-10, 1000 µg vía im al momento de la IATF. Las tasas de ovulación y gestación se detectaron a los 4 y 35 días post-IATF, respectivamente, determinadas por ultrasonografía útero-ovárica; estas se trataron como variables binarias, así que 1 fue ovulación o gestación y 0 lo contrario. El modelo estadístico incluyó los efectos de tratamiento (GnRH o Kisspeptina-10) y condición corporal de la hembra como covariable. El análisis se realizó con GENMOD del SAS, con una función liga logit para la distribución binomial. La variable días a segundo servicio se analizó con el procedimiento GLM de SAS. Las tasas de ovulación y gestación para GnRH fue de 96.4 y 54.6%, y para Kiss-10 de 95 y 56.5%, respetivamente, sin haber diferencias entre tratamientos (P<0.05). La

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) *Autor de correspondencia: fragoso.abraham@inifap.gob.mx

Kiss-10 mostró efectividad en la inducción ovulatoria con el protocolo CIDR, complementado con estrógenos y prostaglandinas.

Palabras clave: kiss-10, eCG, anestro posparto, inducción de la ovulación

Introducción

Las biotecnologías reproductivas en la actualidad son herramientas útiles que nos dan la posibilidad de conservar, aprovechar y mejorar los recursos zoogenéticos. Una de estas es la sincronización del estro y en consecuencia de la ovulación, que se ha venido dando cada vez más como una práctica común en hatos lecheros en varios países del mundo (López *et al.*, 2019). En su mayoría llegan a realizar una inseminación artificial a tiempo fijo, sin la necesidad de detectar estros, realizándola a un tiempo considerable después del término del tratamiento de sincronización de la ovulación, reduciendo el efecto de una mala práctica de detección de celos (Islam, 2011; Bó y Baruselli, 2014; Rosete *et al*., 2021). Para el caso de hatos lecheros, los protocolos de sincronización se basan en GnRH y/o PGF2α, y su combinación (Mondal *et al*., 2015). En el ganado productor de carne y de doble propósito, en la sincronización e inducción estral, la progesterona tiene una función fundamental complementada con otras hormonas como GnRH (Zarate *et al*., 2010; De la Torre *et al*., 2009; Chaga *et al*., 2009), eCG (Rosete *et al*., 2009) y/o estrógenos (Pérez *et al*., 2015) mostrando buena efectividad, en vacas y vaquillas en pastoreo. Con respecto al conocimiento de la Kisspeptina-10, se ha documentado que en becerras prepúberes produjo la liberación de LH emulando un pulso en inyecciones intravenosas repetidas y en diferentes dosis, lográndose buena respuesta en dosis de 1 a 5 µg/kg de peso (Villa Godoy *et al*., 2018; Alamilla *et al*., 2017; Santos *et al*., 2012), presentándose la ovulación determinada por la formación de un cuerpo lúteo en el 28.5% de becerras prepúberes (Santos *et al*., 2014) y que en vacas de carne con amamantamiento continuo produjo la liberación de LH semejante a un pulso al ser aplicada cada 2 h por tres ocasiones (Rosete *et al*., 2015). Una de las principales funciones de la kisspeptina-10 es la estimulación del eje hipotálamo-pituitaria-gónadas, a través de su efecto directo sobre las neuronas liberadoras de GnRH hipotalámicas (Rizzo *et al.*, 2018;

Hernández, 2016). Por lo tanto, la kisspeptina-10 podría ser una alternativa viable para la inducción de la ovulación en protocolos de sincronización estral e incluso, inducción de la ovulación para realizar la inseminación artificial a tiempo fijo. El objetivo fue inducir la ovulación con kisspeptina-10 en sustitución de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), en un protocolo con progesterona en un dispositivo intravaginal e inyecciones de benzoato de estradiol y D-cloprostenol en vacas de carne europeo x cebú sin cría al pie en pastoreo tropical.

Material y Métodos

El estudio se realizó en clima subtropical húmedo en el estado de Puebla con 24 vacas de carne europeo x Cebú en pastoreo, complementadas con minerales a discreción y el agua la consumían en abrevaderos naturales, destetadas con 210 días posparto en promedio y 3.5 unidades de condición corporal (1 delgada y 5 obesa), que se asignaron a dos tratamientos de inducción de la ovulación, los cuales consistieron en la aplicación de 1.9 g de progesterona en un dispositivo intravaginal para bovinos (CIDR) permaneciendo dentro de la vagina por 7 días. Al mismo momento de la inserción del CIDR (día 0), se aplicaron 2 mg de benzoato de estradiol vía intramuscular (im), al retiro del CIDR (día 7), se aplicaron 0.150 mg de D-cloprostenol im y al día siguiente (día 8) se aplicó 1 mg de benzoato de estradiol im. Todas las vacas se inseminaron a tiempo fijo (IATF) entre 52-56 h del retiro del CIDR (día 9). Los tratamientos difirieron entre sí en: 1) Hormona Liberadora de Gonadotropina (GnRH), aplicando 100 µg im al momento de la IATF; y 2) Kisspeptina-10 (Kiss-10): aplicado1000 µg im al momento de la IATF. El diagnóstico del estado útero-ovárico (anestro y ciclando) al inicio de los tratamientos (día 0), la ovulación a los 4 días de la IATF (día 9) y la gestación pos IATF (día (35), se hizo con ultrasonografía con sonda de 7.5 MGz. Las tasas de ovulación, gestación a primer servicio, gestación a segundo servicio, gestación acumulada y mortalidad embrionaria, fueron consideradas variables binarias, por ejemplo, si una hembra ovuló en respuesta al tratamiento, la tasa de ovulación se codificó como 1; en caso contrario (no ovuló), se codificó como 0. Los días al segundo servicio se consideraron como una variable continua. Las variables estado ovárico, tasas de ovulación, gestación y mortalidad embrionaria. La

información se analizó con el procedimiento GENMOD del programa SAS, aplicando una función liga logit para la distribución binomial. El modelo estadístico preliminar (modelo de regresión logística) incluyó los efectos de tratamiento (GnRH o Kisspeptina-10) y condición corporal de la hembra como covariable. El criterio de convergencia aplicado en los análisis de las tasas fue 10-8. El modelo estadístico definitivo incluyó la condición corporal de la hembra solo cuando ésta fue significativa ($P<0.05$). La variable días a segundo servicio se analizó con el procedimiento GLM de SAS.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1, se muestran los valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico para analizar tasa de ovulación, tasa de concepción a primer servicio, tasa de concepción a segundo servicio, tasa de concepción acumulada, mortalidad embrionaria y días a segundo servicio.

Cuadro 1. Valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico para analizar tasa de ovulación (TO), tasa de concepción a primer servicio (TC1S), tasa de concepción a segundo servicio (TC2S), tasa de concepción acumulada (TCA), Mortalidad embrionaria (MT) y días a segundo servicio (D2S).

	TO	TC1S	TC2S	TCA	MT	D2S
Tratamiento						
Chi-cuadrada	0.06	0.05	0.01	0.01	0.06	3.71
Probabilidad	0.8084	0.8246	0.9046	0.9046	0.8084	0.0670
Condición corporal						
Chi-cuadrada	-	7.57	10.72	10.72	-	-
Probabilidad	-	0.0059	0.0011	0.0011	-	-

El efecto de GnRH y Kiss-10 en la inducción de la ovulación y gestación, se muestra en el Cuadro 2, sin ser diferentes ($P<0.05$).

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos, error estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC) para las tasas de ovulación y gestación a primer servicio, por tratamiento.

Tratamiento	N	Tasa de ovulación (%)		Tasa de gestación (%)	
		Media ± EE	IC	Media ± EE	IC
GnRH	12	96.4 ± 3.5 [a]	78.6 – 99.5	36.8 ± 10.4 [a]	19.5 – 58.4
Kiss-10	12	95.0 ± 4.9 [a]	71.8 – 99.3	33.4 ± 11.2 [a]	15.7 – 57.4

GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas, Kiss-10: kisspeptina-10
[a]Medias con la misma literal no son diferentes (P<0.05).

En el Cuadro 3, se muestra la tasa de gestación a segundo servicio y días a segundo servicio, por tratamiento sin ser diferentes (P<0.05).

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y su error estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para tasa de concepción a segundo servicio (%) y para días a segundo servicio, por tratamiento.

Tratamiento	N	Tasa de gestación segundo servicio (%)		Días a segundo servicio	
		Media ± EE	IC	Media ± EE	IC
GnRH	12	54.6 ± 11.1 [a]	33.4 – 74.2	21.2 ± 0.54 [a]	20.1 – 22.3
Kiss-10	12	56.5 ± 11.9 [a]	33.5 – 77.0	22.6 ± 0.46[a]	21.6 – 23.5

GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas, Kiss-10: kisspeptina-10
[a]Medias con la misma literal no son diferentes (P<0.05).

Finalmente, en el Cuadro 4, se muestra la tasa de mortalidad embrionaria, por tratamiento, no habiendo diferencias (P<0.05).

Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos y su error estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para mortalidad embrionaria (%), por tratamiento.

Tratamiento	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
GnRH	3.6 ± 3.5 [a]	0.5	21.4
Kiss-10	5.0 ± 4.9 [a]	0.7	28.2

GnRH: hormona liberadora de gonadotropinas, Kiss-10: kisspeptina-10
[a]Medias con la misma literal no son diferentes (P<0.05).

Discusión

La Kiss-10 indujo la ovulación, pero en mayor proporción que en los trabajos de Santos *et al*. (2014), esto probablemente debido a la combinación con las hormonas progesterona y estrógenos en el protocolo de inducción de la ovulación, ya que en un trabajo donde se utilizó la kisspeptina-10 con los esteroide ováricos (progesterona y estrógenos), mejoró la concentración plasmática de la hormona luteinizante y la concentración plasmática de la hormona del crecimiento, al mejorar la sensibilidad del eje somatotropico (Whitlock *et al*., 2008). El efecto de la Kiss-10 en la inducción de la ovulación mostrado en este estudio, permite hacer posible la modificación de los protocolos hasta ahora ya conocidos y utilizados en la práctica de la medicina veterinaria (Chaga *et al*., 2009; Rosete *et al*., 2009). Por otro lado, con el conocimiento de que la progesterona es fundamental para lograr la sincronía del estro y la ovulación en vacas y vaquillas, en otro experimento con vacas Criollas con amamantamiento restringido, se aplicaron, además de progesterona intravaginal (CIDR), 50 mg más de progesterona por vía intramuscular; sin embargo, la concepción no mejoró, a pesar de que todas las hembras presentaron estro (Zárate-Martínez *et al*., 2010), esto permite aseverar que la progesterona en la dosis de 1.9 g en el dispositivo intravaginal CIDR usado en este estudio, fue suficiente para el propósito de inducir la ovulación y lograr la concepción en las vacas tratadas con la Kiss-10. Con el conocimiento de que en animales ciclando, el estro se sincroniza con progesterona en un dispositivo intravaginal y con la inyección de prostaglandinas, donde se puede sustituir la GnRH por una sal de estradiol, y que, en vacas en anestro, además del estradiol se incluye la inyección de la eCG al retiro del dispositivo (Vera *et al*., 2015), la kiss-10, al ser un bioestimulador del eje hipotálamo-pituitario-gónadas por su efecto directo sobre las neuronas liberadoras de GnRH hipotalámicas (Villa Godoy *et al*., 2018; Santos *et al*., 2014), es factible incluirla en protocolos de inducción y sincronización de vacas, en sustitución de la GnRH, como lo muestra el presente trabajo, tomando en cuenta el tiempo posparto y la condición corporal. Considerando que la condición corporal es un indicador del buen estado alimenticio de la vaca y que teniendo buena condición corporal preparto y posparto, como reflejo de aumento de peso, mejora la fertilidad, gestándose pronto después del parto (Rodríguez *et al*., 1979) y que esto se asocia con altas concentraciones del factor de crecimiento semejante a la insulina tipo 1 (IGF-1), leptina e insulina, que en conjunto

favorece, el reinicio de la actividad ovárica posparto (Ciccioli *et al*., 2003). Por lo que en el presente estudio se seleccionaron las vacas para los respectivos tratamientos con condición corporal promedio de 3.5 en una escala de 1 a 5 unidades, no habiendo diferencias para tasa de ovulación, ni para tasa de concepción. Por lo tanto, las hembras que ingresan al empadre con sincronización estral deben tener buena condición corporal (>2.5 unidades), pues alimentar a vacas en anestro con baja condición corporal (<2.5 unidades) durante poco tiempo antes del empadre, no es suficiente para asegurar aumento de la ganancia de peso y mejorar la presentación de estros y la fertilidad, aun sincronizadas correctamente (Rosales-Torres *et al*., 2017).

Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye que la kisspeptina-10 tuvo un efecto similar a la GnRH, al incluirla en el protocolo de inducción de la ovulación y, además, se pudo observar un efecto semejante en la gestación, manifestando su utilidad para este propósito en los protocolos actuales utilizando un dispositivo intravaginal con progesterona. Por lo que la documentación de este estudio, demuestra que el uso de la Kisspeptina-10 en un protocolo hormonal para la inducción de la ovulación con la finalidad de inseminar artificialmente a tiempo fijo en vacas de carne europeo x cebú en pastoreo, es una opción factible de utilizarse.

Literatura Citada

Alamilla, R.M., R.C. Calderón R., J.V. Rosete F., K. Rodríguez H., H.R. Vera A., J.A. Arreguín A., *et al*. 2007. Kisspeptina en becerras prepúberes: I. Influencia de la edad en la respuesta de LH, FSH y GH a kisspeptina-10 y su asociación con IGF-I, leptina y estradiol. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 8(4):375-385.

Bó, G.A. and P. Baruselli S. 2014. Synchronization of ovulation and fixed-time artificial insemination in beef cattle. Animal. 8(1): 144.150.

Chaga, L.E., J.P. Zárate M., J. Rosas P., F. Alpírez M. y B. Domínguez M. 2009. Niveles séricos de progesterona e inseminación artificial a tiempo fijo y a 12 horas posteriores al estro en vaquillas cruzadas utilizando los protocolos CO-SYNCH-CIDR y Crestar plus. *In:* Memoria de la XXII Reunión científica tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz. 478-187.

Ciccioli, N.H., P. Wettemann R., J. Spicer L., A. Lents C., J. White F. and H. Keisler D. 2003. Influence of body condition at calving and postpartum nutrition on endocrine function and reproductive performance of primiparous beef cows. J Anim Sci. 81(12):3107-31020.

De la Torre, S.J.F., I. Galavíz R., A. Estrada M., E. Villagómez A. y E.P. Ortíz M. 2009. Evaluación de un esquema de inducción/sincronización del estro en vacas Angus y Limousin con cría al pie. Resumen XLV Reunión de Investigación Pecuaria. Saltillo Coahuila.76 B7.

Hernández, C.J. 2016. Fisiología clínica de la reproducción de bovinos lecheros. ISBN: 978-607-02-8690-2. 18-30.

https://fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia_Clinica.pdf [Consultado el 10 de junio de 2022].

Islam R. 2011. Synchronization of estrus in cattle: A review. Veterinary Word. 4(3): 136-141.

López, R.R., G. Celis P., G. Tovar C., A. García G. and J. García B. 2019. Ovarian follicular dynamics in caqueteño creole cattle breed at the colombian amazon piedmont. Am J Anim Vet Sci. 14(2):101–110.

Mondal, M., K. Baruah K., M. Karunakaran., K. Ghosh M. and K. Dutta T. 2015. Development of a new kisspeptin based method of ovulation synchronization for crossbred dairy heifers. Journal of Dairy Science and Technology. ISSN: 2319-3409(online), ISSN: 2349-3704(print), (4)3. 12-16.

Pérez, Q.L.A., J. Artunduaga R. y R. López R. 2015. Evaluación de dos protocolos de inseminación artificial a término fijo (IATF) con dos inductores de ovulación (benzoato de estradiol y cipionato de estradiol) en vacas raza criollo caqueteño en el departamento del Caquetá. Rev. Electrón. vet. http://www.veterinaria.org/revistas/redvet. ISSN 1695-7504. 16 (9): 1-11. http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090915.html. [Consultado el 16 de mayo de 2022].

Rizzo, A., E. Ceci, C. Guaricci A. and L. Sciorsci R. 2018. Kisspeptin in the early postpartum of the dairy cow Kisspeptin in bovine postpartum. Italia. doi: 10.1111/rda.13325. [Consultado el 01 de junio de 2021].

Rodríguez, R.O.L., A. Rodríguez R., R. Zambrano G. y E. González P. 1979. Comportamiento reproductivo de vacas con aumentos de peso controlados antes y después del parto. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 36: 40-46.

Rosete, F.J.V., R. Faustino C., A. Fragoso I., A. Ríos U. y V.E. Vega M. 2009. Inducción estral en vacas de carne con norgestomet y gonadotropina coriónica equina durante una época de empadre. Resumen. XXXIII Congreso Nacional de Buiatría. 282 p.

Rosete, F.J.V., B. Hernández L., R. Santos E., M. Gómez-Chavarín B., G. Perera M., R.C. Calderón R. *et al*. 2015. Respuesta de hormona luteinizante a aplicaciones repetidas de kisspeptina-10 en vacas en anestro posparto. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. 1(1):61-63.

Rosete, F.J.V., H. Álvarez G., D. Urbán D., A. Fragoso I., M.A. Asprón P., A. Ríos U., S. Pérez R. y J.F. De la Torre. 2021. Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 12(supl3): 39-78.

Rosales-Torres, A.M., Z.B. López-Cedillo, C.G. Hernández-Coronado, J.V. Rosete-Fernández, G.D. Mendoza and A. Guzmán. 2017. Short-term dietary concentrate supplementation during estrus synchronization treatment in beef cows increased IGF-1 serum concentration but did not affect the reproductive response. Trop Anim Health Prod. 49(1):221-226.

Santos, E.R., R.C. Calderón R., J.V. Rosete F., G. Perera M., C. Murcia M., M.E. Villagómez A. *et al.* 2012. Evaluación de la sensibilidad del eje gonadotrópico a dosis bajas de kisspeptina (KISS-10) en becerras prepúberes. Resumen. XLVIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Querétaro. 125 p.

Santos, E.R., R.C. Calderón R., H.R. Vera A., G. Perea M., J.A. Arreguín A., M. Nett T. *et al*. 2014. Hormona luteinizante y actividad ovárica en respuesta a kisspeptina-10 y su asociación con IGF-1 y leptina en becerras prepúberes. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 5(2):181-200.

Vera, A.H.R., A. Villa G., H. Jiménez S., H. Álvarez G., J.F. De La Torre S., C.G. Gutiérrez A. *et al.* 2015. Eficiencia reproductiva de los bovinos en el trópico. En: Rodríguez RO, González PE, Dávalos FJL editores. Estado del arte sobre investigación e innovación tecnológica en ganadería bovina tropical. Primera edición. Ciudad de México, México: REDGATRO-CONACYT.153-192.

Villa Godoy, A., R. Santos E., J.V. Rosete F., R.C. Calderón R., G. Perera M., J.A. Arreguín A. y M. Nett T. 2018. Kisspeptina en becerras prepúberes: 2. Respuesta de LH, FSH y GH a distintas dosis de kisspeptina-10 y su asociación con IGF-I y leptina circulantes. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 9(4):719-737.

Whitlock, B. K.,·A. Daniel J., R. Wilborn R., P. Rodning S., S. Maxwell H., P. Steele B. and L. Sartin J. 2018. Interaction of Estrogen and Progesterone on Kisspeptin-10-Stimulated Luteinizing Hormone and Growth Hormone in Ovariectomized Cows. Neuroendocrinology 88:212–215.

Zárate-Martínez, J.P., J.A. Ramírez G. y F.A. Rodríguez A. 2010. Comportamiento reproductivo de vacas criollas con amamantamiento restringido y sincronización del estro. Agronomía Mesoamericana. 21(1):121-130.

SINCRONIZACIÓN DE ESTROS EN OVEJAS MEDIANTE DISPOSITIVOS INTRAVAGINALES REUTILIZADOS Y GONADOTROPINA CORIÓNICA EQUINA

Susana López García[1], María Teresa Sánchez Torres[1]*, José Luis Cordero Mora[1], Jose Luis Figueroa Velasco[1], José Alfredo Martínez Aispuro[1], José Luis García Cué[2], y Mario Cárdenas León[3]

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de protocolos de sincronización largos a base de dispositivos intravaginales reutilizados (CIDR) asociado a gonadotropina coriónica equina (eCG) sobre las variables reproductivas en ovejas (Kathadin × Dorset). Los CIDR fueron utilizados en un estudio previo durante 11 días en ovejas del mismo rebaño, fueron lavados y desinfectados antes de su reutilización. Se utilizaron 64 ovejas en época reproductiva, asignadas en cuatro grupos experimentales (n=16). Los tratamientos fueron: grupo 12 días con CIDR y 300 UI de eCG; grupo 12 días con CIDR y 400 UI de eCG; grupo 10 días con CIDR y 300 UI de eCG; grupo 10 días con CIDR y 400 UI de eCG. El diseño fue completamente al azar. El porcentaje de presentación de estro fue del 100% en los cuatro tratamientos. En cuanto al inicio del estro, porcentaje de gestación, porcentaje de fertilidad, tipo de parto e índice de prolificidad, no hubo diferencias entre grupos (P>0.05). La concentración de progesterona fue mayor (P<0.05) en las ovejas del grupo con 10 días de permanencia de CIDR. En conclusión, los CIDR reutilizados por segunda vez asociados a 300 y 400 UI de eCG para la sincronización del estro en ovejas, son efectivos para obtener buen porcentaje de gestación; así mismo, la dosis de 400 UI de eCG asegura altos índices de prolificidad.

Palabras clave: progesterona**,** reutilización, variables reproductivas

[1] Colegio de Postgraduados, Programa de Ganadería, Texcoco, Estado de México, México. E-mail: *teresa@colpos.mx
[2] Colegio de Postgraduados, Programa de Socioeconomía, Estadística e Informática, Texcoco, Estado de México, México.
[3] Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, Laboratorio de Biología de la Reproducción, Tlalpan, Ciudad de México, México.

Introducción

El CIDR es un dispositivo intravaginal impregnado con 0.3 g progesterona natural (Wheaton *et al*., 1993) diseñado para su uso durante 12 a 14 días en ovejas (Viñoles *et al*., 2001), el dispositivo inhibe la secreción de GnRH en el hipotálamo y como consecuencia evita la liberación de gonadotropinas, especialmente LH en la hipófisis anterior (Rubianes *et al*., 2003). Una vez retirado el CIDR, se aplica una inyección de gonadotropina coriónica equina (eCG) (Abecia *et al*., 2011) que tiene efecto luteinizante (LH) y folículo estimulante (FSH), para aumentar la velocidad de ovulación (Quintero-Elisea *et al*., 2011; Martinez-Ros *et al*., 2018).

Algunos estudios con CIDR reutilizados han sido realizados (Cox *et al*., 2012; Pinna *et al*., 2012; Bazzan *et al*., 2013; Silva *et al*., 2014) con buena respuesta a estro (Vilariño *et al*., 2011; Swelum *et al*., 2018). Los resultados indican que, al reutilizarlo en protocolos largos, el costo del CIDR se reduce a la mitad (Swelum *et al*., 2019) y la contaminación ambiental disminuye, debido a la menor cantidad de progesterona residual (González-Bulnes y Contreras-Solís, 2012). Las características de los dispositivos permiten que se laven, desinfecten y se reutilicen sin consecuencias significativas en los parámetros reproductivos en ovinos (Vilariño *et al*, 2011; Pinna *et al*., 2012; Swelum *et al*., 2018).

Los trabajos antes mencionados, se realizaron en países con condiciones climatológicas y con razas de ovejas diferentes a las que se producen en México, por lo cual se consideró importante hacer un estudio con ovejas (Kathadin×Dorset) adaptadas a las condiciones climáticas del estado de México (Partida de la Peña *et al*., 2017), entidad con mayor producción de ovinos en este país (SIAP, 2019) y de esta forma, obtener datos sobre variables reproductivas que puedan aportar información relevante a productores de la región, que les permita conseguir mayor producción de corderos por año, a un menor costo y al mismo tiempo evitar contaminación ambiental, por el desecho de dispositivos con altos contenidos hormonales. El objetivo de la presente investigación fue determinar el tratamiento de sincronización con mejor respuesta, sobre variables reproductivas en ovejas a partir de cuatro combinaciones entre los días de permanencia de CIDR reutilizado (10 y 12 días) y 300 o 400 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG).

Materiales y Métodos

El estudio se realizó entre los meses de mayo y octubre del 2019 en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, México (Latitud Norte 19°27´18" y Longitud Oeste 98°54´26"), a una altura de 2220 msnm. Con clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

Se utilizaron 64 hembras ovinas (Katahdin × Dorset) sexualmente maduras, con peso promedio de 46 kg y condición corporal 3 en escala 1 al 5, estabuladas y alimentadas con heno de avena, alfalfa, pellet comercial con 14% de PC. y acceso *ad libitum* al agua. Antes de iniciar el estudio se descartó gestación por medio de ultrasonografía. Las ovejas fueron tratadas con dispositivos intravaginales CIDR® (330 sheep & goat insert, ZOETIS) reutilizados, y una inyección de gonadotropina coriónica equina (eCG) (NOVORMON 5000® de Virbac). Los tratamientos consistieron en: grupo 10 d con CIDR-300 UI de eCG; grupo 10 d con CIDR-400 UI de eCG; grupo 12 d con CIDR-300 UI de eCG; grupo 12 d con CIDR-400 UI de eCG (Figura 1). Los CIDR se utilizaron anteriormente durante 11 días en ovejas del mismo rebaño; a su retiro fueron lavados con agua purificada, secados y mantenidos en refrigeración hasta 24 horas previas a su reutilización.

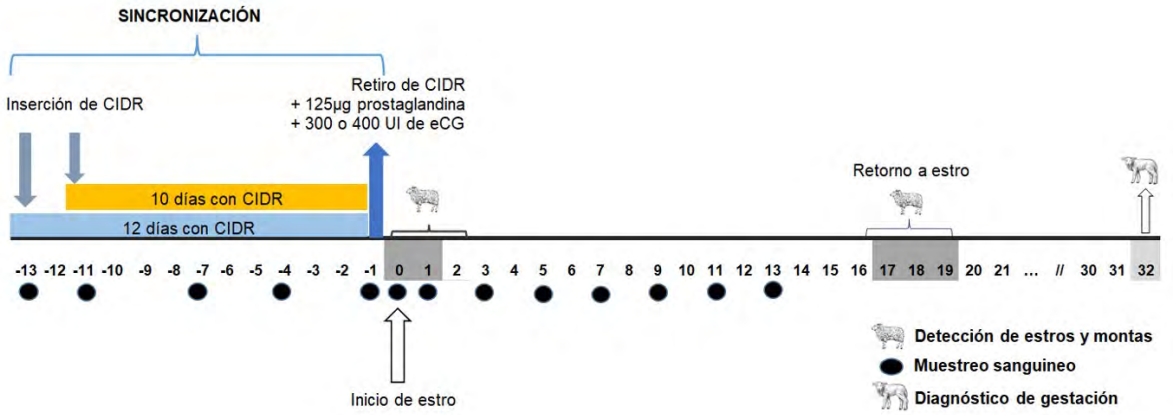


Figura 1. Protocolo de sincronización de estros.

Tratamientos: 10 días con CIDR reutilizado y 300 UI de eCG, 10 días con CIDR reutilizado y 400 UI de eCG, 12 días con CIDR reutilizado y 300 UI de eCG, 12 días con CIDR reutilizado y 400 UI de eCG.

La detección de estros, inició 24 horas después del retiro del CIDR (día 0). Para el empadre, se utilizaron 19 machos con fertilidad probada, asignados al azar a cada hembra que entró en estro. El porcentaje de gestación, se determinó por ultrasonografía con equipo Sonovet 600 y transductor transrectal de 7.5 Mhz 30 días después del periodo de empadre. El porcentaje de fertilidad, índice de prolificidad y tipo de parto (sencillo o doble) se determinaron mediante el registro de partos.

Las muestras de sangre para determinar concentraciones de progesterona en suero, se obtuvieron de la vena yugular en 10 hembras de cada grupo, elegidas al azar de acuerdo a la figura 1. Los muestreos se iniciaron el día -13 (día de inserción de los CIDR en el grupo 12 d con CIDR-300 UI de eCG y el grupo tratado con 12 d con CIDR-400 UI de eCG) y el último muestreo se realizó el día 17 post estro en todas las borregas. Las muestras se centrifugaron a 1500 *gx* durante 20 minutos a 4°C, el suero obtenido se almacenó a -20°C hasta su análisis. Las concentraciones de progesterona (P_4) se determinaron mediante Radioinmunoanálisis (RIA) con el kit comercial PROGESTERONE [I^{-125}] RIA® con una sensibilidad de 0 a 37.7 ng/ml. Los coeficientes de variación intra e interensayo fueron de 7.6 y 8.2% respectivamente.

Los resultados de las variables inicio de estro e índice de prolificidad, fueron analizados mediante test de normalidad de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianza de Levene. Al no cumplir con normalidad y homocedasticidad, se aplicó la prueba de Kruskal Wallis. En las variables dicotómicas como presencia de estro (presentó estro o no presentó estro), porcentaje de gestación, porcenjaje de fertilidad y tipo de parto (sencillo o mellizos) se usó la prueba de χ^2 mediante tablas de contingencia. La variable concentración de progesterona (P_4) se analizó mediante medidas repetidas, a través del tiempo utilizando un modelo mixto con estructuras de error autorregresivo de Orden 1 (AR1). También se calcularon medias de mínimos cuadrados, aplicando la prueba de Tukey-Kramer. Para todos los análisis se consideró diferencia significativa (α=0.05). Los datos se analizaron con el programa SAS versión 9.4 para Windows (2010).

Resultados y Discusión

En el estudio, la presencia de estro fue del 100%, similar a la respuesta obtenida por Vilariño *et al*. (2013) y Pinna *et al*. (2012) quienes mencionan que, el uso de dispositivos reutilizados es tan efectivo como el uso de dispositivos nuevos para sincronizar estros y ovulación. Respecto al inicio de estro, desde las 24 h después del retiro del CIDR, el 37.50% (6/16) de las borregas del grupo 10 d con CIDR-400 IU eCG, iniciaron la presencia del estro (Cuadro 1), los resultados fueron similares a los encontrados por Biehl *et al*. (2019) al aplicar 300 UI de eCG, quienes reportan un promedio de 34.9 h, con mayor presencia de estro entre las 36 a 41.9 h. El uso de eCG reduce el intervalo de ovulación, acelerando la presentación del estro (Cox *et al*. 2012) al estimular un mejor reclutamiento y maduración de folículos y ovocitos (Manes y Ungerfeld, 2015).

Cuadro 1. Respuesta en variables de tratamientos CIDR (10 y 12 días) y diferentes dosis de eCG (300 y 400 UI) sobre las variables reproductivas.

Variable	Tratamiento				
	10 d con CIDR-300 UI de eCG	10 d con CIDR-300 eCG	12 d con CIDR-400 eCG	12 d con CIDR-400 eCG	X^2-value
Inicio de estro (h)	30.00±3.79	28.13±3.61	30.75±3.79	28.88±2.42	0.1583
Gestación (%)	93.75 (15/16)	81.25 (13/16)	75.00 (12/16)	87.50 (14/16)	0.4992
Fertilidad (%)	87.50 (14/16)	81.25 (13/16)	75.00 (12/16)	87.50 (14/16)	0.7512
índice de prolificidad	1.43	1.82	1.36	1.69	0.0904
Tipo de parto					
Sencillo (%)	57.14	23.08	58.33	28.57	0.1332
Doble (%)	42.86[b]	76.92[a]	41.67[b]	71.43[a]	0.1332

En las variables tasa de gestación y tasa de fertilidad no se observaron diferencias entre grupos (P>0.05). El porcentaje de gestación total fue de 84.38% y fertilidad de 82.8%, resultados mayores a lo reportado por Silva *et al*. (2014), quienes obtuvieron de 73.3% de gestación con CIDR nuevos, 72.7 y 64.7% en la primera y segunda reutilización, con un protocolo de 6 días con CIDR, 250 UI de eCG y 0.263 mg de cloprostenol sódico.

A pesar que los protocolos largos basados en P_4 y eCG se asocian a alteraciones en la calidad de los ovocitos (formación de folículos persistentes, maduración nuclear prematura), que

determinan tasas de fertilización bajas y desarrollo embrionario deteriorado (Viñoles *et al*., 2001; Berlinguer *et al*., 2007, Swelum *et al*., 2019), en el presente estudio se obtuvo buena respuesta en las tasas de gestación y fertilidad al asociar protocolos largos con dosis de 300 y 400 UI de eCG, aunque se observa el mejor porcentaje de gestación (93.75%) al utilizar 10 d con CIDR-300 UI de eCG. En un estudio realizado por Biehl et al. (2019) en protocolos de 7 y 11 días en ovejas Santa Inés, encontraron que en el protocolo largo aumentó (P = 0.07) el porcentaje de gestación (33%) en comparación al protocolo corto (24%) con inseminación artificial a tiempo fijo (ITF). La tasa de gestación y tasa de fertilidad, están asociadas a la eficiencia de los dispositivos reutilizados durante 10 y 12 días, al inhibir la secreción de GnRH, induciendo a su retiro la dinámica folicular y estimulando la secreción de LH y FSH en ovejas (Arbués *et al*., 2018), también se puede explicar por el efecto de utilizar 300 y 400 IU eCG, ya que la aplicación de esta hormona favorece el crecimiento folicular, incrementa el índice de ovulación y de concepción (Quispe *et al*. 1995; Boscos *et al*. 2002).

En el presente estudio se registró un índice de prolificidad de 1.58, sin diferencias entre grupos (P>0.05), el cual indica una buena tasa de ovulación, ya que las ovejas Dorset y Katahdin son razas con un índice de prolificidad de 1.2 a 1.66 (Wildeus, 2000). La dosis de 400 UI de eCG, favoreció el porcentaje de partos dobles y el índice de prolificidad al modificar la tasa ovulatoria. La eCG en dosis altas en protocolos de sincronización e inducción de estros, causa un efecto superovulatorio en las ovejas y por consiguiente un incremento en la prolificidad (Zeleke *et al*., 2005; Azawi y Al-Mola, 2010; Quintero-Elisea *et al*., 2011).

En la figura 2, se aprecia el comportamiento de P_4 durante el periodo de muestreos. Las concentraciones >1.0 ng/mL de P_4 en los cuatro tratamientos, previo a la inserción de CIDR (día -13 y día -10) confirman actividad luteal en las ovejas (Uribe-Velásquez *et al*., 2011). En los días -7, -4, y -1 se encontraron concentraciones de P_4 >4 ng/mL en los cuatro grupos, lo cual indica que el contenido de P_4 en los CIDR reutilizados, son capaces de elevar el perfil de progesterona, simulando la actividad de un cuerpo lúteo, y se observan mayores concentraciones (P<0.05) en los tratamientos con 10 días de CIDR.

Las concentraciones de P_4, disminuyeron a <2 ng/ml 24 horas después del retiro de CIDR (dia 0). En los dias 3 y 5 hubo un aumento de P_4 (>1 ng/mL) en todas las ovejas, esto demuestra que la ovulación fue inducida en los cuatro tratamientos.

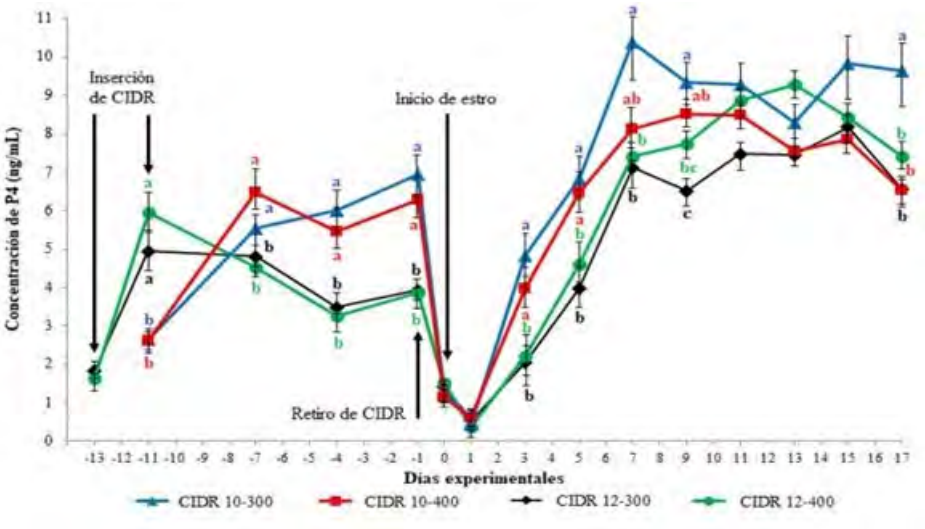


Figura 2. Comportamiento de los niveles de P_4 a través del tiempo, análisis de medidas repetidas.

Las concentraciones de P_4 se mantuvieron con mayor uniformidad en los días 11, 13 y 15, sin diferencia entre grupos (P>0.05). En el día 17, ya se observa una evidente caída en el promedio de P_4 en ovejas pertenecientes a los grupos con 12 días de CIDR y el tratamiento de 10 días de CIDR-400 UI de eCG. Bazer (2013) menciona que de 12 a 13 días después del apareamiento, es un periodo crítico en la gestación de ovejas, debido al inicio de la regresión del CL. La implantación y el mantenimiento del cuerpo luteo y, por ende, de la gestación, etapa que dependen de la secreción de interferón-tau (IFNT) del embrión (Arosh *et al*., 2004).

De acuerdo al comportamiento de las concentraciones de P_4 en plasma, es posible decir que el 100% de las ovejas presentaron estro, ovularon y posteriormente elevaron las concentraciones a niveles, que indican el desarrollo de al menos un CL funcional, pero en el 15% de las ovejas muestreadas no hubo reconocimiento materno; esta afirmación se sustenta en el hecho de que estas ovejas se identificaron como no gestantes, al realizar el diagnóstico de gestación mediante ultrasonografía 30 d después del periodo de empadre.

Los dispositivos CIDR resultaron efectivos para mantener concentraciones de P_4 similares a las que se presentan en el periodo luteal, durante los periodos de permanencia de 10 y 12 días. Las mayores concentraciones de P_4 se identificaron en el grupo de 10 d con CIDR- 300 UI de eCG.

Conclusiones

Los protocolos largos con CIDR reutilizado asociados a eCG en ovejas cíclicas, son eficaces en la sincronización de estros y la adición de diferentes niveles de eCG al momento del retiro del CIDR, causa un efecto positivo en las principales variables reproductivas (inicio de estro, índice de prolificidad y tipo de parto). Con dosis de 400 UI de eCG se mejoran los resultados en dichas variables, se acorta el inicio de estro, aumentan el índice de prolificidad, y aumenta el porcentaje de partos dobles.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados campus Montecillo por el desarrollo de la investigación dentro de las instalaciones de la granja experimental ovina y al CONACyT por el financiamiento otorgado a esta investigación

Literatura Citada

Abecia, J. A., F. Forcada and A. González-Bulnes. 2012. Hormonal control of reproduction in small ruminants. Animal Reproduction Science 130: 173-17.

Arbués, R., C. Quintana, E. Yáñez, M. Kornuta, y J. Fernández. 2018. Evaluación de diferentes dosis de gonadotrofina coriónica equina en el protocolo de sincronización de celo en ovejas. Revista Veterinaria 29: 104-108.

Arosh, J.A., S.K. Banu, S. Kimmins, P. Chapdelaine, L.A Maclaren and M.A. Fortier. 2004. Effect of interferón-Tau on prostaglandin biosynthesis, transport, and signaling at the time of maternal recognition of pregnancy in cattle: evidence of polycrine actions of prostaglandin E2. Endocrinology 145:528-533.

Azawi, O. I. and M. K. Al-Mola. 2010. A study on superovulation using FSH and eCG in Awassi ewes. Tropical Animal Health and Production 42: 799-801.

Bazer, F. W. 2013. Pregnancy recognition signaling mechanisms in ruminants and pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology 4: 23-32.

Bazzan, A. P., D. Tedesco, A. L. Menestrina, S. A. Machado, R. X. da Rocha, e J. F. Bragança. 2013. Reutilização de um dispositivo intravaginal com progesterona na indução e sincronização do estro ovino. Revista Portuguesa de Ciencias Veterinarias 108: 143-146.

Berlinguer, F., A. Gonzalez-Bulnes, S. Succu, G. Leoni, F. Mossa, D. Bebbere *et al*. 2007. Effects of progestagens on follicular growth and oocyte developmental competence in FSH-treated ewes. Domestic Animal Endocrinology 32: 303-314.

Biehl, M. V., M. V. C. de Ferraz Junior, J. P. R. Barroso, I. Susin, E. M. Ferreira, D. M. Polizel *et al*. 2019. The reused progesterone device has the same effect on short or long estrus synchronization protocols in tropical sheep. Tropical Animal Health and Production 51: 1545-1549.

Boscos, C. M., F. C. Samartzi, S. Dellid, A. Rogge, A. Stefanakis and E. Krambovitis. 2002. Use of progestagen-gonadotrophin treatment in estrus synchronization of sheep. Theriogenology 58: 1261-1272.

Cox, J. F., R. Allende, E. Lara, A. Leiva, T. Díaz, J. Dorado *et al*. 2012. Follicular dynamics, interval to ovulation and fertility after AI in short-term progesterone and PGF_{2a} oestrous synchronization protocol in Sheep. Reproduction in Domestic Animals 47: 946-951.

González-Bulnes, A. y I. Contreras-Solís. 2012. Estrategias sostenibles de manejo reproductivo en la oveja. Reunión Bianual sobre Reproducción Animal. pp: 108-121.

Manes, J. y R. Ungerfeld. 2015. Sincronización de celos en ovejas y cabras con dispositivos intravaginales liberadores de progestágenos: alteraciones en ambiente vaginal y su relación con la fertilidad. Revista Brasileira de Reprodução Animal 39: 104-108.

Martinez-Ros, P., A. Susana, E. Garcia-Rosello, A. Rios-Abellan and A. Gonzalez-Bulnes. 2018. Onset of estrus and preovulatory LH surge and ovulatory efficiency in sheep after short-term treatments with progestagen-sponges and progesterone-CIDRs. Reproduction in Domestical Animals 54: 408-411.

Partida de la Peña, J. A., F. G. Ríos, L. Colín, I. A. Domínguez, y G. Buendía. 2017. Caracterización de las canales ovinas producidas en México. Revista Mexicana Ciencia Pecuaria 8: 269-277.

Pinna, A. E., F. Z. Brandão, A. S. Cavalcanti, A. M. Borges, J. M. G. Souza, and J. F. Fonseca. 2012. Reproductive parameters of Santa Inês ewes submitted to short-term treatment with re-used progesterone devices. Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária E Zootecnia 64: 333-340.

Quintero-Elisea, J. A., U. Macías-Cruz, F. D. Alvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, A. González-Reyna, F. A. Lucero-Magaña *et al*. 2011. The effects of time and dose of pregnant mare serum gonadotropin (PMSG) on reproductive efficiency in hair sheep ewes. Tropical Animal Health and Production 43: 1567-1573.

Quispe, T., J. Valencia, A. Ortiz y L. Zarco. 1995. Inducción del estro en borregas en anestro utilizando Acetato de Melengestrol (MGA) con o sin gonadotropina sérica de yegua gestante (PMSG). Avances en Investigación Agropecuaria 4: 1-13.

Rubianes, E., A. Menchaca and B. Carbajal. 2003. Response of the 1-5 day-aged ovine corpus luteum to prostaglandin F_{2alpha}. Animal Reproduction Science 78: 47-55.

SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Resumen Nacional de la producción pecuaria. http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceEdo.jsp

Silva, T., J. Rocha, S. Machado, R. Rocha, P. Bennemann, e J. Bragança. 2014. A reutilização de um dispositivo intravaginal (CIDR-G) nas manifestações de estro e prenhez da espécie ovina. Enciclopédia Biosfera 10: 40-45.

Swelum, A.A., I.M. Saadeldin, A.F. Moumen, M.A. Ali, H. Ba-Awadh and A.N. Alowaimer. 2018. Efficacy of using previously used controlled internal drug release (CIDR) insert on the reproductive performance, hormone profiles and economic measures of sheep. Reproduction in Domestic Animals 53: 1114-1122.

Swelum, A. A., I. M. Saadeldin, A. F. Moumen, M. Ali, H. Ba-Awadh and A. N. Alowaimer. 2019. Effects of long-term controlled internal drug release reuse on reproductive performance, hormone profiles, and economic profit of sheep. Revista Brasileira de Zootecnia 48: e20180085.

Uribe-Velásquez, L. F., M. I. L. Souza y A. Correa-Orozco. 2011. Efecto de las altas concentraciones de progesterona durante la fase luteal temprana sobre la secreción de LH y estradiol en ovejas. Veterinaria y Zootecnia 5: 44-54.

Vilariño, A., E. Rubianes and A. Menchaca. 2011. Re-use of intravaginal progesterone devices associated with the Short-term Protocol for timed artificial insemination in goats. Theriogenology 75: 1195-1200.

Vilariño, M., E. Rubianes and A. Menchaca. 2013. Ovarian responses and pregnancy rate with previously used intravaginal progesterone releasing devices for fixed-time artificial insemination in sheep. Theriogenology 79: 206-310.

Viñoles, C., M. Forsberg, G. Banchero, and E. Rubianes. 2001. Effect of long-term and short-term progestagen treatment on follicular development and pregnancy rate in cyclic ewes. Theriogenology. 55: 993-1004.

Wheaton, J. E., K. M. Carlson, H. F. Windels, and L. J. Johnston. 1993. CIDR: a new progesterone releasing intravaginal device for induction of estrus and cycle control in sheep and goats. Animal Reproduction Science 33: 127-141.

Wildeus, S. 2000. Current concepts in synchronization of estrus: sheep and goats. Journal of Animal Science 77: 1-14.

Zeleke M., J. P. C. Greyling, L. M. J. Schwalbach, T. Muller and J. A. Erasmus. 2005. Effects of progestagen and PMSG on oestrus synchronization and fertility in Dorper ewes during the transition period. Small Ruminant Research 56: 47-53.

RENDIMIENTO FORRAJERO, DIGESTIBILIDAD Y EXTRACCIÓN MINERAL DE SEIS GENOTIPOS DE PASTO BUFFEL *Pennisetum ciliare* L.

Raúl Avalos-Castro[1]* y Alan Álvarez-Holguín[2]

Resumen

El pasto buffel *Pennisetum ciliare* L. es una de las gramíneas forrajeras más utilizadas en las zonas áridas de México, por su alta tolerancia a la sequía y rendimiento de materia seca y calidad aceptable. Con el objetivo de evaluar el rendimiento forrajero, digestibilidad y extracción mineral de genotipos de pasto buffel, se realizó el estudio en parcelas experimentales establecidas en el S.E. Valle de Santo Domingo, del INIFAP en Comondú, Baja California Sur, donde se sembraron los genotipos Bu–45, Bu–66, Bu–42, Bu–72 y As-245 y la variedad Titán. Para determinar el rendimiento de materia seca (MS), en t/ha, se tomaron muestras de un metro cuadrado, de las cuales se tomaron sub muestras para determinar digestibilidad de la materia seca (DMS) y el contenido de nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K) y calcio (C). Se realizó un análisis de varianza con el programa SAS ver 9.3. Se observó que la variedad Titán mostró el mayor rendimiento de forraje (6.17 t/ha de MS) y extracción de los minerales K (44.28 kg/ha) y Ca (6.31 kg/ha). El genotipo As-245 presentó la mayor digestibilidad de la materia seca (56.10%) y como consecuencia, incremento en la materia seca digestible (2.67 t/ha); fue el genotipo que tuvo una mayor extracción de N (13.34 kg/ha). El potasio, fue el mineral que se extrajo en mayor proporción; el calcio y fosforo, en menor.

Palabras clave: *Pennisetum ciliare* L., rumiantes, nutrición

[1] C.E. Todos Santos, CIRNO – INIFAP.
[2] C.E. La Campana, CIRNOC – INIFAP. *Autor por correspondencia: avalos.raul@inifap.gob.mx

Introducción

El pasto buffel *Pennisetum ciliare* L. es una de las gramíneas forrajeras más utilizadas en las zonas áridas de México para el establecimiento de praderas de temporal, lo que ha permitido incrementar la producción ganadera, debido a que presenta rendimientos de materia seca de calidad aceptable (Garay-Martínez *et al*., 2017) o comparable al promedio de los zacates de clima cálido (Holt, 1985). Adicionalmente, posee alta tolerancia a la sequía, capacidad de soportar el pastoreo intensivo y propagación exitosa (Quiroga *et al*., 2013). En este sentido, se ha observado que existen genotipos de pasto buffel con mayor producción forrajera y adaptación que variedades e híbridos comerciales (García y Maldonado, 1998).

La digestibilidad del pasto buffel varia de 40 a 60% y el contenido de proteína cruda depende del estado de madurez de la planta. Asimismo, se han observado variaciones entre el contenido nutrimental entre variedades e híbridos del pasto buffel (Dessommes *et al*., 2003). De igual forma, se conoce el aporte mineral que este pasto posee, lo que no existe en la literatura disponible es información de la cantidad de mineral que el buffel extrae del suelo, por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento forrajero, digestibilidad y extracción de minerales de seis genotipos de pasto buffel *Pennisetum ciliare* L.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Sitio Experimental Valle de Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el municipio de Comondú, Baja California Sur, México, localizado a 25°00´36´´ LN, 111°39´49´´ LO y 48.3 metros de altitud. El clima es muy seco, las lluvias son escasas y se presentan principalmente en verano. La proporción entre las lluvias de verano e invierno es de 70 y 30%, respectivamente. La precipitación media anual es de 200 mm y la evaporación de 2,290 mm anuales. La temperatura promedio es de 22°C; las más altas son de 35°C y se registran en los meses de julio a agosto; mientras que, las más bajas se presentan en enero, que en promedio son de 9°C (CONAGUA, 2018). En general, los suelos del municipio de Comondú son pobres en

nitrógeno (N) total y potasio (K), pero ricos en fosforo (P); predominan valores de pH alcalinos (7.7- 8.8) y la conductividad eléctrica promedio es de 1.27 dS/m (López *et al.,* 2013).

Se evaluaron los genotipos experimentales Bu–45, Bu–66, Bu–42, Bu–72 y As-245 y la variedad Titán de la especie *Pennisetum ciliare* L. La siembra se realizó a finales de agosto de 2019, bajo condiciones de temporal. En el 2021, para la evaluación de calidad, se sometieron a riego. La preparación del terreno se realizó de forma convencional, con rastreo cruzado. Se utilizó un diseño de bloques al azar con seis repeticiones. La superficie de cada bloque fue de 72 m^2, donde los genotipos se distribuyeron de forma aleatoria en parcelas de 12 m^2. La superficie total de la parcela experimental fue de 432 m^2. La siembra se realizó al boleo, la cantidad de semilla pura viable utilizada fue de 5 kg/ha que fue tapada con rastrillo a una profundidad aproximada de 1 a 2 cm. Para determinar el rendimiento de materia seca (MS), en toneladas por hectárea (t/ha), se tomaron muestras de un metro cuadrado por tratamiento a una altura de corte de cinco cm sobre el nivel del suelo; se secaron hasta peso constante y pesadas en báscula digital.

Las muestras secas se molieron en un equipo eléctrico (Wiley®) con criba de 1 mm; este material se utilizó para determinar el porcentaje (%) de materia seca (MS) a partir de una muestra sometida a una temperatura de 100°C a peso constante. El contenido de nitrógeno (N) se evaluó por el método Kjeldahl, según lo recomendado por la AOAC (1990), el cual incluye la cuantificación del nitrógeno total y luego el valor obtenido se multiplicó por el factor 6.25 para determinar el % de proteína cruda. La fibra en detergente acida (FDA) se determinó para estimar la digestibilidad de la materia seca (D.M.S) con la ecuación 88.9 - 0.779 * (FDA) (Moore y Undersander, 2002). La materia seca digestible (M.S.D) se estimó multiplicando el rendimiento de M.S. por el valor de la digestibilidad estimada; el contenido de minerales se determinó por espectrofotometría, los cuales fueron transformados y expresados en kilogramos de nutrientes extraídos por hectárea (kg/ha).

Se aplicó un análisis de varianza para el factor genotipo en la variable de respuesta MS, así como la comparación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey utilizando el programa SAS ver 9.3. (2014).

Resultados y Discusión

Rendimiento y digestibilidad de forraje

El mayor rendimiento de forraje lo obtuvo la variedad Titán, con promedio de 21% más que los genotipos Bu-72, Bu-66 y As-245 y 54% más que Bu-42 y Bu-45 (Cuadro 1); ese rendimiento de forraje en la variedad Titán soportará una carga de 320 unidades animal (UA) al día, suponiendo un porcentaje de utilización del 70%, mientras que, el genotipo Bu-45, alimentaría a 166 UA por hectárea al día. La digestibilidad de la materia seca fue mayor para el genotipo As-245, que consecuentemente se vio reflejada en la mayor cantidad de materia seca digestible, en comparación con los genotipos Bu-66 y Bu-72, que presentaron el mismo rendimiento forrajero; por lo tanto, es una variable a considerar como criterio de selección. La mayor cantidad de materia seca digestible de la variedad Titán es consecuencia del mayor rendimiento de forraje, incremento que no fue por ser la que presentó la mayor digestibilidad. Se ha observado que la producción de forraje de la variedad Titán, en condiciones de riego, ha variado de 5.18 a 8.24 t MS/ha (Beltrán *et al*., 2017). Rango en el cual se observó en el presente estudio. Dessommes *et al*. (2003) observaron que la digestibilidad de la materia seca de seis genotipos de pasto buffel vario de 40 a 60%, rangos similares a lo observado para los genotipos aquí evaluados.

Cuadro 1. Producción de forraje, digestibilidad y extracción de nutrimentos de genotipos de pasto buffel *Pennisetum ciliare* L.

Genotipos	Rendimiento de MS (t/ha)	DMS (%)	MSD (t/ha)	Extracción de minerales (kg/ha)			
				N	P	K	Ca
As-245	4.736^{b}	56.10	2.67	13.34	1.31	29.06	1.97
Bu-42	3.478^{c}	51.90	1.81	10.11	2.23	24.41	2.70
Bu-45	3.197^{c}	51.99	1.66	11.31	2.37	21.36	3.48
Bu-66	4.927^{b}	51.11	2.52	10.89	1.15	22.48	2.65
Bu-72	4.983^{b}	50.82	2.53	8.93	1.27	27.78	2.40
Titán	6.174^{a}	51.42	3.18	11.18	2.38	44.28	6.31

^{abc}= medias con diferentes literales entre filas indican diferencia significativa ($p < 0.05$) de acuerdo a Tukey; MS= materia seca; DMS= digestibilidad de la materia seca; MSD= materia seca digestible; N= nitrógeno; P= fosforo; K= potasio; Ca= calcio.

La calidad nutricional de los forrajes está estrechamente relacionada a su madurez (Van Soest, 1994), mencionando por Silva y Faria (1995), que es la precipitación la variable que mayor efecto presenta sobre la degradabilidad del zacate buffel. En el caso del presente estudio, la diferencia fue dada por la variable genotipo.

En general, se ha reportado (Carlson *et al*., 1990; Ramírez *et al*., 1995) que el zacate buffel tiene buena calidad nutritiva y mejora el comportamiento de los animales que lo consumen, ya que es altamente productivo como zacate para pastoreo y permite incrementar la carga animal en agostaderos con vegetación nativa.

Extracción mineral

La mayor extracción de N lo presentó el genotipo As-245; Bu-72, la menor. La cantidad de N extraído coincide con lo observado en el periodo de madurez vegetativo, cuando el buffel contiene en promedio 8% de proteína cruda (Hussey y Bashaw, 1985), aunque Beltrán *et al*. (2017), observaron cantidades de 6% de N en la etapa de floración para las variedades Regio y Titán, valor que supone una extracción menor de este mineral. Estas diferencias, con respecto al presente estudio, podrían deberse a la concentración de N presente en el suelo de ambas evaluaciones, ya que se ha observado que existe correlación alta entre el nitrógeno del suelo y el contenido de proteína cruda en el zacate buffel (Santana y McDowell, 1994). El P se extrajo en mayor proporción por la variedad Titán y las líneas Bu-42 y Bu-45, estos últimos, los de menor rendimiento forrajero. Esta extracción corresponde a un promedio de entre 0.29 y 0.28% de contenido mineral en planta. El K, fue el mineral más extraído, siendo la variedad Titán la de mayor cantidad y Bu-45 la menor. En general, se ha observado una mayor concentración de este mineral en especies del género *Pennisetum ciliare* L. (Dessommes *et al*., 2003), que, como consecuencia, corresponden a una mayor extracción. El Ca es extraído en mayor proporción por la variedad Titán y, en menor, por la As-245.

Se ha reportado que pastos de climas templados como los híbridos de *Brachiaria* spp. extraen en promedio 45.58, 5.51, 40.06 y 9.24 kg/ha de N, P, K y Ca, respectivamente (Rincón y Ligarreta, 2008), cantidades de extracción superiores a las observadas en el presente estudio por el pasto buffel. Rincón y Ligarreta, también reportaron que el grano de maíz, ingrediente de uso común en alimentación animal, extrae del suelo 43.60, 12.27, 21.47 y 0.85 kg/ha de N, P, K y Ca, respectivamente; mayor extracción de N y P; similar extracción de K y menor de Ca

que el reportado en nuestro estudio para el pasto buffel; con la diferencia adicional de que ambos materiales fueron fertilizados; mientras que el buffel, no.

Conclusiones

La variedad Titán mostró el mayor rendimiento de forraje y extracción de los minerales potasio y calcio. El genotipo As-245 presentó la mayor digestibilidad de la materia seca y como consecuencia un incremento en la materia seca digestible; fue el genotipo que tuvo una mayor extracción de nitrógeno. El potasio, fue el mineral que se extrajo en mayor proporción; el calcio y fosforo, en menor.

Literatura Citada

AOAC. 1990. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 15 th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Beltrán-López, S., C.A. García-Díaz., C. Loredo-Osti., J. Urrutia-Morales., J.A, Hernández-Alatorre., y H.G. Gámez-Vázquez. 2017. “Titán” y “Regio”, variedades de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*, L.) Link para zonas áridas y semiáridas. Revista mexicana de ciencias pecuarias, *8*(3):291-295.

Carlson, D.H. L. Thurow T., R. Knight W. and K. Heistschmidt R. 1990. Effect of honey mesquite on the water balance of Texas rolling plains rangeland. J. Range Manage. 43:491496.

CONAGUA. 2018. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero santo Domingo (0306), Estado de Baja California Sur. Consultado en línea 7/08/2020: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCaliforniaSur/DR_0306.pdf

Dessommes, G.J.G., G. R. Lozano, R. R. Foroughbakhch., M. Rodríguez, R. y G. Díaz, G. 2003. Valor nutricional y digestión ruminal de cinco líneas apomíticas y un híbrido de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 41(2).

García, D.G.J. y L. J. Maldonado A. 1998. Introducción y evaluación de líneas texanas de buffel (*Cenchrus Ciliaris* L.) en el centro de Nuevo León (resumen). XIII Congreso sobre manejo de pastizales Ags. México. p: 46.

Holt, E.C. 1985. Buffelgrass- A brief History, Adaptation, Management and Forage Quality. Proceedings of a Symposium held June 7, at the Texas A & M University Research Extension Center in Weslaco, Texas, p 1.

Hussey, M.A., and C. Bashaw, E. 1985. Influence of clipping height on the yield and quality of winterhardy buffelgrass (*Cenchrus ciliaris* L.) germplasm. Orage Resarch in Texas. Texas A&M University System. USA, 37-38.

López, A.L.M., C. Armenta, L., A. D. Armenta B., H.C. Fraga, P. y J. A. Félix, H. 2013. Localización de zonas aptas para la agricultura protegida en Baja California Sur, México. Agronomía Mesoamericana 24(2):401-409.

Moore, J.E. and J. Undersander. 2002. Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. Proc Ann Florida Rum Nut Symp; 32:16-29.

Quiroga, M., K. Grunberg., A. Ribotta., E. López C., E. Carloni., E. Tommasino., C. Luna. y S. Griffa. 2013. Obtaining sexual genotypes for breeding in buffel grass. South African Journal of Botany. 88:118-123.

Ramírez, R.G., J. R. Huerta., J. Kawas., D. S. Alonso., E. Mireles. and V. Gomez M.1995. Performance of lambs grazing in a buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) pasture and estimation of their maintenance and energy requirements for growth. Small Rumin Res, 17:117-121.

Rincón, Á. y A. Ligarreto, G. 2008. Fertilidad y extracción de nutrientes en la asociación maíz-pastos en suelos ácidos del piedemonte Llanero de Colombia. Agronomía Colombiana, 26(2), 322-331.

Santana, R.R. and L.R. McDowell. 1994. Effect of four fertilization levels on in vitro organic matter digestibility, crude protein, and mineral concentrations of buffelgrass hay in southern Puerto Rico. Communications in soil science and plant analysis, 25(3-4), 293-299.

SAS Institute. 2014. SAS/STAT – Statistical Analysis Software for windows ver. 9.3. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Silva, C.D.S. and de Faria, C.M.B. 1995. Nutrients seasonal variability and nutritive value in the tropical forage plants. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Brazil).

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press.

ESTIMACIÓN DE MATERIA SECA EN DOS ÉPOCAS DEL AÑO EN PARCELAS DE PASTO MOMBAZA *Megathyrsus maximus* EN TRÓPICO HÚMEDO

Abraham Fragoso Islas[1]*, Eduardo Daniel Bolaños Aguilar[1], Javier Francisco Enríquez Quiroz[1] y Jorge Víctor Rosete Fernández[1]

Resumen

El objetivo fue evaluar el Rendimiento de Materia Seca en Toneladas-Hectárea (RMS T/ha) y valor nutricional en dos épocas del año (secas y lluvias), de praderas sembradas con pasto Mombaza *Megathyrsus maximus*, en clima subtropical húmedo. El estudio es parte de un proyecto de investigación que se estableció en el S.E. "Las Margaritas" del INIFAP. En diciembre 2019 quedaron establecidas las praderas experimentales de Mombaza (*Megathyrsus maximus)* en un área de 1.5 hectáreas, dividido en cuatro potreros, para dar un pastoreo rotacional de 12 días de ocupación y 36 de descanso en cada una de ellas. El pastoreo se realizó con becerros de 200 kg al inicio para llevarlos al peso final de 300 kg. Para la estimación del RMS T/ha. de los potreros a la entrada de los animales, se utilizó la técnica del m^2, lanzándolo al azar 4 veces (4 repeticiones). Para determinar la Materia Seca (MS), las muestras se desecaron a una temperatura de 60° por 72 horas. También se les determinó Proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN, %), en detergente ácido (FDA, %), Lignina (LIG, %) y Cenizas. El análisis de la información se realizó con el procedimiento GLM de SAS, por separado RMS T/ha y valor nutricional por época del año. Hubo mayor RMS T ha^{-1} en época de lluvias, con respecto a la época (8.76±0.55 y 3.93±0.64, respectivamente). En cuanto al valor nutritivo MS y PC, no fueron diferentes en las dos épocas ($P>0.05$). Para FDN, FDA y Lignina, lluvias tuvo mayores porcentajes, caso contrario para Cenizas ($P<0.05$). Conocer la época de mayor RMS es importante para tener un mejor aprovechamiento durante el año y garantizar el forraje para los animales.

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) *fragoso.abraham@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Panicum máximun*, biomasa, trópico húmedo, pastos tropicales

Introducción

En las regiones tropicales, la alimentación de los bovinos se basa principalmente en gramas nativas y en menor porcentaje en gramíneas forrajeras introducidas (Jones y Hu, 2006; Sosa *et al*., 2008). Por las condiciones climáticas del trópico húmedo, la producción pecuaria basada en el pastoreo presenta un potencial sustentable por contar con praderas naturales permanentes (Enríquez *et al.,* 2019). Como alternativas forrajeras para potenciar la producción de forraje, existen diversas especies introducidas, las cuales tienen la capacidad de producir mayor cantidad de biomasa y mantener la calidad de los pastos por más tiempo que los pastos nativos (Schnellmann *et al*., 2019). Como ocurre en los forrajes tropicales, estas gramíneas concentran su mayor producción de materia seca (MS) durante los períodos de lluvias (Sosa *et al*., 2008; Velasco *et al*., 2018). Es decir, el mayor porcentaje de crecimiento ocurre cuando la precipitación pluvial y la temperatura son ideales, siendo escasa su producción cuando la temperatura y humedad desciende en algunos meses del año, dependiendo de la región donde se encuentren sembrados los forrajes (López *et al*., 2018). En gramíneas introducidas la acumulación neta de MS está determinada por el potencial de producción de hojas, la densidad de tallos resulta del balance entre su nacimiento y muerte, influenciada por la humedad del suelo, temperatura y horas luz (Sosa *et al*., 2008; Ramírez *et al*., 2009). Una de estas especies es el género Panicum, que tiene alrededor de 470 especies de la familia de las poaceas. Son pastos perennes, de 1 a 3 m de altura (Freckmann y Lelong, 2002). Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el Rendimiento de Materia Seca en Toneladas-Hectárea (RMS T/ha.) y valor nutricional en dos épocas del año (secas y lluvias), de praderas sembradas con pasto Mombaza *Megathyrsus maximus*, en clima subtropical húmedo.

Materiales y Métodos

El presente estudio es parte de un proyecto de investigación que se estableció en el S.E. “Las Margaritas” del INIFAP, en el municipio de Hueytamalco Puebla, con latitud norte de 19° 45’ y longitud oeste de 97° 27’, altura sobre el nivel del mar de 450 m. El clima es subtropical húmedo Af(C), con una precipitación anual promedio de 3000 mm, temperatura promedio anual de 21°C y humedad relativa del 90%. Los suelos tienen una textura arcillo-arenosa, con un pH de 5.9 y un contenido de materia orgánica de 5.0%. Durante el año se presentan tres épocas climáticas: 1) “nortes” o invierno, que va desde mediados de noviembre hasta finales de febrero; 2) seca, de principios de marzo hasta finales de mayo y 3) lluvia, de junio hasta mediados de noviembre. En diciembre 2019 quedaron establecidas las praderas experimentales de Mombaza (*Megathyrsus maximus*) en el S. E. Las Margaritas. En un área de 1.5 hectáreas, dividido en cuatro potreros, para dar un pastoreo rotacional de 12 días de ocupación y 36 de descanso en cada una de ellas. El pastoreo se realizó con becerros de 200 kg al inicio para llevarlos al peso final de 300 kg. Para la evaluación del Rendimiento de Materia Seca en Toneladas-Hectárea (RMS T/ha.) de los potreros a la entrada de los animales, se utilizó la técnica del m^2, lanzándolo al azar 4 veces (4 repeticiones) dentro de cada uno de los potreros. Después de cada muestreo se tomó una muestra de cada repetición y se llevó a una estufa de desecación con una temperatura de 60° por 72 horas donde se obtuvo el peso constante y se registró su peso en seco y con estos datos se determinó el rendimiento de materia seca total por hectárea, del área en estudio. La altura de los pastos se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Toledo y Schultze-Kraft, (1982). Para la determinación del valor nutricional, Proteína cruda (PC, %); AOAC, (1980), fibra en detergente neutro (FDN, %) en detergente ácido (FDA, %), lignina (LIG, %), estas tres de acuerdo a Van Soest *et al.,* (1991). El análisis de la información se realizó con el procedimiento GLM de SAS, por separado RMS T/ha y valor nutricional, por época del año (SAS Institute, 2003).

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se observa que el efecto de época del año presentó diferencia significativa (P< 0.05) a favor de la época de lluvias, con el mayor rendimiento en toneladas MS/ha.

Cuadro 1. Medias de cuadrados mínimos, errores estándar (EE), en dos épocas del año, para Rendimiento de Materia Seca en toneladas (RMS T/ha.).

Época	N	Medias (RMS T/ha.)	Error estándar (RMS T/ha.)
Seca	12	3.93[a]	0.64
Lluvia	16	8.76[b]	0.55

Medias con la distinta literal son diferentes (P<0.05).

La producción de especies forrajeras en el área de influencia del Sitio Experimental “Las Margaritas”, presenta cierta estacionalidad de producción de biomasa, dado principalmente por las variaciones en la precipitación y temperatura; esto incide directamente con cambios en la productividad de los animales. Evaluando dos épocas climáticas y a una edad de pastoreo en este sitio, en cuanto a la producción del rendimiento de materia seca por hectárea, hay diferencias significativas siendo mayor para época de lluvias y menor rendimiento para la época seca para este parámetro. Sosa *et al*., 2008, evaluaron 11 gramíneas forrajeras a diferentes edades de corte, entre ellas Mombaza, coincidiendo que en la época de lluvias tuvieron mayor producción de biomasa por hectárea, y que está especie y Tanzania, a las 12 semanas de rebrote sobresalió entre las evaluadas; pero es importante tomar en cuenta que la mayor proporción de hojas se obtiene con el menor intervalo de corte o de pastoreo, a mayores intervalos de aprovechamiento afecta negativamente la estructura del forraje, lo que disminuye la eficiencia de utilización y el consumo de este (Ramírez *et al*., 2009). Lo anterior sugiere que, al disminuir la cantidad de lluvias, hay mayor transpiración y menor abastecimiento de agua que induce estrés hídrico y en consecuencia suspensión del crecimiento (Velasco *et al*., 2018).

En el Cuadro 2 se muestra el valor nutritivo el pasto Mombaza, en lo que se refiere a Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra en Detergente Neutra (FDN), Fibra en Detergente Acida (FDA), Lignina y Cenizas, comparado entre las dos épocas del año. En lo que respecta a MS

y PC fue semejante (P> 0.05) en las dos épocas evaluadas, caso contrario para FDN, FDA y Lignina donde el época de lluvias presentó mayores promedios con respecto al época seca (P< 0.05); en Cenizas la época seca presentó mayor porcentaje (P< 0.05).

Cuadro 2. Valor nutritivo del pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*), en dos épocas del año. Medias de cuadrados mínimos, errores estándar (EE).

EPOCA	MS % Muestra	PC % BS	FDN %BS	FDA % BS	LIGNINA % BS	Cenizas, % BS
SECA	23.1±1.14[a]	8.5±0.4[a]	67.5±0.56[a]	42.7±1.23[a]	4.2±0.19[a]	11.8±0.22[a]
LLUVIAS	25.1±1.14[a]	7.2±0.4[a]	71.6±0.56[b]	47.8±1.23[b]	5.2±0.19[b]	10.3±0.22[b]

[a]Medias con la misma literal no son diferentes (P>0.05). % BS=Porcentaje en Base Seca.

En valor nutritivo para MS y PC la época del año no tuvo efecto para estos dos parámetros, por lo que la mayor producción de biomasa en la época de lluvias no disminuyó su concentración de proteína con respecto al período seco, posiblemente debido a la producción de rebrotes que originaron se igualara con la concentración de proteína de la planta en la época seca, que es el período en que la proteína en la planta es superior a la de lluvias (Reyes *et al*., 2009). Caso contrario para para FDN, FDA y Lignina, que en lluvias tuvo mayor porcentaje, lo que demuestra que para la época de lluvias el forraje tiene mayor porcentaje de carbohidratos estructurales, pero con un menor porcentaje de Cenizas. En cuanto a la calidad de los forrajes tropicales, entre más acelerado sea su desarrollo por el efecto de la temperatura y la humedad, más rápido desciende el valor nutricional si no se aprovecha en el momento idóneo según la especie (López *et al*., 2018; Araújo *et al*., 2002), dado esto es un indicativo de que en esta época se debe de tener en cuenta que el aprovechamiento del forraje tiene que hacerse de forma eficaz para no dejar envejecer el pasto y demerite su calidad nutricional. La tasa de crecimiento se incrementa progresivamente hasta que el crecimiento de las hojas se estabiliza y los incrementos posteriores de forraje total se deben al aumento del grosor y altura de tallos y material muerto (Velasco *et al*., 2018), de tal manera que dejar más tiempo el forraje para aprovecharlo, con la intención de tener más biomasa por hectárea, no siempre será una mejor opción.

Conclusiones

La época de lluvias tuvo una mayor producción de MS en las parcelas sembradas con pasto Mombaza *Megathyrsus maximus*, lo que nos muestra la mejor época para aumentar carga animal o para el aprovechamiento del forraje mediante algún método de conservación, tomando en cuenta que el tiempo de rebrote es también una limitante para tener mayor cantidad de biomasa y calidad de forraje.

Literatura Citada

A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis, 13th ed. Association of Oficial Analytical Chemists. Washington D.C.

Araújo, F. J. A., F. Cavalcante de C. y N. Lima da S. 2002. Fenología y valor nutritivo de follajes de algunas especies forrajeras de la Caatinga. Agrofosrestería en las Américas. 9:33-34. Avances de investigación.

Enríquez Q. J.F., J. P. Manrique M., E. D. Bolaños A. y A. Fragoso I. 2019. Establecimiento de praderas de pasto Mombaza *Megathyrsus maximus* solo y asociado con leguminosas en la región central de Veracruz. IX Congreso Internacional de Manejo de Pastizales "Tecnologías para el manejo sostenible de los pastizales". Chihuahua México. pp. 199-203.

Freckmann R.W. and M.G. Lelong. 2002. Nomenclatural changes and innovations in Panicum and Dichanthelium (Poaceae: Paniceae). Sida 20:161-174.

Jones R.J. and Hu F.D. 2006. Diet selection of steers grazing Stylosanthes hamata cv. Verano-grass pastures in north Queensland and its potential influence on botanical composition. Tropical Grasslands 40: 65-69.

López A.G., J. Nuñez D., L. Aguirre T. y E. Flores M. 2018. Dinámica de la producción primaria y valor nutritivo de tres gramíneas tropicales (*Melinis minutiflora, Setaria sphacelata* y *Brachiaria mutica)* en tres estados fenológicos. Rev Inv Vet Perú 29(2):396-409. Doi: 10.15381/rivep.v29i2.14494.

Ramírez R. O., A. Hernández G., S. Carneiro da S., J. Pérez P., J. F. Enríquez Q., A. R. Quero C. *et al*. 2009. Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. Téc Pecu Méx. 47(2):203-213.

Reyes P.A., E.D. Bolaños A., D. Sánchez H., E.M. Aranda I. y F. Izquierdo R. 2009. Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto *Humidicola Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. Universidad y Ciencia. 25(3): 213-224.

SAS Institute. 2003. SAS language: Release 8.2 for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Schnellmann L. P., J.J.O. Verdoljak, A. Bernardis, J.C. Martínez-González y S.P. Castillo-Rodríguez. 2019. Frecuencia y altura de corte en Panicum maximum cv Gatton Panic. Agronomía Mesoamericana 30(2):553-563. Doi:10.15517/am.v30i2.34216

Sosa R. E.E., E. Cabrera T., D. Pérez R. y L. Ortega R. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. Téc Pecu Méx. 46(4):413-426

Toledo J.M. y R. Schultze-Kraft. 1982. Metodología para la evaluación agronómica. p. 91-110. *In:* José M. Toledo (ed.). Manual para la Evaluación Agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales CIAT, Cali, Colombia. 155 p. (Serie CIAT 07sG-1 (82)).

Van Soest P.J., B. Robertson J. and A. Lewis B. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. J Dairy Sci. 74:3583-3597.

Velasco Z. M., A. Hernández G., H. Vaquera, J. Martínez T., P. Hernández S. y J. Aguirre M. 2018. Análisis de crecimiento de Pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Mombasa. Rev.MVZ Córdoba. 23(Supl):6951-696. ISSN: 0122-0268. DOI: 10.21897/rmvz.1415.

CALIDAD DE LECHE BOVINA ALIMENTADAS CON PASTO CAYMAN CON Y SIN FERTILIZACIÓN EN TABASCO

Lorenzo Granados Zurita[1*], Jorge Quiroz Valiente[1], Isabel Cristina Acosta Balcazar[2], Manuel Barrón Arredondo[1], Lorenzo Danilo Granados Rivera[3], Jorge David Guiot García[4], y Francisco Fabián de Dios Ovilla[5]

Resumen

El género *Brachiaria* poseen potencial productivo ya que se adaptan a condiciones limitantes de suelo como la acidez y la baja fertilidad. La fertilización nitrogenada ayuda al pasto a tener una mayor producción de materia seca, se incrementa la cantidad de hojas y se estimula la síntesis de componentes metabólicos como la proteína de la hoja. El objetivo del trabajo es evaluar el efecto del nitrógeno en el pasto sobre la producción y composición química de leche (grasa, proteína, lactosa y sólidos totales) en la época de sequías. Se utilizaron dos grupos de cinco vacas y se les asignó tratamientos; 1. pasto Cayman Blend fertilizado y, 2. Pasto Cayman Blend sin fertilizar. El pastoreo fue rotacional un día de ocupación y 21 de descanso. La investigación fue de 28 días, 7 de adaptación y 21 para muestreos. La producción de leche y la composición química no mostraron significancia respecto a los tratamientos (P>0.05), pero si se encontró para las fechas de muestreo. La producción fue disminuyendo en los dos tratamientos, respecto a, la proteína, lactosa y sólidos totales, tuvieron un comportamiento similar a la producción, mientras que la grasa fue aumentando conforme disminuía la producción de leche.

Palabras claves: Cayman blend, fertilización, leche, nitrógeno, pastos

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CE-Huimanguillo. *granados.zurita@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CE-General Terán.
[3] Grupo Papalotla S.A. de C.V.
[4] Universidad Autónoma de Tamaulipas.
[5] Universidad Popular de la Chontalpa.

Introducción

México ocupa el 8º lugar mundial en cuanto a producción de leche bovina (2% de participación, FIRA, 2021). En nuestro país, la producción de leche bovina es muy heterogénea debido a la variedad de características tecnológicas, agroecológicas, socioeconómicas, climáticas y culturales presentes en todo el territorio (Loera y Banda, 2017). Existen cuatro sistemas de producción de leche: especializado, semiespecializado, familiar y de doble propósito (DP); siendo éste último, el que se desarrolla en zonas tropicales (Robledo, 2018). En la región tropical, las explotaciones lecheras utilizan de manera ineficiente el activo fijo (tierra y ganado) y existe rechazo hacia el uso de tecnología ya que genera mayores gastos (Zárate *et al*., 2010). Además, existen factores climáticos (la temperatura ambiental, la humedad relativa, velocidad del viento y precipitación pluvial) y sanitarios (presencia de parásitos que se desarrollan en un ambiente de calor y humedad como los nematodos gastrointestinales, los trematodos y garrapatas) que influyen negativamente sobre la capacidad productiva de los bovinos (Castellanos *et al*., 2016). Las zonas tropicales ofrecen una enorme producción de biomasa forrajera para producir becerros (base del sistema de producción de carne) y leche con pocos insumos y bajos costos (Calderón *et al.*, 2007). Al respecto, la mayoría de los estudios sobre la producción de leche de doble propósito coinciden en que hay un potencial muy importante en el trópico mexicano para desarrollar la producción con mejores rendimientos, pero para lograrlo es necesario incorporar a la producción nuevas tecnologías que ayuden a mejorar, la calidad de los pastos, la genética del hato, la alimentación, la sanidad, asegurar los canales de comercialización, etc. (Osorio, 2010; Zárate *et al*., 2010; Hernández *et al*., 2000).

En este sentido, la nutrición de las especies forrajeras es esencial para ofrecer al ganado pastos con alta calidad nutrimental. Sin embargo, la calidad y cantidad del forraje no son persistentes a través del año, existiendo en los meses de menor temperatura una disminución en el forraje producido y hacia el verano una disminución en la calidad nutricional (Mella, 2008). Las especies de gramíneas, de alta producción de biomasa, son altamente demandantes de nutrientes, principalmente de nitrógeno, por esta razón, es necesario generar sistemas de fertilización nitrogenada dirigidos a potenciar la producción y calidad del forraje (Roncallo *et al*., 2012). Respecto a lo anterior, los forrajes bien manejados son un alimento

completo para las vacas y permiten una buena producción de leche (Moreno y Molina, 2007). Asimismo, León *et al*. (2011) afirman que la alta disponibilidad de nitrógeno estimula la producción de materia seca, incrementa la cantidad de hojas y estimula la síntesis de componentes metabólicos entre los que se incluyen la clorofila y la proteína de la hoja. Con la fertilización nitrogenada se podría provocar mayor síntesis y acumulación de lípidos en la planta (Boufaïed *et al*., 2013). Esto es importante ya que, los sistemas de producción con rumiantes dependen en gran medida de los recursos forrajeros porque alrededor del 90% de los nutrimentos requeridos por los animales son derivados de las pasturas (Ruiz, 2011). Derivado de lo anterior, este trabajo tiene como objetivo conocer el efecto de la fertilización nitrogenada del pasto Cayman Blend, que proviene de la selección de especies de genero *Brachiaria,* sobre la composición química de la leche bovina producida en suelos de vega de rio.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en un rancho privado ubicado en el municipio de Huimanguillo, Tabasco (17° 38´ 38.2" N; 93° 23´ 36.9" O; 20 msnm). El clima de la región es cálido húmedo con lluvias en verano y otoño. La lluvia promedio anual es 2,295 mm, húmedo de junio a octubre con 70% de la lluvia anual, un periodo de nortes que comprende de noviembre a febrero, con alta nubosidad, lluvias ligeras e intermitentes y frio; y de marzo a mayo se tiene sequía y altas temperaturas. La temperatura máxima, media y mínima registrada es 35, 25 y 15°C, respectivamente, con 77.4% de humedad relativa (INEGI, 2012).

Área experimental

Se utilizaron dos parcelas con pasto Cayman Blend de 9,000 m^2 c/u. A los 30 y 10 días antes del inicio del experimento, una de las parcelas se fertilizó a razón de 150 kg/ha de nitrógeno y la otra parcela quedó como testigo, por lo que hubo dos tratamientos: 1) pasto fertilizado y 2) pasto sin fertilizar. El pastoreo fue rotacional intensivo y el tiempo de ocupación para cada división de 1 día con 21 días de descanso.

Animales y alimentación

Se utilizaron 10 vacas ¾ Pardo Suizo Americano x Cebú en mediados de lactancia (500 ± 20 kg de peso; 180 ± 20 días en lactancia y 2.3 ± 0.8 partos; media ± desviación estándar), distribuidas en dos grupos de cinco vacas cada uno; los grupos se asignaron a los tratamientos de manera aleatoria. La dieta se complementó con alimento concentrado a razón de 2 kg MS/d, el cual se dio al momento de la ordeña (6:00 am). Las vacas tuvieron un periodo de adaptación de siete días y un periodo experimental de 22 días.

Muestreos

Los muestreos de leche se hicieron a partir del día siete después del inicio del experimento. Las muestras de leche se obtuvieron con la ayuda de unos pesadores (Waikato MK, Nueva Zelanda), los cuales recolectan una fracción de toda la leche ordeñada. Las muestras se conservaron en recipientes esterilizados (250 ml) para sus respectivos análisis.

Análisis de laboratorio

La composición química se realizó por espectroscopia por ultrasonido (LactiCheck, EE. UU) en el laboratorio de lácteos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en Huimanguillo, Tabasco. Los datos de producción de leche, composición química y rendimiento (g/kg y g/d de grasa, proteína, lactosa y sólidos totales), se analizaron mediante el modelo de medidas repetidas, a través del procedimiento MIXED (SAS 9.0). Para ello, se obtuvieron los criterios de información Bayesiano de Schwarz y Akaike que ayudaron a determinar la estructura de covarianza más adecuada para cada variable. La comparación de medias de mínimos cuadrados se realizó a través de la prueba de Tukey ajustada. Además, se usó la producción de leche inicial como covariable.

Análisis estadístico

Para la asignación de forrajes y carga animal se utilizó un diseño completamente al azar a través del procedimiento GLM (SAS 9.0) y la comparación de medias de mínimos cuadrados se realizó a través de la prueba de Tukey.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se muestran los resultados del análisis estadístico para las variables de producción, composición química de la leche y rendimiento de los componentes. Respecto a los tratamientos (fertilizado y no fertilizado), la producción de leche no tuvo diferencias (6.80 kg *vs* 7.01 kg), no así en el tiempo, donde hubo cambios (P<0.05). Asimismo, la composición y rendimiento de los componentes de la leche (grasa, proteína, lactosa y sólidos totales), no tuvieron diferencias entre tratamientos. Únicamente hubo diferencias en el tiempo (P>0.05); con excepción de los sólidos totales, que presentó diferencias en su rendimiento.

Cuadro 1. Promedio de producción de leche y promedios de composición (g/kg) y rendimiento (g/d) de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos de la leche en los dos tratamientos.

VARIABLES	TRATAMIENTOS				*P*-VALUES		
	F[1]	EEM	NF[2]	EEM	TRAT	TIEMPO	TRAT X TIEMPO
Producción (kg/d)	6.80±2.09	0.46	7.01±1.60	0.35	0.858	<.0001	0.433
Composición (g/kg)							
Grasa	32.28±11.68	2.61	30.30±11.32	2.53	0.800	0.036	0.230
Proteína	34.09±1.35	0.30	34.10±0.96	0.21	0.987	0.014	0.820
Lactosa	49.20±1.98	0.44	49.23±1.63	0.36	0.975	0.013	0.768
Sólidos no grasos	122.33±12.66	2.83	120.36±10.03	2.24	0.801	0.300	0.389
Rendimiento (g/d)							
Grasa	200.64±43.03	9.62	201.31±57.07	12.76	0.982	0.090	0.616
Proteína	231.24±71.17	15.91	239.64±56.41	12.61	0.834	<.0001	0.484
Lactosa	334.08±103.83	23.21	346.28±82.64	18.47	0.836	<.0001	0.456
Sólidos totales	811.81±210.26	47.01	834.61169.49	37.90	0.841	<.0001	0.689

[1] Fertilizado; [2] No fertilizado.

Se realizaron cuatro pesajes de leche, uno al inicio del experimento y tres durante el periodo de muestreo, cabe señalar, que la edad del pasto fue siempre de 21 días. En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la producción de leche para ambos tratamientos (F y NF). Se aprecia que, a pesar de que las producciones a simple vista son diferentes, éstas no fueron significativas (*P*>0.005) al hacer el análisis estadístico.

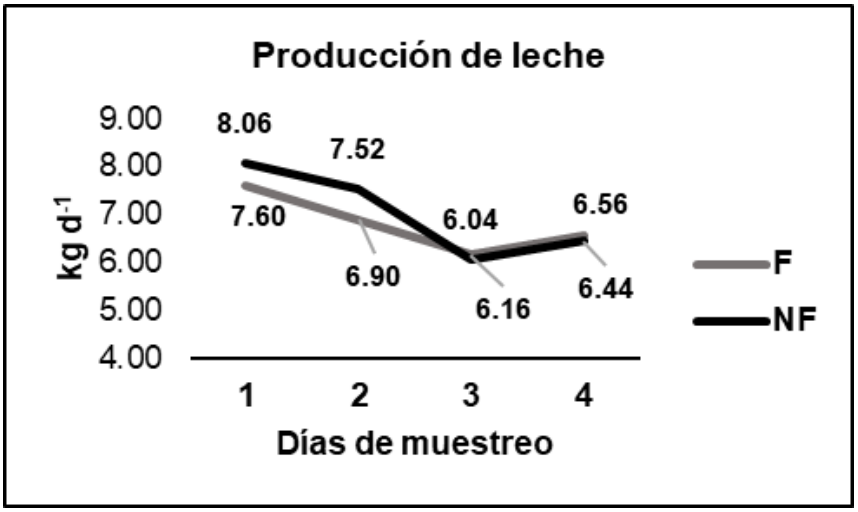


Figura 1. Producción de leche (kg/d) en los dos tratamientos durante el periodo experimental.

En los sistemas de DP, la producción diaria de leche promedio por vaca es de 3 a 9 kg (Román *et al.*, 2013), por lo que los resultados obtenidos en esta investigación (6.80 y 7.01 kg/d) se encuentran en medio del rango mencionado, aunque son bajos respecto a la producción en los sistemas intensivos, en los que cada vaca produce 25 kg/d (FAO, 2017). A pesar de ello, en el trópico los costos de producción por litro de leche, en la región tropical, son menores en comparación a las zonas del altiplano ($5.00 *vs* $9.00 Sánchez y Velázquez, 2018), por lo cual hace destacar el potencial de producción que puede llegar a tener esta región.

Respecto a la composición química, los contenidos de grasa, lactosa y proteína que se obtuvieron están dentro del rango que establece la norma oficial mexicana (NOM 155-SCFI-2003), la cual señala que deben de ser 30, 43-50 y 30 g/kg, respectivamente. En la Figura 2 se puede apreciar que la cantidad de grasa iba aumentando conforme pasaban los días, esto podría deberse a que, a la disminución de la producción de leche, se encuentra menos dilución de las fracciones de grasa en los tejidos (Calvache y Navas, 2012).

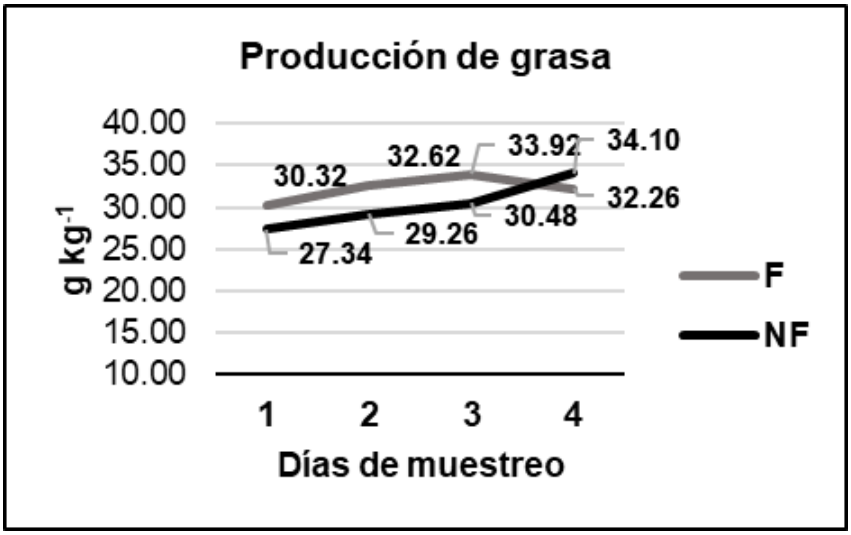


Figura 2. Producción de grasa (g/kg de leche) de los tratamientos durante el periodo experimental.

Este efecto es muy conocido en los sistemas de producción lechera, en los que hay una relación inversa entre la cantidad de grasa y la cantidad de leche ordeñada.

En general, la producción de leche, así como su composición química depende de varios factores entre los que se incluyen la disponibilidad de pastos y la calidad nutricional de los mismos; y ésta ha sido una de las principales limitaciones en el trópico (Luna *et al*., 2015), por lo que es decisión del productor, elegir el pasto que mejor se adapte a las condiciones de su terreno, al manejo y finalidad zootécnica de su unidad productiva (Rojas *et al*., 2011). Existen especies de gramíneas y leguminosas que tienen buena capacidad de adaptación y alto rendimiento de biomasa durante la época de mínima precipitación, tal es el caso de diversas especies del género *Brachiaria* (Jarma *et al*., 2012), estos últimos comentarios coinciden con el comportamiento del pasto Cayman Blend empleado en este trabajo en pastoreo intensivo. En las Figuras 3, 4 y 5 se muestran las producciones de lactosa, proteína y sólidos totales (ST), se puede apreciar que los tres componentes tuvieron comportamientos similares a los de la producción de leche, éstos disminuían conforme pasaba el tiempo de muestreo. Los cambios en la producción de leche, durante el ciclo de lactancia, influyen de manera inversa en la composición; generalmente, en el primer tercio de la lactación se registran las menores concentraciones, proteína y sólidos de la leche, situación que se invierte al final de la lactancia (Corzo *et al.,* 2018).

Respecto a esto, González *et al*., (2010) afirman que los sólidos no grasos (incluyendo la lactosa) aumentan al final de la lactación conforme disminuye la producción de leche, teniendo un comportamiento semejante al de la grasa, fenómeno que en éste trabajo no se presentó. Por otra parte, la proteína es uno de los componentes más constantes y su contenido va a estar influenciado por los suplementos de origen lipídico (Rodríguez *et al*., 2014), los resultados muestran lo contrario. La disminución de la proteína pudiera deberse a las condiciones climáticas que se presentan en la época de sequías, ya que, al no haber lluvias, el pasto disminuye su productividad, pierde su valor nutritivo y hay menos cantidad de biomasa (Cruz *et al*., 2011).



Figura 3. Producción de lactosa (g/kg de leche) de los tratamientos durante el periodo experimental.

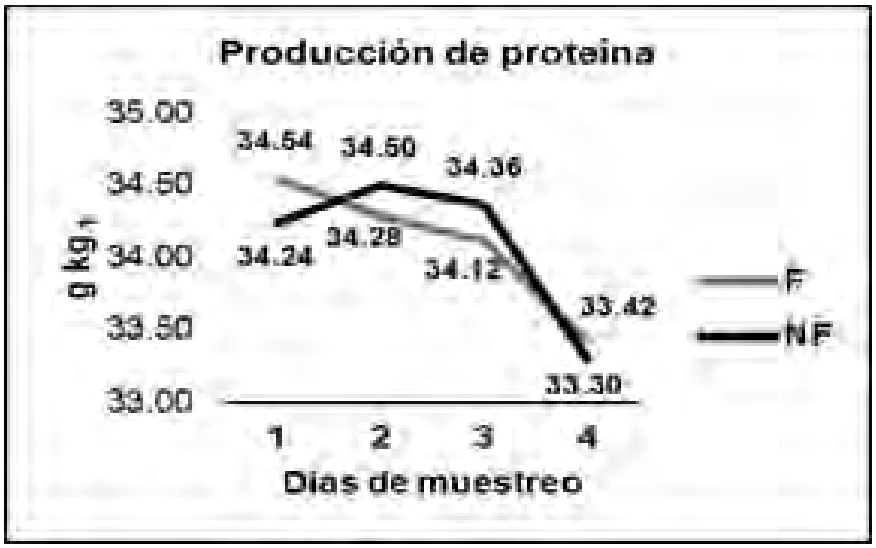


Figura 4. Producción de proteína (g/kg de leche) de los tratamientos durante el período experimental.

Forrajes y Manejo de Pastizales



Figura 5. Producción de sólidos totales (g/kg de leche) de los tratamientos durante el periodo experimental.

Por ello es importante realizar un buen manejo de la pradera y ofrecer una complementación alimenticia, actividad que se realizada en bajo porcentaje por pequeños y medianos productores. Esta complementación consiste en ofrecer a las vacas en producción, sal común, sal mineral o alimento concentrado. Las sales se ofrecen a libre acceso y el alimento concentrado se ofrece en cantidades de 1 a 3 kg/vaca/día. (Granados *et al*., 2018).

Conclusión

En éste estudio, el empleo de la fertilización y la frecuencia de pastoreo (1 día de ocupación y 21 días de descanso), no influyeron en la producción de leche. La composición química de la leche y el rendimiento de sus componentes se vieron afectados de forma negativa durante el transcurso del periodo experimental debido, principalmente, a las condiciones climatológicas que se presentaron en ésta época (altas temperaturas y escazas lluvias), propiciando disminución en la producción de forraje, limitando a los animales a ingerir una mayor cantidad de materia seca y nutrimentos.

Literatura Citada

Boufaïed, H., P. Y. Chouinard, G. F. Tremblay, H. V. Petit, R. Michaud, y G. Bélanger. 2003. Fatty acids in forages. I. Factors affecting concentrations. *Canad Jour Anim Sci*, 501-511.

Calderón, R. R. C., J. O. Hernández V., S. Olazarán J., J. M. Ramírez G., J. V. Rosete F., A. Ríos U., *et al*. 2007. Manual ilustrado para el manejo de la lechería tropical especializada en bovinos. INIFAP. Puebla, México. 134p.

Calvache, G. I. y A. Navas P. 2012. Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. *Rev Cienc Anim*, 1(5):73-85.

Castellanos, G. L., J. Oliva H., L. Granados Z. y J. Quiroz V. 2016. Antecedentes de bovinos productores de leche en el estado de Tabasco: Ganado Pardo Suizo, Gyr y F1 Holstein x Gyr. *Tem Cienc Tecnol*, 20: 3-12.

Corzo, M. J., A. Caballero L. y E. Rivera M. 2020. Factores que influyen en la composición y calidad microbiológica de la leche cruda almacenada en un centro de acopio. *Cienc Tecnol Aliment*, 16(1):86-97.

Cruz, L. P. I., A. Hernández G., J. F. Enríquez Q., S. I. Mendoza P., A, R. Quero C. y B. M. Joaquín T. 2011. Desempeño agronómico de genotipos de Brachiaria humidicola (Rendle) Schweickt en el trópico húmedo de México. *Rev Fitot Mex*, 34(2): 123-131.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. Producción y productos lácteos. http://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/. [Consultado el 25 de junio de 2022].

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2021. Panorama Agroalimentario. Leche y lácteos 2021. Sitio web: file:///C:/Users/Isabel/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Leche%20y%20l%C3%A1cteos%202021.pdf

González, C. G., B. Molina S. y R. Cocc V. 2010. Calidad de la leche cruda. Primer foro sobre ganadería lechera de la zona alta de Veracruz. Veracruz, México.

Granados, R. L. D., y O. Hernández M. 2018. Síndrome de depresión de grasa láctea provocado por el isómero trans-10, cis-12 del ácido linoleico conjugado en vacas lactantes. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu*, 9(3): 1-19.

Hernández, R. E., M. S. Correa V., C. S. Correa J. y M. O. Arce M. 2000. Intervalo entre partos, duración de la lactancia y producción de leche en un hato de doble propósito en Yucatán, México. *Agrociencia*, 34(6): 699-705.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía Información por entidad. 2012. http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tab/territorio/clima.aspx?tema=me&e=27. [Consultado el 13 junio de 2022].

Jarma, O. A., L. Maza A., A. Pineda P. y J. Hernández G. 2012. Aspectos fisiológicos y bromatológicos de Brachiaria humidicola. *Rev CES Med Vet Zootec,* 7(1): 88-99.

León, C. J. M., M. L. Pabón R. y J. E. Carulla F. 2011. Pasture traits and conjugated linoleic acid (CLA) content in milk. *Rev Colomb Cienc Pec*, 24: 63-73.

Loera, J., y J. Banda. 2017. Industria lechera en México: Parámetros de la producción de leche y abasto del mercado interno. *Rev Invest Altoand*, 19(4): 419-426.

Luna, M. R., E. Coronel A. H. A. Cevallos J., J. R. Pérez J., V. L. Murillo M. y I. Taco N. 2015. Respuesta agronómica de tres variedades de Brachiaria en el cantón El Empalme provincia del Guayas, Ecuador. *Rev Cienc Tecnol*, 8(2): 45-50.

Mella, F. C. 2008. Suplementación de vacas lecheras de alta producción a pastoreo II. Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile y Departamento de producción animal. Santiago, Chile. 13p.

Moreno, O. F. y D. Molina R. 2007. Buenas prácticas agropecuarias (BPA) en la producción de ganado de doble propósito bajo confinamiento con caña panelera como parte de la dieta. 1a ed. Print Ltda. Colombia. pp:45-46.

Osorio, del M. A. 2010. Producción de leche en la zona alta de Veracruz. Primer Foro sobre Ganadería Lechera de la Zona Alta de Veracruz. Veracruz, México. 11p.

Robledo, P. R. 2018. Producción de leche en México y el impacto de las importaciones de leche en polvo. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México.

Rodríguez, R. P. J. y J. E. Blanco A. 2014. Efecto de la suplementación energética sobre la producción de leche de vacas en trópico bajo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Lasalle. Bogotá, Colombia.

Rojas, H. S., J. Olivares P., R. Jiménez G., I. Gutiérrez S. y F. Avilés N. 2011. Producción de materia seca y componentes morfológicos de cuatro cultivares de Brachiaria en el trópico. *Avan Invest Agropec*, 15(1): 3-8.

Román, P. S. I., F. J. Ruíz L., H. Montaldo H., R. Rizzi y H. Román P. 2013. Efectos de cruzamiento para producción de leche y características de crecimiento en bovinos de doble propósito en el trópico húmedo. *Rev Mex Cienc Pec*, 4: 405-416.

Roncallo, B., M. Sierra A. y E. Castro. 2012. Rendimiento de forraje de gramíneas de corte y efecto sobre calidad composicional y producción de leche en el Caribe seco. *Cienc Tecnol Agropec*, 13(1): 71-78.

Ruiz, P. R. 2011. Producción de leche basada en pastos y forrajes tropicales. *Cienc Tecnol Ganad,* 5: 1-21.

Sánchez, P. M., y Velázquez J. E. 2018. Rentabilidad en una explotación bovina de doble propósito, en el Trópico Húmedo. Tesis Licenciatura. Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco.

Zárate, J. P., V. A. Esqueda E., J. C. Vinay V. y S. M. Jácome M. 2010. Evaluación económico-productiva de un sistema de producción de leche en el trópico. *Agronom Mesoam*, 21: 255-265.

ARREGLOS ESPACIALES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN SISTEMAS GANADEROS DE CHIAPAS

Alma Liz Vargas de la Mora[1], Vera Camacho Valdéz[2], Manuel Jesús Cach Pérez[3], M.C. Hernández Moreno[4], y Timothy O. Randhir[5]

Resumen

Los sistemas ganaderos son considerados motor de deforestación y degradación territorial, no obstante, existen manejos del sistema que contribuyen a la conservación de servicios ecosistémicos (SE). Esta investigación se realizó en 2018, cuantificó los SE de árboles y arbustos de predios ganaderos; mediante entrevistas, visitas de campo, revisión de literatura científica y análisis de imágenes satelitales. Se identificaron los arreglos espaciales en 49 potreros -productores participantes y no participantes en un proyecto silvopastoril (SSP)- de la Costa de Chiapas, las especies arbóreas que los componen y SE que proveen. Se obtuvo que, a mayor percepción de utilidad de árboles y arbustos por parte de los productores, mayor valoración de SE y conservación de cobertura forestal se registraron en los potreros. El proyecto silvopastoril tendió a estandarizar los arreglos espaciales, limitando las especies arbóreas/arbustivas de uso en potreros. Los productores no participantes en SSP mantuvieron mayor diversificación dentro de sus predios. 49.6% de los árboles son para uso doméstico, 28.5% se conservan por los servicios ambientales que proveen y 21.9% se utilizan en labores ganaderas. Se concluye que el proyecto silvopastoril tuvo efecto positivo en el aumento de la cobertura forestal en los predios, pero limita el número de especies vegetales usadas; además, debe integrarse un sistema de valoración de SE adecuada para sistemas productivos.

Palabras clave: sistema silvopastoril, ganadería, imágenes satelitales, costa, valoración ecosistémica

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Correo electrónico: vargas.alma@inifap.gob.mx
[2] Conacyt-El Colegio de la Frontera Sur.
[3] El Colegio de la Frontera Sur.
[4] Departamento de Estudios Sociales del Sistema Alimentario, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
[5] Department of Environmental Conservation, University of Massachusetts.

Introducción

En México los principales reservorios de biodiversidad son los ecosistemas tropicales y templados, principalmente bosques y selvas bien conservados, los cuales proveen importantes bienes y servicios a las comunidades, conocidos como servicios ecosistémicos (SE). Estos servicios dependen directamente de la integridad ecológica del sistema donde se generan (García-Flores *et al.*, 2019). Durante las últimas dos décadas se han desarrollado diferentes sistemas de clasificación y evaluación de SE (Camacho y Ruiz, 2012); el más utilizado de ellos es el propuesto por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [MEA] (2005). Sin embargo, el marco de evaluación más reciente es la Clasificación Común Internacional de Servicios Ecosistémicos -CICES- (European Environment Agency [EEA], 2018), el cual los categoriza en servicios de provisión, regulación y mantenimiento, así como cultural, diferenciando los aportes bióticos y abióticos de cada servicio (Haines-Young y Potschin, 2018).

Las actividades productivas como la ganadería extensiva provocan cambios en la estructura de los bosques, impactando en especies de vida silvestre (flora y fauna) tanto como en la funcionalidad y suministro de servicios ecosistémicos (Pohjanmies *et al.,* 2017). El grado de afectación de los sistemas productivos a los paisajes, su funcionalidad y relación con el ambiente global (Montero-Mora y Viales-Hurtado, 2015) depende de las prácticas de manejo del sistema (Battaglini *et al*., 2014). Skutsch y Turnhout (2020) sugieren que la producción ganadera podría ser un impulsor de deforestación y degradación ambiental; en muchos casos, consecuencia de políticas públicas productivistas (Bopp *et al*., 2019). Asumiendo la relación antagónica de la ganadería hacia la conservación ambiental, y tomando en cuenta la proyección que para 2050 habrá una creciente demanda de productos de origen ganadero (Pezo *et al*., 2018), se espera la expansión de este sistema productivo y la pérdida de cobertura forestal por cambio de uso de suelo hacia ganadería.

Ante el escenario anterior se presenta una alternativa. Desde los años 60’s alrededor del mundo se han promocionado proyectos agropecuarios orientados hacia la transición al manejo ganadero sostenible, principalmente hacia prácticas silvopastoriles y agrosilvopastoriles (Kebebe, 2017; Naah, 2018), las cuales se enfocan, entre otras cosas, a la restauración de los servicios ecosistémicos de predios ganaderos mediante la integración de árboles, protección y racionalización de recursos naturales dentro del sistema, así como la intensificación en la

producción de alimento para el ganado a través de la rehabilitación de pasturas degradadas e implementación de acciones que evitan la degradación de suelo y agua (Pezo *et al.* 2018). Peri *et al.,* (2016) evidenciaron que, a largo plazo, los SSP han logrado la conservación y aumento de cobertura forestal (nativa y especies leguminosas); lo cual aporta importantes mejoras en las condiciones ambientales de los potreros, suministran bienes y servicios para los productores y beneficia al ganado diversificando su alimentación (López-Vigoa *et al.,* 2017). Para identificar la contribución real de estos sistemas (Pachón-Ariza *et al*., 2016), se necesita evaluar el impacto de los árboles incorporados en SSP.

Esta investigación analizó el cambio de uso de suelo en sistemas ganaderos silvopastoriles (período 2005-2016) en la Costa de Chiapas, se utilizaron imágenes satelitales de alta resolución con el fin de identificar qué arreglos espaciales[1] se encuentran en los sistemas ganaderos con énfasis en registrar los componentes agroforestales; qué especies de árboles y arbustos forman parte de estos componentes y qué aportes ecosistémicos proveen estos diseños de potreros de acuerdo a la clasificación CICES 2018, desde un enfoque de uso de las especies arbóreas, obtenido la información a través de entrevistas y registros en la literatura.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el Municipio de Pijijiapan a 15°41’12’’ latitud Norte, 93°12’33’’ longitud Oeste con una altitud de 45 m., en la Región Costa de Chiapas, México. Al noroeste forma parte de la Sierra Madre de Chiapas en la cual se encuentra la Reserva de la Biósfera El Triunfo, mientras que al suroeste se ubica la Reserva de la Biósfera La Encrucijada. La temperatura oscila entre los 21.7 a 33.8°C, con una precipitación promedio anual de 2,165.3 mm (Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía [INEGI], 2009; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2020). El municipio aún alberga 71,747.3 hectáreas de cobertura forestal considerando bosques y selvas (40% de la superficie total). Sin embargo, ha perdido alrededor

1Arreglos espaciales, definidos por Harvey (1968) como la forma en que la economía capitalista hace uso del espacio y configuración de los paisajes)

de 8,889 hectáreas de bosque entre 1990 a 2010; 12.5% de la superficie (21,821.3 ha) se encuentran en riesgo de deforestación alta y muy alta, siendo la ganadería el principal uso de suelo productivo en expansión con aproximadamente 50% de la superficie municipal (Castillo-Santiago *et al*., 2020).

El proyecto silvopastoril que enmarca el presente trabajo inició en el 2005 con el propósito de impulsar la restauración forestal y liberación de áreas de potrero a través de la intensificación del sistema ganadero. Entre 2005 y 2016 la estimación de la inversión fue $ 653, 688 dólares estadounidenses, los cuales se han destinado para actividades de capacitación a productores y técnicos del proyecto (enfatizando la restauración forestal en potreros y manejo racional de recursos naturales); intercambios de experiencias, talleres, producción de pastos de corte, prácticas de conservación de pastura (ensilaje), bancos forrajeros, bancos de proteínas, mejoramiento en infraestructura para el manejo del ganado y entrega de maquinaria y equipo de apoyo para las labores productivas.

Tamaño de muestra

El proyecto silvopastoril trabajó con 89 productores (2,464.73 hectáreas, que representa 2.67% de la superficie de pastizal municipal). Este trabajó se realizó con 43 productores (muestra calculada con 90% de confianza, ecuación de Murray y Larry (2009)), con un total de 890.26 hectáreas, (36.12% del total del proyecto). Como grupo control, seis productores que no tuvieron participación en el proceso silvopastoril (80 ha), estos productores tienen distinto tipo de manejo del sistema entre sí, 50% de ellos contratan un vaquero para cuidar el ganado debido a que se emplean en otra actividad como ingreso principal, mientras que el otro 50% se dedica a la ganadería como medio de vida.

Análisis de imágenes satelitales

Se realizaron visitas de campo y georreferenciaron los potreros, así como la distribución de componentes del predio con la finalidad de minimizar la incertidumbre durante la digitalización. La categorización de componentes se basó en los incentivados por el proyecto del SSP (pasto de corte, bancos forrajeros, bancos de proteína y cercos vivos). La información se complementó con los identificados por Pezo *et al.* (2018) (árboles dispersos en potreros, árboles reserva en potrero, pastoreo bajo árboles, árboles ribereños, cercas vivas interiores y perimetrales), y con lo observado en campo (zona agrícola, zona de libre pastoreo a cielo abierto, pasto mejorado de porte alto para libre pastoreo, plantación de árboles, cuerpos de

agua (Jagüey, río, lagunas y otros -uso no ganadero-). Para el análisis de imágenes satelitales se usó el repositorio Google Earth (nd) del año 2016. Estas imágenes poseen una alta resolución para trabajar a la escala 1:3000, en la cual se digitalizaron los componentes de los predios. La georreferenciación utilizada fue sistema cartográfico proyectado Universal Transversal de Mercator (UTM) y Datum WGS84.

Servicios ecosistémicos de arreglos espaciales en potreros

Las visitas de campo se llevaron a cabo de marzo a agosto de 2018. En cada parcela se registró las especies de árboles, la ubicación de acuerdo con los componentes de los arreglos espaciales del potrero previamente identificados. Mediante entrevistas semiestructuradas se identificó el uso que le dan los productores a cada especie arbórea o arbustiva registrada y nombre común de la especie; la información obtenida se complementó con una revisión de artículos científicos relacionados al uso de árboles y arbustos en potrero. Los usos del componente arbóreo y arbustivo se clasificaron de acuerdo con el sistema de Clasificación Internacional de Servicios Ecosistémicos (CICES) publicado en 2018 (Figura 1).

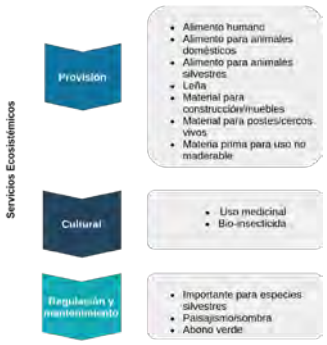


Figura 1. Servicios Ecosistémicos (SE) de los sistemas silvopastoriles de acuerdo con el uso de especies de árboles y arbustos, basados en la clasificación de CICES (Czúcz *et al*. 2018).

Posteriormente se elaboró una matriz de valores binarios (Atar, 2010) que categorizó el uso de la especie arbórea-arbustiva (Proporciona el SE=1, No proporciona el servicio= 0). Con la suma lineal de los valores de cada especie arbórea se obtuvieron SE por especie y los valores se transformaron a porcentaje. La suma de los SE de las especies de acuerdo con su ubicación, dio como resultado los SE por componentes. Finalmente, de acuerdo con los componentes de cada arreglo de los predios, se estimaron los SE por arreglo de potrero a partir de las ecuaciones 1, 2 y 3.

Ecuación 1 $$SE_e = \frac{\sum SE_u * 100}{SE_t}$$

Dónde: SE_e=Servicios Ecosistémicos por Especie (%), SE_u=Usos por especie por categoría de Servicios Ecosistémicos, SE_t=Suma total de Servicios Ecosistémicos esperados por todas las especies (es la suma total de las categorías de servicios ecosistémicos por del total de especies de árboles y arbustos)

Ecuación 2 $$SE_c = \sum \frac{ac_c * 100}{SE_t * e_t}$$

Dónde: SE_c=Servicios Ecosistémicos por categoría por componente (%), ac_c=Total árboles y arbustos por categoría de SE por componente, e_t=Total de especies de árboles y arbustos, SE_t=Suma total de Servicios Ecosistémicos esperados por todas las especies

Ecuación 3 $$SE_{ap} = \sum SE(a_x + b_y + c_{z\ldots})$$

Dónde: SE_{ap}=Servicios Ecosistémicos por arreglo espacial en potrero (%), $a_{x\ldots}$=SE por componente

Se utilizó el software estadístico GNU PSPP 1.0.1 (2007) para los análisis estadísticos descriptivos, análisis de frecuencias y tablas cruzadas. Con el programa InfoStat versión 2020 (Di Renzo *et al.,* 2020) se realizaron análisis de Kruskal Wallis, con el objetivo de identificar diferencias significativas entre la caracterización de productores y los arreglos espaciales. Este mismo análisis se utilizó para identificar diferencias entre componentes y arreglos espaciales. Se realizó además un análisis de correlaciones de Spearman, para datos no paramétricos con las variables: servicios ecosistémicos de potrero, tipo de arreglos espaciales y frecuencia de presencia de arreglos espaciales considerando como criterio de clasificación tipo de productor (SSP, No SSP) y se utilizó la escala propuesta por Martínez *et al*., (2009) para valorar la correlación. Finalmente, se elaboró un mapa de servicios ecosistémicos de predios ganaderos que muestra la escala de menor a mayor SE estimados de cada arreglo espacial.

Resultados y Discusión

Componentes silvopastoriles

Los resultados (Figura 2) resaltan que 97% de los predios SSP mantienen árboles dispersos en potreros y zonas de pastoreo a cielo abierto; sin embargo, el primero ocupa 5% de la

superficie total (890.26 ha) en comparación con el 38.7% que presenta el segundo. El cerco vivo perimetral es el tercer componente con mayor frecuencia (76.74%) el cual ocupa únicamente 4.8% de la superficie. El componente árboles de reserva en potrero es el cuarto con mayor presencia (74.4%), no obstante, en superficie es el más representativo con 44.25%.

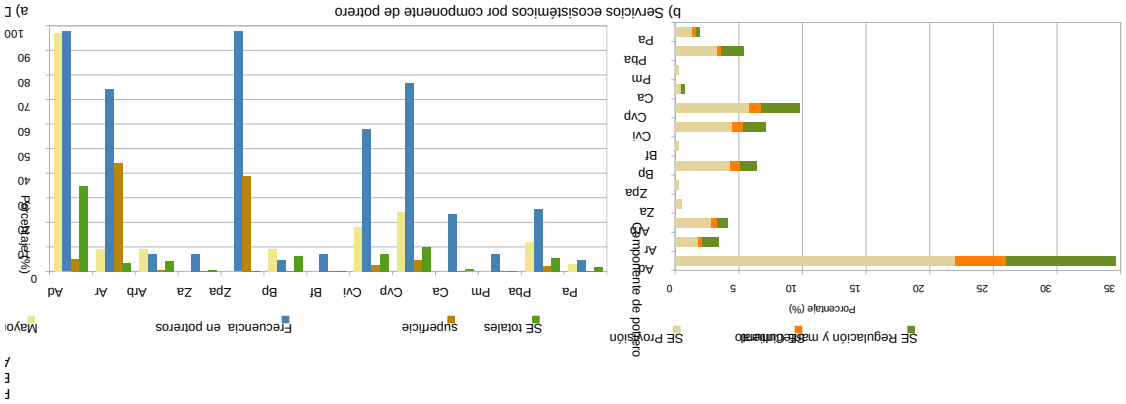


Figura 2. Servicios ecosistémicos que proporcionan las especies de árboles por componente identificado en potrero (presentados en porcentaje); los SE tienen base en 33 especies arbóreas.

El contraste entre los grupos SSP y No SSP, no presentó diferencias estadísticas (a excepción de zona agrícola), pese a lo anterior, se observó que los productores SSP mantienen porcentajes más elevados en los componentes agroforestales. Resalta este resultado porque la práctica de árboles dispersos en potreros no es común debido a la falta de relación positiva de costo/beneficio por el mantenimiento que requiere (Ángel-Sánchez *et al*., 2017). Por otro lado, el haber sido parte de un proceso de fortalecimiento para el manejo sustentable de potreros, permitió la sensibilización ecológica fomentando la conservación e inclusión de estos componentes (Marinidou *et al*., 2019).

Clasificación de especies arbóreas

Se registraron 33 especies de árboles en los 43 potreros visitados, y se identificaron 13 componentes de potrero (Figura 3.).

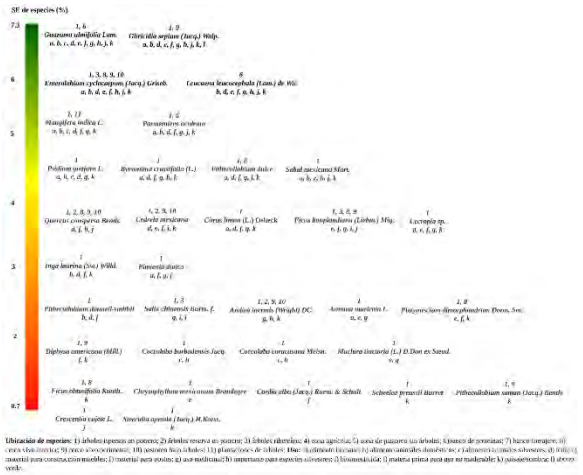


Figura 3. Servicios ecosistémicos presentes por especies de árboles y arbustos identificados por los productores y complementado con revisión bibliográfica (datos presentados en porcentaje y la ubicación respecto a componentes SSP).

Las especies que se encontraron con mayor frecuencia son *Enterolobium cyclocarpum* con 66.67%, *Quercus conspersa, Cedrela odorata, Ficus bomplandiana* con 41.66% en todos los casos, mientras que *Andira inermis* se tuvo una frecuencia de 25% de los componentes. De acuerdo con el uso 36% de las especies de árboles y arbustos se reconocen como maderables, 30% son establecidas por su potencial de alimento para el ganado y 6% se consideran remanente de vegetación primaria que fueron dejados en los potreros por su contribución al paisaje. El resto de las especies registradas, los productores consideran han estado presentes en la región, pero no se reconocieron como vegetación primaria. Además, existe una correlación positiva (p=0.001) entre los componentes agroforestales y los servicios ecosistémicos percibidos, es decir, que los productores establecen más componentes agroforestales cuando perciben mayores beneficios de los árboles.

En los potreros la selección de especies arbóreas/arbustivas es un legado de conocimiento empírico con base en la experimentación de generaciones que han permitido la adaptación para la subsistencia (Ríos-García *et al.,* 2015), proveen diversidad de bienes y servicios para los productores y paralelamente, para la vida silvestre; teniendo una mezcla de especies nativas y otras adaptadas a través del tiempo, que a la vez brindan sustentabilidad socioeconómica, ayudan a controlar daños ambientales, en algunos casos también han adquirido resistencia a plagas y enfermedades locales y, contribuyen a la restauración ambiental de los sistemas productivos (Suárez *et al.,* 2012), además, abastecen de frutos

comestibles para humanos y animales, productos maderables y no maderables, medicinales, y otros servicios de regulación y mantenimiento (Villamagua-Vergara, 2017; Domingo-Liano *et al*., 2017; del Ángel-Pérez *et al.,* 2018; Congo-Yépez *et al.,* 2018). Las especies encontradas en este estudio coinciden con lo anterior, se vinculan principalmente con provisión de materiales para infraestructura ganadera o servicios de sombra o de paisaje; 84.8% de las especies de árboles y arbustos brindan servicios de provisión; 75.8%, para regulación y mantenimiento; y 45.5%, para servicios culturales. El aporte ecosistémico real que puedan proveer estas especies reside en la densidad de individuos, diversidad de especies y la complejidad estructural en las parcelas (Haggar *et al*., 2015), atributos que brindarán una cuantificación más asertiva de los SE en potreros.

En contraste a lo anterior, los sistemas silvopastoriles se enfoca principalmente al manejo intensivo (Rodríguez *et al*., 2020) -siguiendo una tendencia capitalista-, a través de brindar una dieta eficiente de proteína, fibra, energía y minerales al ganado (Franceschi-Nicodemo y Porfirio-da-Silvia, 2019), integrando en componentes como bancos forrajeros y bancos de proteínas, especies como *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala,* reconocidas por su alto contenido de fibra digerible por los animales (Cortez-Egemy *et al*., 2016).

Elaboración propia con base en Hernández-Xolocotzi 1949;Tai-Wing *et al*. 1994; Miranda 1998; Ku-Vera *et al*. 1999; Kent y Scatena 2000; Kraft *et al*. 2001; Olvera-Fonseca 2004; Seth 2004; Volpato y Godínez 2004; Gómez-Castro et al. 2006; Escobar-Ocampo y Ochoa-Gaona 2007; Salgado-Mora *et al*. 2007; Jiménez-Ferrer *et al*. 2008a; Jiménez-Ferrer *et al*. 2008b;Pinto-Ruiz *et al*. 2010; González-Marín *et al*. 2012; Suárez *et al*. 2012; Herrero-Jáuregui *et al*. 2013; Jiménez-Ferrer y Hernández-López 2013; Orantes-García et al. 2013;González-Valdivia et al. 2014; Ríos-García *et al*. 2015; Amigo 2018

Arreglos espaciales de potreros

Se identificaron 28 arreglos espaciales (Cuadro 1), teniendo mayor diversidad los potreros SSP en comparación con los productores No SSP (valor estadístico p= 0.0023); en contraste con los servicios ecosistémicos proporcionados por los arreglos, no hay diferencias significativas. De los cuatro arreglos con mayor aporte de servicios ecosistémicos, el número 3 obtuvo fue el diseño con más réplicas entre los potreros del grupo SSP y mantuvo un alto porcentaje de SE comparado con el resto de los diseños encontrados. En tanto que, todos los diseños de los predios No SSP fueron diferentes entre sí.

Cuadro 1. Arreglos espaciales identificados en Potreros y su contribución de servicios ecosistémicos.

Clave de arreglo espacial	Árboles dispersos en potrero	Árboles reserva en potrero	Árboles ribereños	Zona agrícola	Zona de pastoreo a cielo abierto	Banco de proteína	Banco forrajero	Cerco vivo interior	Cerco vivo perimetral	Cuerpos de agua	Pasto mejorado porte alto para pastoreo	Pastoreo bajo árboles	Plantaciones de árboles	**Componentes por arreglo**	Porcentaje (%)				
															Frecuencia	SE Provisión	SE Cultural	SE Regulación y mantenimiento	Contribución total de SE
1	x	x			x		x		x					5	2.3	30.1	5.3	12.9	48.2
2	x	x			x				x					4	4.7	29.8	5.3	12.9	48
3	x	x			x			x	x			x		6	14	37.6	6.3	16.4	60.4
4	x	x			x	x	x	x	x	x				8	2.3	39.4	6.8	16.2	62.4
5	x	x			x			x	x					5	14	34.3	6.1	14.6	55.1
6	x	x			x			x	x		x			6	2.3	34.6	6.1	14.6	55.3
7	x	x			x									3	11.6	24	4.3	9.8	38.1
8	x				x			x	x					4	7	32.6	5.8	13.4	51.8
9	x			x	x			x	x					5	4.7	33.1	5.8	13.4	52.3
10	x				x				x	x			x	4	2.3	29.8	5.3	12.1	47.2
11	x				x	x	x	x	x					6	2.3	37.1	6.6	14.6	58.3
12	x				x				x	x				4	2.3	28.5	5.1	11.9	45.5
13	x	x	x		x				x	x				6	2.3	33.1	5.8	13.9	52.8
14	x	x			x							x		4	2.3	27.3	4.5	11.6	43.4
15	x	x		x	x			x	x		x	x	x	9	2.3	39.6	6.6	16.7	62.9
16		x										x		2	2.3	5.1	0.5	3	8.6
17	x	x			x			x	x	x		x		7	2.3	38.1	6.3	16.7	61.1
18	x	x	x		x			x		x				6	2.3	31.8	5.6	12.6	50
19	x	x			x			x	x	x				6	2.3	34.8	6.1	14.9	55.8
20	x	x			x					x				4	2.3	24.5	4.3	10.1	38.9
21	x				x				x	x		x		5	2.3	31.8	5.3	13.6	50.8
22	x	x			x				x		x			5	2.3	30.1	5.3	12.9	48.2
23	x	x	x		x			x	x	x				7	2.3	37.6	6.6	15.7	59.8
24	x				x				x					3	4.7	28	5.1	11.6	44.7
Grupo control																			
9	x			x	x			x	x					5		33.1	5.8	13.4	52.3
25	x			x	x			x	x		x			6		33.3	5.8	13.4	52.5
26	x	x			x			x	x	x				6		34.8	6.1	14.9	55.8
13	x	x	x		x				x	x				6		33.1	5.8	13.9	52.8
27	x	x	x		x				x	x				6		37.1	6.6	15.4	59.1
28	x	x		x	x					x		x		6		30.6	5.3	12.9	48.7
	29	21	5	5	29	2	3	15	24	14	4	7	2	Total de componentes					

Los arreglos de potrero que incorporan mayor cantidad de componentes agroforestales tienden a proporcionar mayor cantidad de servicios ecosistémicos, estos diseños se encuentran principalmente en potreros de productores SSP.

No hay un patrón definido en la distribución de los predios con mayor valoración ecosistémica, sin embargo, potreros ubicados en la zona serrana tienden a una baja valoración ecosistémica, aunque son potreros que conservan mayor cantidad de árboles reserva en potrero.

La presencia de estos diseños fue escasa en los predios de estudio, sin embargo, se encontró que 30% de las especies arbóreas locales tienen potencial como alimento para el ganado.

Es necesario argumentar, que si bien la concepción de servicios ecosistémicos depende de la integridad ecológica del sitio (García-Flores *et al.,* 2019), en el ámbito productivo, los SE se relacionan con la percepción de los productores respecto al uso de las especies arbóreas. Por tanto, a mayor cantidad de servicios (tangible so intangibles) percibidos de las especies arbóreas/arbustivas, los productores establecerán más árboles en diseños como los mencionados anteriormente. Lo anterior dependerá del uso que se dé a las especies arbóreas/arbustivas, la sensibilización ambiental de los individuos y aspectos socioeconómicos (Palma y González, 2018; Marinidou *et al.,* 2019; Ojeda *et al.,* 2020; Palma y Torres, 2020). Sin embargo, la percepción de estos servicios se relaciona con la edad (personas de 60 años perciben más servicios culturales), género y ubicación (Villamagua-Vergara, 2017). Paradójicamente, los estudios relacionados con el uso de árboles en potrero se realizan con adultos jóvenes (Pinto-Ruiz *et al.,* 2010; González-Valdivia *et al*., 2014) y esta valoración cultural resulta baja, lo que pudiera indicar una posible pérdida de conocimientos sobre el uso de especies locales. Otro factor es que los estudios al respecto tienen énfasis en la identificación de especies para alimento de ganado (Gómez-Castro *et al*., 2006; Jiménez-Ferrer *et al*., 2008a; Jiménez-Ferrer y Hernández-López, 2013).

Los arreglos espaciales de potrero mostraron que entre los productores SSP el arreglo 3 fue el más frecuente además de proveer alrededor SE alto (60%) esto permite inferir que el proyecto tiende a estandarizar diseños e incorporar especies exóticas, lo que podría ser poco recomendable por el impacto ecológico que esto conlleva. Además, se deberá asegurar que esto no contribuya a la estandarización ni devaluación del conocimiento local (Shiva, 2016).

Entre productores SSP y No SSP hubo diferencias estadísticas únicamente en el componente de superficie agrícola y número de componentes en parcela. En este sentido, cabe resaltar

que los productores No SSP presentaron mayor diversificación de componentes, lo que se atribuye a una estrategia de subsistencia histórica (Fletes-Ocón, 2009), además de ser un resultado de transformación pasiva positiva (Vaca *et al*., 2012) que permite la restauración de la cobertura forestal y los valores biológicos (Barton-Bray y Klepeis, 2005), aunque esto no implica la restauración de los valores biológicos de la cobertura nativa (Vaca *et al.,* 2012), atribuido a que los productores tienen como ingreso principal otra actividad y la ganadería tiene un manejo mínimo del potrero, concentrándose principalmente en el hato ganadero.

Finalmente, utilizar herramientas de sistema de información geográfica (SIG) como complemento a la planeación territorial y posterior monitoreo es eficiente (Domingo-Liano *et al.,* 2017), permite detectar cambios a escala detallada de bajo costo (Ovalles *et al.,* 2007) asociada a información social, económicos y ambientales (Meza-Aliaga y Díaz-Villalobos, 2014); puede ser útil para la toma de decisiones asertivas (Mas y Flamenco, 2011). El reto es que la información cartográfica disponible suele presentarse a escala 1:250,000 o 1:50,000 lo que no permite discernir detalladamente el espacio geográfico (Trucio *et al*., 2013). Por lo que, esta investigación por su alto escala de análisis SIG (1:3000) se considera relevante en el ámbito académico y útil para la toma de decisiones de los programas y proyectos enfocados a la restauración ambiental de los sistemas ganaderos.

Conclusión

La percepción de SE con base en la utilidad de las especies arbóreas/arbustivas es un indicador de toma de decisión de los productores para la conservación de las especies en potrero. Contrario al enfoque técnico de SE promovidos por el panel de expertos internacional; por lo que, las zonas de mayor reserva de cobertura forestal tienden a ser menos valorada en la vida cotidiana y su conservación depende de factores como la ubicación del potrero, cercanía a un área protegida, incentivos y cercanía al hogar.

Los productores SSP mostraron una tendencia a estandarizar arreglos espaciales, aunque la mayor diversidad de diseños mantuvo baja relación con los SE, en contraste con los productores No SSP.

De los 28 arreglos espaciales, el número 3 se considera proporciona un equilibrado aporte de SE (60.4%) y de mayor aceptación por los productores (14% de frecuencia en el territorio regional) por lo que se asume puede ser un diseño para promover, sin embargo, se sugiere realizar estudios sobre las implicaciones ambientales y técnicas.

El análisis de imágenes satelitales de alta resolución puede ser una metodología de monitoreo territorial de sistemas productivos de bajo costo y eficiente para detectar detalles de cambios en la cobertura de suelo.

Literatura Citada

Amigo, J. 2018. Contribuciones sobre el género Salix (Salicaceae) en Chile. *Chloris Chilensis*, 21(2). URL :// www.chlorischile.cl

Ángel-Sánchez, Y.K.; Pimentel-Tapia, M.E. y Suárez-Salazar, J.C. 2017. Importancia cultural de vegetación arbórea en sistemas ganaderos del municipio de San Vicente del Caguán, Colombia. Revista Actualidad & Divulgación Científica, 20(2): 393-401

Atar, D. 2010. Aportes metodológicos para el estudio de la percepción social de la ciencia y tecnología. Documento de trabajo. Universidad de Belgrado, 251, 48

Barton-Bray, D. and Klepeis, P. 2005. Deforestation, forest transitions, and institutions for sustainability in southeastern Mexico, 1900-2000. Environmental History, 11(2005): 195-223

Battaglini, L., Bovolenta, S., Gusmeroli, F., Salvador, S. and Sturaro, E. 2014. Environmental sustainability of alpine livestock farms. Italian Journal od Animal Science, 13(2): 431-443

Bopp, C., Engler, A., Poortvliet, M. and Jara-Rojas, R. 2019. The role of farmers'intrinsic motivation in the effectiveness of policy incentives to promote sustainable agricultural practices. Journal of Environmental Management, 244: 320-327

Camacho, V.V. y Ruiz, L.A. 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. Biociencias, 1(4): 3-15http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17

Castillo-Santiago, M.A., Mondragón-Vázquez, E., Domínguez-Vera, R. y García-González, R. 2020. Monitoreo de bosques y deforestación en Chiapas. Recuperado dehttps://sureste.ecosur.ourecosystem.com/interface/

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. 2020. Servicio meteorológico nacional, datos climáticos de Pijijiapan, Chiapas. Recuperado dehttps://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=chis

Congo-Yépez, C., Velástegui-Lara, F., Caicedo-Vargas, C., Rodríguez-Iturralde, L., Vera-Zambrano, A. y Montero-Cruz, O. 2018. Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la Amazonía Ecuatoriana. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida, 27(1): 64-76 http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.05

Cortez-Egremy, J.G., Uribe-Gómez, M., Cruz-León, A., Lara-Bueno, A. y Romo-Lozano, J.L. 2016. Árboles nativos para el diseño de tecnologías silvopastoriles en la Sierra de Huautla, Morelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (16): 3371-3380

Czúcz, Bálint; A., Ildikó; Potschin-Young, M., Bereczki, K., Kertész, M., Kiss, B., Aszlós, B.& Haines-Young, R. 2018. Where concepts meet the real world: a systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. Ecosystem Services, 29: 145-157 https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.11.018

del Ángel-Pérez, A.L., Hernández-Estrada, C.A., Nataren-Velázquez, J., Villagómez-del Ángel, T.E., Villagómez-Cortés, J.A. y Tapia-Naranjo, A.C. 2018. Pago por servicios ecosistémicos en ganadería extensiva como instrumento de desarrollo regional. Experiencias de Desarrollo Territorial y Sustentable en México. Primera Edición. Universidad Interserrana del Estado de Puebla y Plaza y Valdés, 83-110 ISBN: 978-607-8624-11-9

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Domingo-Laino, L., Musálem, K. y Laino, R. 2017. Perspectivas para un desarrollo sustentable: un estudio de caso de producción ganadera en la región del Chaco Paraguayo. Población y Desarrollo, 23(45): 95-106 https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2017.023(45).095-106

E.E.A. (European Environment Agency). 2018. Recuperado dehttps://cices.eu/resources/

Escobar-Ocampo, M.C. y Ochoa-Gaona, S. 2007. Estructura y composición florística de la vegetación del Parque Educativo Laguna Bélgica, Chiapas, México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 78, 391-419 http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v78n2/v78n2a16.pdf

Fletes-Ocón, H.B. 2009. La reinvención de una vocación regional agroexportadora. El Corredor Costero de Chiapas. LiminaR. Estudios sociales y humanísticos, 7(2), 164-183

Franceschi-Nicodemo, M.L. and Porfírio-da-Silva, V. (2019). Bark stripping by cattle in silvopastoral systems. Agroforest System, 93: 305-315 https://doi.org/10.1007/s10457-018-0185-y

García-Flores, J., González-Espinosa, M., Linding-Cisneros, R. y Casas, A. 2019. Traditional medicinal knowledge of tropical trees and its value for reforestation of tropical forests. Botanical Science, 97(3): 336-354 https://doi.org/10.17129/botsci.2122

Gómez-Castro, H., Nahed-Torá, J., Tewolde, A., Pinto-Ruiz, R. y López-Martínez, J. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 44(2): 219-230 file:///home/fama/Descargas/art7.pdf

González-Marín, R.M., Moreno-Cassasola, P., Orellana, R. and Castillo A. 2012. Palm use and social values in rural communities on the coastal plains of Veracruz, México. Environment, Development and Sustainability. 14: 541-555 https://doi.org/10.1007/s10668-012-9343-y

González-Valdivia, N., Barba-Macías, E., Hernández-Daumás, S. and Ochoa-Gaona, S. 2014. Avifauna en sistemas silvopastoriles en el Corredor Biológico Mesoamericano, Tabasco, México. Revista Biol. Trop., 62(3), 1031-1052 ISSN-0034-7744

Google Earth. (n.d). Google satelital. Recuperado de https://www.google.com/intl/zh-CN_cn/permissions/geoguidelines/attr-guide.html

Haggar, J., Asigbaase, M., Bonilla, G., Pico, J. and Quilo, A. 2015. Tree diversity on sustainably certified and conventional coffe farms in Central America. Biovidersity and Conservation 24:1175-1194 https://doi.org/10.1007/s10531-014-0851-y

Harvey, D. 1968. Pattern, process and scale problem in geographical research. Transactions of the Institute of British Geographers, 45:71-78

Haines-Young, R. and Potschin, B. 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Recuperado dehttps://cices.eu/

Hernández-Xolocotzi, E. 1949. Estudio botánico de las palmas oleaginosas de México. Botanical Sciences- Boletín de la Sociedad Botánica de México, 9:13-19 doi.10.17129/botsci.957

Herrero-Jáuregui, C., Guariguata, M.R., Cárdenas, D., Vilanova, E., Robles, M., Licona, J.C. *ey al.* 2013. Assessing the extent of “conflict of use” in multipurpose tropical forest trees: A regional view. Journal of Environmental Management, 130:40-47 https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.044

INEGI (Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Pijijiapan, Chiapas. Recuperado de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07069.pdf

Jiménez-Ferrer, G., Velasco-Pérez, R., Uribe-Gómez, M. y Soto-Pinto, L. 2008a. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la Selva Lacandona, Chiapas, México. Veterinaria México, 39(2): 199-213

Jiménez-Ferrer, G., López-Carmona, M., Nahed-Torá, J., Ochoa-Gaona, S. & de Jong, B. 2008b. Árboles y arbustos forrajeros de la Región Norte-Tzotzil de Chiapas, México. Veterinaria México, 39(2): 199-213

Jiménez-Ferrer, G. & Hernández-López, L. (2013). Diversidad de árboles en sistemas ganaderos de Chiapas. Ecofronteras, 17-19

Kebebe, E.G. 2017. Household nutrition and income impacts of using dairy technologies in mixed crop-livestock production systems. The Australian journal of agricultural and resources economics, 61: 626-644 https://doi.org/10.1111/1467-8489-12223

Kent, Robert; O.T. and Scatena, F.N. 2000. Eutrophic overgrowth in the self-organization of tropical wetlands illustrated with a study of swine wastes in rainforest plots. Ecological Engineering, 16: 255-269

Kraft, C., Jenerr-Siems, K., Siems, K., Solis, P., Gupta, M.P., Bienzle, U., *et al.* 2001. Andinermals A-C, antiplasmodial constituents from Andira inermis. Phytochemistry 58: 769-774

Ku-Vera, J.C., Ramírez-Avilés, L., Jiménez-Ferrer, G., Alayón-Gamboa, J.A. y Ramírez-Cancino, L. (1999). Agroforestería para la producción animal en América Latina. En M. D. Sánchez y M. Rosales Méndez, (Eds.), Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano (pp. 61-180, 231-257). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, ISBN: 92-5-304257-5

López-Vigoa O., Sánchez-Santana T., Iglesias-Gómez J.M., Lamela-López L., Soca-Pérez M. Arece-García J., *et al.* 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. Pastos y Forrajes. 40(2): 83-95

Marinidou, E., Jiménez-Ferrer, G., Soto-Pinto, L., Ferguson, B.G. y Saldívar-Moreno, A. 2019. Proceso de adopción de árboles en áreas ganaderas: estudio de casos en Chiapas, México. Sociedad y Ambiente, (18):201-230.

Martínez, O.R.M., Tuyas-Pendás, L., Martínez-Ortega, M., Pérez-Abreu, A. y Cánovas, A.M. 2009. El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. Ciencias Médicas La Habana, 8(2): 1-19

Mas, J. F. y Flamenco Sandoval, A. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. GeoTropico, 5(1): 1-24.

Meza-Aliaga, M. y Díaz-Villalobos, Y. 2014. Efectos de la variabilidad climática sobre las fluctuaciones del nivel de las aguas y actividad ganadera en humedales altoandinos. Interciencia, 39(9): 651-658.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Recuperado dehttps://www.millenniumassessment.org/es/About.html

Miranda, F. 1998. La vegetación de Chiapas. Tercera edición. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Consejo Estatal para la cultura y las artes de Chiapas. p. 596

Montero-Mora, K. y Viales-Hurtado, R. 2015. La teoría del cambio en el paisaje a partir del cambio del uso de la tierra y la cobertura del uso (enfoque LUCC). Su utilidad para la historia ambiental. Reflexiones, 94(2): 25-33.

Murray, S.y Larry, S. 2009. Estadísticas. 4ta Ed., McGraw-Hill/Interamericana Editores, 601 ISBN-13: 978-970-10-6887-8

Naah, J.B. 2018. Investigating criteria for valuation of forage resources by local agropastoralists in west Africa: using quantitative ethnoecological approach. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 14(62).

Olvera-Fonseca, S. 2004. Evaluation of the bromatological potential of seeds and fruits of *Sabal mexicana* mart. (Arecaceae). *Economic Botany*, 58(4): 536-543 https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0536:EOTBPO]2.0.CO;2

Ojeda, L.T., Eguiguren, P., Günter, S., Torres, B. and Dieter, M. 2020. What drives household deforestation decisions? Insights from the Ecuadorian Lowland Rainforests. *Forests*, 11(11), 1131 https://doi.org/10.3390/f11111131

Orantes-García, C., Pérez-Farrera, M.A., del Carpio-Penagos, C.U. y Tejeda-Cruz, C. 2013. Aprovechamiento del recurso maderable tropical nativo en la comunidad de Emilio Rabasa, Reserva de la Biósfera Selva El Ocote, Chiapas, México. Madera y Bosques, 19(1): 7-21.

Ovalles, F.A., Rodríguez, M.F., Espinoza, Y., Cortéz, A., Pérez, M.J., Cabrera, E., *et al.* 2007. Uso de imágenes satelitales de alta resolución para evaluar parcelas experimentales en ensayos silvopastoriles. Zootecnia Tropical, 25(4): 269-277.

Pachón-Ariza, F.A., Bokelmann, W. and Ramírez-Miranda, C.A. 2016. Participatory impact assessment of public policies on rural development in Colombia and México. Cuadernos de Desarrollo Rural, 13(78).

Palma, G.J. y González-Rebeles, I.C. 2018. Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. Universidad de Colima, Colima, México, p. 138

Palma, G.J. y Torres, R.J. 2020. Recursos arbóreos y arbustivos tropicales II para una ganadería bovina sustentable. Universidad de Colima, Colima, México, p. 131

Peri, P.L., Dube, F.and Costa-Varella, A. 2016. Opportunities and challenges for silvopastoral systems in the subtropical and temperate zones of South America. Chapter 11. Silvopastoral systems in South America, advances in Agroforestry. Springer International Publishing, 257-270

Pezo, D., Ríos, N., Ibrahim, M. and Gómez, M. 2018. Silvopastoral systems for intensifying cattle production and enhancing forest cover: the case of Costa Rica. Background paper. PROFOR Innovation and Action for Forest

Pinto-Ruiz, R., Hernández, D., Gómez, H., Cobos, M.A., Quiroga, R. y Pezo, D. 2010. Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: usos y características nutricionales. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo, 26(1): 19-31

Pohjanmies, T., Triviño, M., Le-Tortorec, E., Mazziotta, A., Snäll, T. and Mönkköen, M. 2017. Impacts of forestry on boreal forests: An ecosystem services perspective. Ambio 46: 743-755. https:doi.org/10.1007/s13280-017-0919-5

PSPP. 1.0.1 versión 3. (2007).GNU, Free Software Foundation Inc. Recuperado dehttp://fsf.org

QGIS Development Team. 2019. QGIS Geographic Information System, Open Source Geospatial Foundation Project. Recuperado dehttps://qgis.org

Ríos-García, C.A., Ramírez-Ramírez, J., Molina-Meza, J.R., Pérez-Pimentel, M.E., López-López, M. y Orantes-García, C. 2015. Árboles y arbustos útiles en una comunidad campesina de Jiquipilas, Chiapas. Lacandonia, 9(2): 11-16

Rodríguez, O.G., Nahed-Torá, J., Guevara-Hernández, F., Alayón-Gamboa, J.A. y Grande-Cano, J.D. 2020. Historia y caracterización técnica y socioeconómica de la ganadería bovina en la Costa de Chiapas, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 23(55): 1-13

Salgado-Mora, M.G., Ibarra-Nuñez, G., Macías-Sámano, J.E. & López-Báez, O. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del soconusco, Chiapas, México. Interciencia, 32(11): 763-768.

Seth, M.K. 2004. Trees and their economic importance. The Botanical Review. 69(4): 321-376 doi: 10.1663/0006-8101(2004)069[0321:TATEI]2.0.CO;2

Skutsch, M. y Turnhout, E. 2020. RED+: si las comunidades son la solución, ¿cuál es el problema?. World Development, 130 https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104942

Suárez, A., Williams-Linera, G., Trejo, C., Valdez-Hernández, J.I., Cetina-Alcalá, V.M. and Vibrans, H. 2012. Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, México. Agroforest System, 85: 35-55 https://doi.org/10.1007/s10457-011-9437-9

Shiva, V. 2006. Monocultures of the mind. Chapter 16. Creative Management and development (pp. 199-217). Third edition. SAGE Publications Ltd

Tai-Wing, W., Ling-Hua, Z., Jun, W. and Kwok-Pui, F. 1994. Morin: a wood pigment that protects three types of cells in the cardiovascular system against oxyradical damage. Biochemical Pharmacology. 47(6): 1099-1103 https://doi.org/10.1016/0006-2952(94)90424-3

Trucío, C.R., Rivera, G.M., Delgado, R.G., Estrada, A.J. y Cerano, P.J. 2013. Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. Tierra Latinoamerica 31(4): 339-346

Vaca, A.R., Golicher, J., Cayuela, L., Hewson, J. and Steiningger, M. 2012. Evidence of incipient forest transition in Southern Mexico. Plos ONE, 7(8), e42309

Villamagua-Vergara, G.C. 2017. Percepción social de los servicios ecosistémicos en la microcuenca El Padmi, Ecuador. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, 27: 102-114.

Volpato, G. and Godínez, D. 2004. Ethnobotany of pru, a traditional Cuban refreshment. *Economic Botany*, 58(3): 381-395 https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0381:EOPATC]2.0.CO;2

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y SANITARIA DE LA LECHE BOVINA EN LA REGIÓN DEL SOTAVENTO, VERACRUZ

Maribel Montero Lagunes[1], Jaime Rangel Quintos[1], Laura Hernández Andrade[2], Francisco Tobías Barradas Piña[1], Ingrid Dayana González Morales[3] y Francisco Indalecio Juárez Lagunes[3]*

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito caracterizar la composición química y calidad higiénico-sanitaria de la leche en la región del Sotavento de Veracruz. El trabajo se llevó a cabo en tres municipios lecheros: Tlalixcoyan, Cotaxtla y Medellín. La región es característica del trópico seco con clima cálido subhúmedo: precipitación y temperatura media anual de 1564 mm y 26°C respectivamente. Se identificaron las unidades de producción proveedoras de las queserías artesanales de los tres municipios de estudio. Las unidades de producción se eligieron por muestreo no probabilístico a partir del criterio de conveniencia. Se muestrearon 72 unidades de producción de la zona distribuidos en Cotaxtla 28 localidades, Medellín cinco y Tlalixcoyan 39. Los análisis de laboratorio realizados fueron: Prueba de Alcohol al 72% para termoestabilidad; Prueba de California para mastitis; Prueba de reductasa TRAM; Composición química por espectrometría; Conteo de Células Somáticas; Prueba de anillo en leche para Brucelosis. La toma de muestras se realizó en los meses de diciembre (“nortes”), marzo y mayo (secas), septiembre y octubre (Lluvias) del año 2021. La composición química de la leche producida en la región del sotavento tiende a ser baja en proteína (3.1%) y alta en grasa (3.6%). Aunque en el municipio de Tlalixcoyan y en la época de secas el nivel de proteína cumple con el valor de referencia (3.2%). La calidad higiénico-sanitaria de la leche producida en la región del sotavento en Veracruz es buena en un 50% de acuerdo con las normas establecidas por COFOCALEC-2004 pero con tendencia al deterioro o contaminación por falta de cadena fría para su almacenamiento y transporte antes del destino de procesamiento. Las vacas de

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CE. La Posta.
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-SAI.
[3] Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *fjuarez@uv.mx

Medellín están más propensas a presentar mastitis subclínica. Se detectó presencia de Brucelosis por la prueba presuntiva de anillo en leche con mayor frecuencia en Tlalixcoyan. Se concluye que, por su composición química, la leche es excelente para su procesamiento en queso, pero que, por sus características higiénico-sanitarias, se requiere cadena fría para su manejo post-ordeño. Se potenciaría esta cuenca lechera con asesoría y tecnología de acompañamiento para hacerla mas competitiva.

Palabras clave: calidad de la leche, Inocuidad de la leche, lechería tropical

Introducción

La producción de leche se hace con la expresa intención de proporcionar un alimento de alto valor nutritivo para el ser humano. Para que la leche cumpla con esas expectativas nutricionales debe reunir una serie de requisitos que definen su calidad: composición físicoquímica, cualidades organolépticas y número de microorganismos presentes (LICONSA, 2007). La industria láctea está consciente de que con el manejo adecuado de la ordeña se puede mantener la composición físicoquímica, microbiológica, sanitaria, y por ende el valor nutritivo, de la leche una vez que sale de la vaca. Factores endógenos como la especie o raza del animal, la carga genética, el estado fisiológico y los eventuales estados patológicos (Hernández y Ponce, 2005) actúan directamente sobre la calidad fisicoquímica del producto y la cantidad de este. También lo hacen la sanidad de las vacas y la alimentación. Solo el asesoramiento constante de los productores permite mejoras en estos aspectos. La región del Sotavento “lugar donde azota el viento” en Veracruz está conformada por los municipios La Antigua, Boca del Río, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Soledad de Doblado, Tlalixcoyan, Úrsulo Galván y Veracruz. Tan solo en esta región se produce alrededor del 40% de la leche bovina en el Estado de Veracruz (SIAP, 2018). La mayor parte de esta producción se destina principalmente para la producción de quesos y otros derivados lácteos. El volumen de leche producido está en función del número de vacas ya que la productividad por vaca es muy baja debido principalmente al sistema de producción de doble propósito con baja adopción de tecnología. Aun así, esta región produce

29,132 toneladas de ganado bovino para el abasto, lo que representa el 6.2% de la producción de toda la entidad. Cotaxtla es el municipio con la mayor producción (6,611 toneladas), seguido por Tlalixcoyan (6,360 toneladas). En conjunto, ambos producen el 44.5% de región (Gobierno del Estado de Veracruz, 2011). El manejo inadecuado de la alimentación, la reproducción, la genética y la salud entre otros factores, así como las diferentes épocas ambientales y enfermedades, resulta en una problemática compleja para la producción del ganado bovino en el trópico en general, y en la zona del sotavento veracruzano en particular. Los altos costos de producción, pocas ganancias, la intermediación y el clima, hacen que la situación del ganadero lechero en el trópico sea crítica. La zona del Sotavento (en la localidad de Piedras Negras) cuenta con 1 Centro de Acopio de leche con capacidad de 30,000 L/d. Un problema recurrente que enfrentan los productores de leche en esta zona es el rechazo de leche en la planta de recepción por no pasar la prueba de acidez, y/o la prueba de alcohol. Estas pruebas determinan si una leche es apta o no para pasteurizarse. Sin embargo, estas pruebas no son confiables, porque en ocasiones presenta falsos positivos, así como también falsos negativos en leches con pH normal (Chávez, 2000). Por lo que el principal destino de la leche en la región sea su procesamiento como queso y otros derivados lácteos. Por otro lado, no hay información con relación a la composición, valor nutritivo e higiene de la leche. Además del problema de la salud de la ubre que afectan la calidad de la leche, es importante conocer, como herramienta diagnóstica, la composición láctea y sus interrelaciones con la expresión genética, nutricional, fisiológica y metabólica de la lactación en las condiciones del trópico, para identificar diferentes trastornos de tipo metabólico y las normales variaciones genéticas, fisiológicas y de la alimentación de la vaca lechera que, en combinación, éstas influyen en las pequeñas diferencias porcentuales de los componentes lácteos en relación a los valores de referencia para la raza/región y características físico-químicas de la leche (valores anormales de acidez titulable, pH, peso específico, estabilidad térmica, prueba del alcohol, proteína, caseína, grasa, lactosa), y que pueden ser de gran utilidad para identificar cuadros de SILA (Síndrome de la Leche Anormal), para darle valor agregado a la leche tropical de pastoreo, o como herramienta de trazabilidad. Por lo que el objetivo del presente estudio fue el de caracterizar la composición química-nutricional y calidad higiénico-sanitaria de la leche en la región del Sotavento de Veracruz.

Materiales y Métodos

Localización. El trabajo se llevó a cabo en tres municipios de la región del Sotavento del estado de Veracruz: Tlalixcoyan, ubicado en las coordenadas 18°47′60″N, 96°3′10″O a 10 m de altitud, con superficie de 974.70 km^2; Cotaxtla, ubicado en las coordenadas 18°49′59″N, 96°22′59″O, a 50 m de altitud, con superficie de 659.58 km^2; Medellín de Bravo, ubicado en las coordenadas 19°3′32″N, 96°9′30″O, a 52 m de altitud, con superficie de 398.20 km^2. La región es característica del trópico seco donde predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación media anual de 1564 mm la cual se concentra en un 80% en los meses de junio a octubre. La temperatura media anual es de 26°C, alcanzándose hasta 44 °C en verano. La región es muy susceptible a fenómenos climáticos como vientos del norte con velocidades desde 45 km/h hasta llegar a los 120 km/h (Gobierno del Estado de Veracruz, 2011).

El trabajo se desarrolló en dos etapas comprendidas de marzo a diciembre de 2021

Etapa 1: Se identificaron y describieron las características del sistema de producción de leche en la zona de estudio mediante la aplicación de un cuestionario dirigido a productores proveedores de leche de las queserías artesanales de los tres municipios de estudio. Los productores se eligieron por muestreo no probabilístico a partir del criterio de conveniencia. El cuestionario contiene 67 preguntas estructuradas sobre alimentación, reproducción, sanidad, manejo de hato y ordeño, además, de comercialización y necesidades de capacitación. Los resultados de esta etapa se presentan en otro resumen extenso, pero la información sirvió para delimitar el marco de referencia de las unidades de producción a evaluar en el presente estudio.

Etapa 2. Evaluación de las características higiénicas y sanitarias de la leche.

Por tanque por productor participante se realizaron muestreos para Prueba de estabilidad coloidal por la prueba del alcohol utilizando una concentración de alcohol etílico p.a. al 72% de acuerdo con la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 (Diario Oficial de la Federación, 2004), Prueba de Reductasa (TRAM); Composición Química (Grasa, Proteína, Lactosa, Sólidos Totales y ocasionalmente Urea) en equipo analizador de leche FOSS. Por vaca, se tomaron muestras al momento del ordeño, antes del “apoyo” del becerro y después de la sanitización del pezón para los siguientes análisis: prueba de California para mastitis subclínica, Conteo de Células

Somáticas basado en el principio de tinción fluorescente específica para el ADN, en cámara individual (Delaval Cell Counter DCC) y prueba de Brucelosis por el método de Anillo en leche. La toma de las muestras se realizó en los meses de diciembre (“nortes”), marzo y mayo (secas), septiembre y octubre (Lluvias) del año 2021.

Análisis estadístico. Las variables independientes: características químicas e higiénico-sanitarias de la leche se analizaron mediante Análisis de Varianza de un solo camino de clasificación para los efectos fijos de municipio (Tlalixcoyan, Cotaxtla y Medellin) y época (“nortes”, secas y lluvias) utilizando el Modelo Lineal General del MINITAB versión 15. Las medias mínimo-cuadráticas se compararon con la Prueba de Tukey al nivel de significancia ($P \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

Composición química de la leche. Los factores que más influyen sobre la composición química de la leche son inherentes a la vaca. Pero como el muestreo se hizo por rancho, estos factores no pudieron ser evaluados. Sin embargo, factores ambientales como localidad y época si se pudieron considerar. En el Cuadro 1 se presenta la variación explicada por el modelo para los efectos de municipio y época. En suma, la época explica más la variación ($R^2 = 41.4\%$) que la localidad ($R^2 = 28.9\%$) y que proteína es la variable que más contribuye a esta variación.

Cuadro 1. Variación explicada por el coeficiente de determinación (R^2) del modelo para los efectos de municipio y época en la región del Sotavento.

Variable	Municipio (R^2)	Época (R^2)
Grasa	5.1	9.5
Proteína	11.6	15.8
Lactosa	0.6	0.8
Sólidos Totales	4.4	1.6
Sólidos No Grasos	7.2	13.7
Total	28.9	41.4

Quizás proteína sea el primer nutrimento limitante en la alimentación de las vacas asociado a la relación negativa de este nutriente con el rendimiento del pasto, y que el rendimiento del forraje es estacional (Contreras *et al*., 2022). Al desagregar la variación por municipio, se

detecta que la leche de Tlalixcoyan tiene el valor de proteína más alto ($P \leq 0.05$) y el de grasa más bajo ($P \leq 0.05$). Esta apreciación es relativa porque el nivel esperado de proteína en leche es 3.2% luego entonces Cotaxtla y Medellín están deficientes en proteína. Por el lado de la grasa, el nivel esperado de grasa es 3.5% por tanto Medellín presenta nivel alto de grasa (3.9%). Con relación al valor de urea en leche (15.6%) se considera alto, lo que no es deseable ya que se esperan valores entre 8 y 12% (Lee *et al*., 2014). Arriba de esta referencia indica desbalance de la relación proteína-energía en la dieta. Es decir, un exceso de urea puede ser indicativo de deficiencia de energía, particularmente carbohidratos solubles que no son suficientes para convertir el amonio producido en rumen en proteína verdadera (Imran *et al*., 2017). Lactosa es muy constante (4.5%) y está en función de la presión osmótica que ejerce en la leche independientemente de su volumen de producción. Es decir, si hay glucosa en sangre habrá lactosa en leche, y por tanto más leche, si hay menos glucosa hay menos lactosa y por tanto menos leche, pero la concentración de lactosa siempre va a ser la misma (Aschenbach *et al*., 2010).

De acuerdo con este estudio, el municipio de Cotaxtla muestra la leche con menos proteína, menos sólidos totales y sólidos no grasos (Cuadro 2). Mientras que la leche proveniente de Tlalixcoyan tiene menos grasa, más proteína y por lo tanto mayor contenido de sólidos no grasos. La leche de Medellín contiene más grasa y más sólidos totales (Cuadro 2). Es probable que estas diferencias influyan en el rendimiento y la calidad del queso. Siendo el de Tlalixcoyan el que tenga algunas ventajas comparativas por su contenido de proteína y sólidos no grasos.

Cuadro 2. Características de la leche por municipio en la región del Sotavento.

Variable	Sotavento	Cotaxtla	Medellín	Tlalixcoyan	Desv. Est.
Urea	15.6	16.4^{a}	13.9^{a}	15.8^{a}	5.22
Grasa	3.61	3.53^{ab}	3.87^{a}	3.39^{b}	0.82
Proteína	3.10	3.00^{b}	3.09^{b}	3.24^{a}	0.26
Lactosa	4.52	4.49^{a}	4.55^{a}	4.52^{a}	0.35
Sólidos Totales	12.0	11.7^{b}	12.2^{a}	12.0^{ab}	1.11
Sólidos No Grasos	8.37	8.14^{b}	8.38^{ab}	8.63^{a}	0.46

Proteína y grasa son las fracciones más móviles por efecto de la época (Cuadro 3). Siendo en secas cuando la proteína muestra el valor de referencia (3.21%) pero su nivel de grasa está

por abajo (3.35%) del valor de referencia (3.5%). En lluvias y nortes la leche se caracteriza por ser baja en proteína (alrededor de 3.01 y 2.97% respectivamente) y alta en grasa (3.89 y 3.92% respectivamente).

Cuadro 3. Características de la leche por época en la región del Sotavento.

Variable	Lluvias	Nortes	Secas	Desv. Est.
Grasa	3.89[a]	3.92[a]	3.35[b]	0.86
Proteína	3.01[b]	2.97[b]	3.21[a]	0.30
Lactosa	4.52[a]	4.47[a]	4.54[a]	0.29
Sólidos Totales	12.13[a]	12.07[a]	11.83[a]	1.18
Sólidos No Grasos	8.24[b]	7.97[b]	8.61[a]	0.49

En general la leche producida en el trópico se caracteriza por ser baja en proteína y alta en grasa, de ahí su vocación quesera dado que leches bajas en proteína presentan problemas de termo estabilidad para la pasteurización. Los contenidos de proteína y grasa en leche son un espejo de la composición química de los pastos que consumen las vacas. De acuerdo con Enríquez *et al*., (2011), en las épocas de lluvias y "nortes" los pastos son altamente digestibles con fermentación acética en el rumen siendo el ácido acético el principal precursor de la grasa en leche. También es en estas épocas cuando hay mayor rendimiento de forraje el cual diluye su contenido proteico manifestándose también dilución de proteína en leche. En la época de secas ocurre lo contrario. Los pastos son menos digestibles, no hay suficiente fermentación acética y cae la concentración de grasa en leche. Además, el rendimiento de los pastos es bajo, pero con más proteína siendo así la leche también. Esta analogía hace sentido y pudiera explicar en parte esta relación. La época que más favorece la composición química de la leche para queso es la de secas al concentrar ésta más proteína y sólidos no grasos, aunque desafortunadamente el volumen de leche que se produce es menor dado por deficiencia de forrajes en esta época, condición que obliga al quesero a pagar un poco más por la leche.

En el Cuadro 4. Se muestran los resultados de la prueba de alcohol que por ser una prueba rápida y sencilla es utilizada en los centros de acopio con la finalidad de detectar la estabilidad térmica de la leche cruda, es decir, si la leche tiene la capacidad de resistir altas temperaturas de procesamiento sin presentar coagulación o gelificación visibles, sin embargo, muchas ocasiones presenta falsos positivos y viceversa. Para la determinación de esta prueba se

mezcla la leche con igual volumen de etanol al 72% (V/V). El indicador 0 refiere a resultado negativo a la prueba de alcohol e indicador 1 refiere a resultado positivo con el cual la leche es rechazada en los centros de acopio. En promedio el 34% de la leche en la región de Sotavento resulta positiva a la prueba de alcohol. Siendo el municipio de Cotaxtla con el índice de rechazo más alto (41%), que casualmente coincide con la leche con el contenido de proteína más bajo también (Cuadro 3), y que probablemente sea en la época de "nortes" cuando más rechazos haya por la misma razón. Otra coincidencia es que Tlalixcoyan con la leche con contenido de proteína más alto (Cuadro 3) tenga el menor índice de rechazo en la prueba de alcohol (Cuadro 4).

Cuadro 4. Prueba de Alcohol para aptitud de pasteurización.

Indicador	General		Tlalixcoyan		Cotaxtla		Medellín	
	#	%	#	%	#	%	#	%
0	37	66	14	74	13	59	10	67
1	19	34	5	26	9	41	5	33
Total	56	100	19	100	22	100	15	100

Condición Higiénico-Sanitaria de la Leche. Las condiciones de higiene y sanidad en las unidades de producción lecheras tienen un efecto importante en la calidad microbiológica de la leche, cuanto mayor sean los cuidados aplicados en su obtención menores serán los contenidos microbianos en la misma. El conteo de células somáticas (CCS) es el número de células por mililitro de leche, es por consiguiente un indicador útil para la concentración de leucocitos en leche. El CCS, es usado como un indicador de la salud de la glándula mamaria (Bradley y Green, 2015). La determinación del contenido de células somáticas de la leche, del tanque, de la vaca o de los cuartos de la ubre es el medio auxiliar de diagnóstico más importante, para juzgar el estado de salud de la ubre de un hato. Con los resultados de las células somáticas se corrobora la calidad de la leche (Wolter y Kloppert, 2004). En el Cuadro 5 se resumen los resultados del CCS en los ranchos muestreados en la región del Sotavento. La Norma Oficial Mexicana: NMX-700-COFOCALEC-2004 categoriza el CCS en Clase del 1 al 4 (pie del Cuadro 5). Alrededor del 50% de la leche es Clase 1 considerada como calidad suprema por Alpura y Lala. Clasificando casi el 70% de la leche de Tlalixcoyan en esta

categoría. La leche producida en Medellín y Cotaxtla requiere de más higiene y sanidad en las unidades de ordeño.

Cuadro 5. Prueba de Conteo de Células Somáticas (CCS/mL).

NMX-700-COFOCALEC-2004	General		Tlalixcoyan		Cotaxtla		Medellín	
Clase*	10^3x	%	10^3x	%	10^3x	%	10^3x	%
1	35	53	15	68	10	42	10	50
2	13	20	2	9	8	33	3	15
3	9	14	3	14	3	13	3	15
4	5	8	1	4.5	2	8	2	10
5	4	6	1	4.5	1	4	2	10
Total	66	100	22	100	24	100	20	100

*Clase 1 ≤ 400,000; Clase 2 de 401,000 a 500,000; Clase 3 de 501,000 a 749,000; Clase 4 de 800,000 a 1’000,000; Clase 5 ≥ 1 x 10^6.

En correspondencia con el CCS, la prueba de California para mastitis mostró cerca del 50% de la leche de los ranchos evaluados calificación 0 y 1 que corresponden a negativo y trazas (Cuadro 6). Nuevamente Medellín presentó la incidencia más alta de mastitis subclínica. Un detalle que pudiera estar asociado a la mayor incidencia de mastitis subclínica en Medellín es que algunos de los ranchos muestreados manejan ordeño mecánico. Con el ordeño mecánico se requiere, además de la higiene, atención extra con la presión de vacío, tiempo de ordeña, mantenimiento de pezoneras y del equipo en general que pudieran predisponer a mayor incidencia de mastitis subclínica, como se muestra en los datos del Cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba de California para mastitis.

Indicador	General		Tlalixcoyan		Cotaxtla		Medellín	
	#	%	#	%	#	%	#	%
0	10	17.5	3	16	6	26	1	7
1	15	26.3	7	37	5	22	3	20
2	10	17.5	2	10	5	22	3	20
3	17	29.8	6	32	6	26	5	33
4	5	8.8	1	5	1	4	3	20
Total	57	100	19	100	23	100	15	100

En el Cuadro 7, se presentan los resultados de la prueba de reductasa o tiempo de reducción del azul de metileno (TRAM), la cual mide el tiempo que tarda una mezcla de leche y azul de metileno en ser decolorada (de azul a blanco o leucobase), y se basa en la capacidad que tienen algunos microorganismos de utilizar el oxígeno disuelto en la mezcla provocando un descenso en el potencial de óxido reducción y en consecuencia su decoloración, por lo tanto se considera un indicador indirecto de la multiplicación de las bacterias que están presentes en la leche.

Cuadro 7. Prueba de Reductasa (TRAM) como indicador de bacterias en leche.

Indicador	General		Tlalixcoyan		Cotaxtla		Medellín	
	#	%	#	%	#	%	#	%
1	14	27.4	4	22	6	29	4	33
2	21	41.2	7	39	8	38	6	50
3	16	31.4	7	39	7	33	2	17
Total	51	100	18	100	21	100	12	100

En este caso, se destaca que en general el 41.2% de las muestras resultaron clase 2, es decir leche de regular calidad por presentar TRAM de 2 a 4 horas de acuerdo con la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 (Cuadro 8).

Cuadro 8. El tiempo de decoloración de la muestra para considerar su grado de calidad es:

Tiempo de decoloración	Número estimado de bacterias/mL	Calidad de la leche	Indicador o Clase
5 horas o más	100,000 a 200,000	Buena	1
2 a 4 horas	200,000 a 2 millones	Regular	2
< a 2 horas	2 a 10 millones	Mala	3

NMX-F-700-COFOCALEC-2004.

Este indicador está más relacionado al manejo de la leche después del ordeño. Es decir, la ausencia de cadena fría en la cadena de este sistema de producción después de ordeñada la leche, asociado a condiciones ambientales adversas como temperatura y humedad elevadas, insectos asociados a estos ambientes (moscas), y deficientes instalaciones, contribuyen al rápido deterioro de la leche antes de ser comercializada. Sin considerar que las rutas de los

queseros recolectores de leche duran entre dos y cuatro horas antes de llegar a su destino de procesamiento.

Desafortunadamente Brucelosis está presente en los hatos ganaderos de la región de Sotavento (Cuadro 9). Se detectaron casos positivos con la prueba de anillo en leche. Siendo grave en el municipio de Tlalixcoyan donde más del 50% de las leches analizadas se detectaron positivas, aunque la prueba de anillo en leche es presuntiva. Se debe realizar otro tipo de pruebas confirmativas de *Brucella* para descartar falsos positivos ocasionados por (mastitis, calostro, leche de vacas recién paridas o próximas a secarse, vacas vacunadas contra brucela, etc.).

Cuadro 9. Prueba de anillo en leche para Brucelosis.

Indicador	General		Tlalixcoyan		Cotaxtla		Medellín	
	#	%	#	%	#	%	#	%
0	47	70	9	43	23	92	15	71
1	20	30	12	57	2	8	6	29
Total	67	100	21	100	25	100	21	100

Conclusiones

La composición química de la leche producida en la región del sotavento en Veracruz tiende a ser baja en proteína y alta en grasa. Aunque en el municipio de Tlalixcoyan y en la época de secas el nivel de proteína cumple con el valor de referencia (3.2%).

La calidad higiénico-sanitaria de la leche producida en la región del sotavento en Veracruz es buena en un 50% de acuerdo con las normas establecidas por COFOCALEC-2004 pero con tendencia al deterioro o contaminación por falta de cadena fría para su almacenamiento y transporte antes del destino de procesamiento. Las vacas de Medellín están más propensas a presentar mastitis subclínica.

Se detectó presencia de Brucelosis por la prueba presuntiva de anillo en leche con mayor frecuencia en Tlalixcoyan. Es necesario hacer pruebas confirmativas para descartar falsos positivos.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero con recursos fiscales del INIFAP como parte del proyecto de continuidad 850035068: Caracterización de puntos críticos sanitarios para la trazabilidad de la leche y queso tropicales de bovinos doble propósito.

Literatura Citada

Aschenbach J.R., N.B. Kristensen., S.S. Donkin., H.M. Hammon. and G.B. Penner. 2010. Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. IUBMB Life 62(12):869-877. Doi:10.1002/ iub.400

Bradley, A. and M. Green. 2005. Use and interpretation of somatic cell count data in dairy cows. In Practice 27:310-315.

Chávez M. 2000. Aptitud de la prueba de alcohol para predecir la estabilidad térmica de la leche cruda. INTA.EEA Salta. 1-2.

Contreras, J.J.L., F.I. Juárez L., M. Montero L., F.J. Enríquez Q., E.A. Hernández., F. Z. Lazarín., *et al.* 2022. Rendimiento de biomasa de cinco pastos tropicales por efecto de fertirrigación y época del año. Memorias del 2° Ciclo de Conferencias sobre Producción y Manejo de Forrajes. INIFAP – COLPOS. Veracruz, 2022. p75 - 80.

Diario Oficial de la Federación, 2004. SEGOB. www.dof.gob.mx. DOF: 23/06/2004.

Enríquez, Q. J. F., F. Meléndez N., E.D. Bolaños A. y V. A. Esqueda E. 2011. Producción y manejo de forrajes. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental La Posta. Medellín de Bravo, Veracruz. Libro Técnico Núm. 28.

Gobierno del Estado de Veracruz. 2011. Plan Veracruzano de Desarrollo 2011 – 2016. Estudios Regionales para la Planeación. Región Sotavento.

Hernández, R. y P. Ponce. 2005. Efecto de tres tipos de dietas sobre la aparición de trastornos metabólicos y su relación con alteraciones en la composición de la leche en vacas Holstein Friesian. Zoot. Tropical 23(3):295-310.

Imran M, T.N. Pasha., M.Q. Shahid., I. Babar., U.I. Naveed. et al. 2017. Effect of increasing dietary metabolizable protein on nitrogen efficiency in Holstein dairy cows. Asian-Australas J Anim Sci. 30(5):660-665. Doi:10.5713/ajas.16.0564

Lee J, J. Seo, S.Y. Lee., K.S. Ki., S. Seo. 2014. Meta-analysis of factors affecting milk component yields in dairy cattle. J Anim Sci Technol. 56(5):1-5. Doi:10.1186/2055- 0391-56-5

LICONSA. 2007. Manual de normas de control de calidad de leche cruda. SEDESOL 06 de junio de 2007. Clave: VST-DP-NR-005.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018). “Estadística de producción ganadera para México”. Recuperado de https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria

Wolter, W., y B. Kloppert. 2004. Interpretación de los resultados del conteo celular y de la aplicación de la terapia. Avances en el Diagnóstico y Control de la Mastitis Bovina. Guadalajara, Jalisco, México. 5 pp.

EFECTO DE LA RAZA PATERNA, AKAUSHI, ANGUS Y BRAHMAN, SOBRE EL CRECIMIENTO PREDESTETE DE BECERROS

Jorge Víctor Rosete Fernández[1], Abraham Fragoso Islas[1*], Arturo González Orozco[2], Ángel Ríos Utrera[3] y Angélica Jáimez Váquez[4]

Resumen

La raza de bovinos Akaushi se distingue por su adaptabilidad al clima cálido, así como por la calidad de la canal, longevidad materna, estructura corporal, fertilidad, facilidad de parto y tasa de crecimiento. El objetivo de este trabajo fue evaluar el peso al nacimiento, la ganancia diaria de peso y el peso al destete de crías de toros Akaushi, Angus o Brahman, con vacas comerciales del trópico húmedo. Para la obtención de las crías, las vacas se sincronizaron para ser inseminadas artificialmente a tiempo fijo con semen de toros Akaushi, Angus o Brahman. Las crías desde el nacimiento hasta el destete permanecieron con su madre en amamantamiento libre, destetándose en promedio a los 7.5 meses de edad. Fueron pesadas al nacimiento y al destete y se vacunaron y desparasitaron de acuerdo al programa de cada rancho. Las tres variables, peso al nacimiento, peso al destete ajustado a los 205 días de edad y ganancia diaria de peso al destete, se analizaron con el procedimiento GLM de SAS, utilizando un modelo que incluyó los efectos principales de estado de la República Mexicana (Puebla, Veracruz), raza del toro (Akaushi, Angus, Brahman), época de nacimiento (julio-septiembre, octubre-noviembre) y el sexo de la cría (hembra, macho). Las comparaciones entre medias se realizaron con la opción PDIFF. Solo hubo efecto ($P<0.05$) de la raza del toro en el peso al nacimiento, siendo menos pesadas las crías de toro Akaushi (32.47 ± 0.79 kg), que las crías de toro Angus (34.73 ± 0.91 kg) y Brahman (36.93 ± 0.82 kg); el peso al nacimiento de las crías de toro Angus fue menor que el de las crías de toro Brahman. El peso al destete y la ganancia diaria de peso al destete fue de: 177.7 ± 1.6 y 0.709 ± 0.008 kg; 179.8

[1] INIFAP-CIRGOC-S. E. Las Margaritas, *Autor de correspondencia: rosete.jorge@inifap.gob.mx
[2] INIFAP-CIRCE-C. E. Celaya
[3] INIFAP-CIRGOC-C. E. La Posta
[4] Técnico independiente.

± 1.8 y 0.708 ± 0.009 kg; y 179.8 ± 1.7 y 0.697 ± 0.008 kg; para crías de toro Akaushi, Angus y Brahman, respectivamente.

Palabras clave: becerros cruzados, trópico húmedo, procedimiento GLM de SAS

Introducción

En la producción de carne de bovino, un aspecto importante al término del proceso de engorda es el peso final de los animales, y al sacrificio, la calidad de la carne en cuanto a sus características organolépticas (Maza y Ramírez, 2006). Pero todo este proceso empieza desde los sistemas de producción conocidos como vaca-cría, donde los becerros al destete se destinan para la engorda en corrales con buenas condiciones y espacio suficiente (Greenwood, 2021; Romo-Valdez *et al*., 2021) o bien sistemas de pastoreo (Greenwood, 2021). En el clima tropical húmedo y subtropical húmedo, la producción de becerros para la engorda es en pastoreo de zacates nativos e introducidos o mejorados (Quero *et al*., 2007), que, con el aprovechamiento de este recurso forrajero, en la actualidad los genotipos utilizados para este propósito de producción de carne es con vacas producto de los cruzamientos entre razas europeas x cebú, en grados de cruzamiento variable (González-Padilla *et al*., 2019), con lo que se ha logrado mejorar el peso de los animales destinados para el consumo y así también mejorar la calidad de la carne. Han sido muchas razas europeas las que se han utilizado para los cruzamientos, pero destacan las razas Suizo Europeo, Simmental, Angus, Charolais y Hereford; dentro de las razas cebú, la más popular es la Brahman, lo que ha dado como resultado hembras para pie de cría, precoces y más productivas al destetar sus becerros (Ríos *et al*., 2021). Una raza conocida por su calidad de carne y adaptabilidad es la Akaushi, de origen japonés, que llegó a los Estados Unidos de América en 1994, debido a que los ganaderos de Texas se interesaron en la raza por su calidad de la canal, longevidad materna, estructura corporal, fertilidad, facilidad de parto y tasa de crecimiento (Goodchild, 2019). El objetivo de este trabajo, como iniciativa para la evaluación de la raza Akaushi en los esquemas de cruzamiento de los sistemas vaca-cría del trópico mexicano, fue comparar el peso al nacimiento, la ganancia diaria de peso y el peso al destete de becerros producto del

cruzamiento de toros de las razas Akaushi, Angus y Brahman con vacas comerciales del trópico y subtrópico húmedo.

Materiales y Métodos

Lugar de realización

El trabajo se realizó en dos estados de la República Mexicana, la región oriente del estado de Puebla, con clima subtropical húmedo y en la región centro del estado de Veracruz, con clima tropical húmedo, área de influencia del Sitio Experimental Las Margaritas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Animales

El estudio incluyó 170 vacas de los estados de la republica Puebla y Veracruz, de genotipos comerciales europeo x cebú, en las que predominaba como raza europea la Suizo Pardo, Angus, Hereford, Beef Master y Simmental y como cebú la raza Brahman. Las vacas se mantuvieron en pastoreo rotacional en zacates nativos: *Axonopus* sp. y *Paspalum* sp. y pastos introducidos: *Cynodon plectostachyus*, *Cynodon nlemfuensis* y en algunos ranchos *Brachiaria* sp. El pastoreo se complementó con el suministro de minerales a libertad y el agua la obtuvieron de los abrevaderos naturales. Sanitariamente, se atendieron conforme al protocolo establecido en cada rancho, aplicando la bacterina contra la clostridiasis, pasteurelosis y mannhemia y la vacuna contra la rabia paralítica bovina; además, se desparasitaban contra vermes internos y se daban baños garrapaticidas. Los animales permanecieron libres de brucelosis y tuberculosis. El manejo reproductivo consistió en la sincronización del estro con productos comerciales para ser inseminadas artificialmente a tiempo fijo, incluyendo al programa vacas con buena condición corporal.

Sincronización del estro para la inseminación artificial a tiempo fijo

El protocolo de sincronización estral consistió en la aplicación (día 0) de un dispositivo intravaginal (CIDR) impregnado con 1.9 g de progesterona, al mismo momento se inyectó intramuscularmente (im) 2 mg de benzoato de estradiol. Al retiro del CIDR (día 7), se inyectaron 0.150 mg de D-cloprostenol im y 400 UI de gonadotropina coriónica equina (eCG) im. El momento de la inseminación a tiempo fijo fue entre las 52 y 56 horas posteriores al retiro del

CIDR, lo que ocurrió en el día nueve del protocolo de sincronización. Todas las vacas en sincronización estral fueron inseminadas artificialmente con la técnica universal ya conocida con semen congelado fértil de toros de las razas Akaushi, Angus y Brahman. Se usaron 5 toros Akaushi, 6 toros Angus y 6 toros Brahman.

Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación se hizo por palpación rectal a los 45 y 60 días posteriores al servicio de inseminación artificial y en caso de requerir confirmación se repitió el diagnóstico a los 14 días después del diagnóstico previo.

Manejo de las vacas al parto

Las vacas parieron en el potrero y solo fueron observadas a distancia; sin embargo, fueron atendidas aquellas que mostraron problemas y retraso de parto, acomodando a la cría de manera manual para facilitar su nacimiento.

Manejo de las crías del nacimiento al destete

Después del nacimiento, las crías fueron observadas para asegurar su aceptación por parte de la madre y su posición de pie, y que se amamantara lo más pronto posible; asimismo, se aplicó un antiséptico en el cordón umbilical. Al día siguiente, se le tomó y registró su peso, que se consideró como su peso al nacimiento. La cría permaneció con la madre durante toda su crianza hasta el destete, el que fue repentino, separándolos en potreros diferentes y distantes, para que no se volvieran a juntar. A los cuatro meses de edad, las crías fueron vacunadas por primera vez contra la rabia paralítica; a los cinco meses de edad se les aplicó una bacterina contra clostridiasis, pasteurelosis y mannhemia. Al destete (promedio 7.5 meses de edad), fueron pesadas y desparasitadas contra vermes internos y se empezó con los baños garrapaticidas.

Variables

Las variables de respuesta estudiadas fueron: peso al nacimiento, ganancia diaria de peso y peso al destete ajustado a 205 días de edad. La ganancia diaria de peso y el peso al destete ajustado a 205 días de edad se calcularon con las ecuaciones propuestas por la Federación para el Mejoramiento Genético de Bovinos Productores de Carne (BIF, 2002) de los Estados Unidos de América.

$$GDP=\frac{(PD - PN)}{ED}$$

Donde: GDP es la ganancia diaria de peso.
PD es peso al destete en kg.
PN es el peso al nacimiento en kg.
ED es la edad al destete en días.

$$P205= (GDP*205) + PN$$

Donde: P205, es el peso en kg ajustado a 205 días.

Análisis estadístico

Las tres características evaluadas se analizaron con el procedimiento GLM del programa SAS, utilizando un modelo preliminar que incluyó los efectos principales de estados de la República Mexicana (Puebla, Veracruz), raza del toro (Akaushi, Angus, Brahman), época de nacimiento del becerro (julio-septiembre, octubre-noviembre) y el sexo de la cría (hembra, macho), más las interacciones de dos, tres y cuatro factores como efectos fijos, así como el efecto aleatorio del toro anidado dentro de raza del toro. Las interacciones y el efecto aleatorio del toro anidado dentro de raza del toro no fueron significativos (P>0.05), por lo que el modelo definitivo solo incluyó los efectos principales. Las comparaciones entre medias se realizaron con la opción PDIFF del procedimiento citado.

Resultados y Discusión

Resultados

En el Cuadro 1 se muestran las estadísticas descriptivas para peso al nacimiento, ganancia diaria de peso al destete y peso al destete ajustado a 205 días de edad.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas para peso al nacimiento (PN; kg), ganancia diaria de peso (GDP; kg) y peso al destete ajustado a 205 días de edad (P205; kg).

	PN	GDP	P205
Número de observaciones	170	170	170
Media	34.7	0.695	177.1
Desviación estándar	5.5	0.053	10.8
Valor mínimo	20	0.566	152.0
Valor máximo	50	0.917	221.9
Coeficiente de variación (%)	15.9	7.6	6.1

La significancia estadística de los efectos incluidos en el modelo (Cuadro 2), estado de la República Mexicana (Puebla, Veracruz), raza del toro (Akaushi, Angus y Brahman), época de nacimiento (julio-septiembre, octubre-noviembre) y sexo (hembra, macho) de la cría, muestran que estado de la república tuvo efecto (P<0.05) sobre ganancia diaria de peso y peso ajustado a los 205 días de edad; por su parte, la raza del toro solo afectó peso al nacimiento (P<0.05). La época de nacimiento y el sexo de la cría no tuvieron ningún efecto (P>0.05) en las tres variables de respuesta estudiadas.

Cuadro 2. Significancia estadística de los efectos incluidos en el modelo para analizar peso al nacimiento (PN), ganancia diaria de peso (GDP) y peso al destete ajustado a 205 días de edad (P205).

Efecto	PN	GDP	P205
Estado	0.1874	0.0002	0.0017
Raza del toro	<0.0001	0.3833	0.4593
Época de nacimiento	0.9954	0.0751	0.0753
Sexo de la cría	0.1203	0.3921	0.1049

Con los datos proporcionados (Cuadro 3), la ganancia diaria de peso al destete y el peso al destete ajustado a los 205 días de edad de las crías nacidas en Puebla, tuvieron mayor (P<0.05) ganancia diaria de peso, 0.031 kg más, y peso al destete, 5.2 kg más, que las nacidas en Veracruz. El peso al nacimiento de las crías de toro Brahman fue mayor (P<0.05) que el de las crías de toros Akaushi y Angus; las crías de toro Angus fueron más pesadas que las de toro Akaushi (P<0.05). Por lo tanto, las crías de toro Akaushi fueron las menos pesadas al nacimiento. La época de nacimiento y el sexo de la cría no influyeron (P>0.05) en las tres variables de respuesta estudiadas.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para peso al nacimiento (PN; kg), ganancia diaria de peso (GDP; kg) y peso al destete ajustado a 205 días de edad (P205; kg).

Efecto	PN	GDP	P205
Estado			
Puebla	34.17 ± 0.69^{a}	0.720 ± 0.007^{a}	181.7 ± 1.4^{a}
Veracruz	35.23 ± 0.78^{a}	0.689 ± 0.008^{b}	176.5 ± 1.6^{b}
Raza del toro			
Akaushi	32.47 ± 0.79^{a}	0.709 ± 0.008^{a}	177.7 ± 1.6^{a}
Angus	34.73 ± 0.91^{b}	0.708 ± 0.009^{a}	179.8 ± 1.8^{a}

Continúa Cuadro 3…

Efecto	PN	GDP	P205
Brahman	36.93 ± 0.82[c]	0.697 ± 0.008[a]	179.8 ± 1.7[a]
Época de nacimiento			
Julio-septiembre	34.71 ± 0.43[a]	0.693 ± 0.004[a]	176.8 ± 0.9[a]
Octubre-noviembre	34.70 ± 1.16[a]	0.715 ± 0.011[a]	181.4 ± 2.3[a]
Sexo de la cría			
Hembras	34.08 ± 0.76[a]	0.701 ± 0.007[a]	177.8 ± 1.5[a]
Machos	35.34 ± 0.72[a]	0.708 ± 0.007[a]	180.4 ± 1.4[a]

[a,b,c]Medias con distinta literal dentro de columna y efecto, son diferentes (P<0.05).

Discusión

El peso al nacimiento de las crías de toros Akaushi resultó ser menor al de las crías de los toros Angus y Brahman, hecho que es interesante ya que está documentado que las vacas al parir crías con menor peso presentan menos problemas de parto y la raza Akaushi también pare crías con bajo peso al nacimiento (Goodchild, 2019); sin embargo, como se demostró en este estudio el peso al destete y la ganancia diaria de peso al destete se recuperó, al ser similar al de las crías de toro Angus y Brahman. Una observación importante en este estudio, es que las crías de toro Akaushi fueron saludables con el manejo que recibieron al igual que las crías de toro Angus y Brahman, por lo que son susceptibles de mantenerse en clima tropical húmedo de Veracruz y subtropical húmedo de Puebla.

En consecuencia, debido a que el peso y la ganancia diaria de peso al destete de las crías Akaushi no difirió con las crías de toro Angus y Brahman, se presenta la oportunidad de considerar la utilización de toros Akaushi en los cruzamientos para la producción de becerros para la engorda en clima tropical y subtropical, húmedos, con mira a la obtención de animales aptos para el trópico mexicano. Esto último considerando que la raza Akaushi cuenta con un prestigio internacional en calidad de la canal, calidad de la carne y características sensoriales (Ahmed *et al*., 2021; Maciel *et al*., 2021); por lo tanto, por la importancia comercial de esta raza (Maciel *et al.,* 2020a; Maciel *et al.,* 2020b) y ser poco conocida en nuestro país, es necesario investigar cruzamientos con razas cebuinas, para conocer su comportamiento en corrales de engorda y en pastoreo hasta su finalización y estudiar las características de la canal, de la carne y sensoriales, en los diferentes grados de cruzamientos conocidos y controlados.

Conclusiones

Las crías de toros de raza Akaushi tuvieron la ventaja de tener un peso bajo al nacimiento y similar ganancia diaria de peso y peso al destete, al ser comparados con las crías de toros Angus y Brahman, siendo interesante la raza para su utilización en cruzamientos dirigidos para el mantenimiento de este tipo de animales en clima tropical húmedo en México.

Agradecimientos

Al INIFAP, por el apoyo en recursos materiales y financieros para la realización de este estudio.

Literatura Citada

Ahmed M.R., R. Jr. DeMetris D., J.M. Young, S. Eshkabilov, E.P. Berg and X. Sun. 2021. Beef Quality Grade Classification Based on Intramuscular Fat Content Using Hyperspectral Imaging Technology. Appl. Sci. 11(4588). https://doi.org/10.3390/app11104588

BIF (Beef Improvement Federation). 2002. Guidelines for uniform beef improvement programs. 8th Ed. The University of Georgia, Athens. 161 pp.

González-Padilla, E., A. Lassala, M. Pedernera and Carlos G. Gutiérrez. 2019. Cow-calf management practices in Mexico: Farm organization and infrastructure. Vet. Méx. OA. 6(3). doi: 10.22201/ fmvz.24486760e.2019.3.677 [Consultado el 23 de junio de 2022].

Goodchild, M. 2019. Akaushi: Another Option for Beef Cattle Producers. Beef Cattle Livestock. https://nwdistrict.ifas.ufl.edu/phag/2019/10/18/akaushi-another-option-for-beef-cattle-producers/ [Consultado el 24 de junio de 2022].

Greenwood, P.L. 2021. Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. Animal 15. 100295. http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/ [Consultado el 22 de junio 2022].

Maciel, I.C.F., J.P. Schweihofer, J.I. Fenton, J. Hodbod, M.G.S. McKendree, K. Cassida, *et al*. 2020a. Influence of Akaushi genetics on color and sensory attributes of beef from grain and grass-finishing systems. J. Anim. Sci. 98(Suppl. S4). https://www.researchgate.net/publication/346570173 [Consultado el 24 de junio de 2022].

Maciel, I.C.F., J.P. Schweihofer, J.I. Fenton, J. Hodbod, M.G.S. McKendree, K. Cassida, *et al*. 2020b. Influence of Akaushi genetics on beef performance and merit in grain and carcass-finishing Systems. J. Anim. Sci. 98 (Suppl. S4). https://www.researchgate.net/publication/346570240 [Consultado el 24 de junio de 2022].

Maciel, I.C.F., J.P. Schweihofer, J.I. Fenton, J. Hodbod, M.G.S. McKendree, K. Cassida and J.E. Rowntree. 2021. Influence of beef genotypes on animal performance, carcass traits, meat quality, and sensory characteristics in grazing or feedlot-finished steers. Transl. Anim. Sci. 5:1-18. https://doi.org/10.1093/tas/txab214.

Maza, M.T. y V. Ramírez. 2006. Distintas consideraciones en torno a los atributos de calidad de la carne de vacuno por parte de industria y consumidores. ITEA. 102 (4): 360-372.

Quero, A.R., J.F. Enríquez Q. y L. Miranda J. 2007. Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, avances o status quo. 32(8):566-571.

Ríos U.A., G. Martínez V., R. Calderón Ch., M. Montaño B. y V.E. Vega M. 2021. Logros, retos y perspectivas de la investigación en mejoramiento genético de bovinos productores de carne en el INIFAP. Rev Mex Cienc Pecu. 12(Supl 3):1-22.

Romo-Valdez, A., C. Pérez-Linares, F. Ríos-Rincón, F. Figueroa-Saavedra, A. Barreras-Serrano e I. Castro-Pérez Isabel. 2021. Importancia del espacio vital en la respuesta productiva y bienestar del ganado bovino productor de carne en confinamiento. Abanico Vet. 11:1-15. http://dx.doi.org/10.21929/abavet2021.42.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CORDEROS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DEL ALTIPLANO MEXICANO. 1. REGISTRO DE PESOS

José Reyes Galaviz Rodríguez[1*], Samuel Vargas López[2], Luz Marina Calva Hernández[1], Xóchitl Gabriela Montalvo Aguilar[1], Patricia Villalobos Peñalosa[1] y Lorena Becerra Cervantes[1]

Resumen

Se establecieron factores para evaluar los efectos de sistema de producción (pastoreo en agostadero (PA), pastoreo + suplemento (PS) y alimentación en pesebre (AP); tipo de parto (sencillo/gemelar); sexo de la cría (macho/hembra); raza SF, HP, LP, PB y SFxHP; época de nacimiento (seca/lluvia); estación de nacimiento (otoño, invierno, primavera y verano), en el peso al nacimiento (PN), peso al destete a 84 días de edad (PD), peso final a 182 días (PF) y la ganancia diaria promedio pre-destete, post-destete y total entre el nacimiento y el peso final de corderos en el Altiplano de México. También se caracterizó la curva de crecimiento entre el nacimiento y 182 días de edad, por análisis de regresión. Las medias generales fueron 4.83 ± 1.67, 20.56 ± 4.99 y 28.86 ± 6.98 kg para PN, PD y PF, respectivamente. Los promedios generales de las ganancias diarias de peso fueron 0.187, 0.100 y 0.135 kg, para los periodos pre-destete, post-destete y total, respectivamente. La ecuación general de la curva de crecimiento de los corderos hasta los 182 días de edad fue y=peso al nacimiento + tasa de crecimiento (x) - x^2 (R^2). Se concluye que el sistema de producción, tipo de parto, sexo, raza, época de nacimiento, como estación de nacimiento influyeron de manera importante sobre las variables analizadas.

Palabras clave: ganancia de peso, factores ambientales, Altiplano de México

[1] Universidad Autónoma de Tlaxcala, Facultad de Agrobiología, Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia * jrgrgalaviz@gmail.com
[2] Colegio de Posgraduados de Puebla

Introducción

La población ovina en México es de 8.6 millones de animales, los cuales no abastecen la producción de carne que demanda el mercado interno. El 53% de la población se sitúa en el altiplano del país y las razas predominantes son las de pelo y las de lana cabeza negra. La mayoría de los productores pecuarios son de escasos recursos, y la ganadería en el 80% es de tipo familiar o traspatio; los animales dependen de la disponibilidad de recursos forrajeros en la temporada de lluvias y de residuos de cosechas agrícolas en la temporada de secas (INEGI, 2016). Las limitantes son diversas, sin embargo, la producción ovina tiene potencial en muchas áreas de México, se pueden transformar los recursos forrajeros a carne y tener una actividad económica para zonas donde la mayoría de los recursos forrajeros son de bajo valor nutricional (Haenlein y Abdellatif, 2004). Para lograr lo anterior, es necesario identificar las fortalezas y debilidades de los sistemas de producción ovina. La dependencia de la vegetación nativa y los esquilmos agrícolas, como principales fuentes de alimento para los ovinos, es quizás la debilidad primaria que limita el potencial genético de las razas de ovinos que crían los productores (Haenlein y Abdellatif, 2004). Undi *et al*. (2001) y Milis *et al*. (2005) señalan que el factor que limita una producción eficiente del ganado ovino es una pobre o inadecuada alimentación, particularmente en la temporada de secas del año. Puesto que no se suministra suficiente cantidad de alimento para satisfacer su necesidad de nutrimentos (Mekasha *et al*., 2002; Lanza *et al.,* 2003). Este desequilibrio entre la alimentación del ovino y sus necesidades de alimento sólido y de nutrimentos refleja la condición corporal de los ovinos, su peso vivo y ganancia de peso, que se traduce en tiempo para alcanzar peso a mercado (Avondo *et al*., 2004; Ahmed y Abdalla, 2005; Boso *et al.*, 2007; Milis *et al.,* 2005; Solomón *et al.,* 2005). En condiciones practicas un desequilibrio de esta naturaleza tiene efecto directo sobre la productividad (Díaz *et al*., 2002; Emsen *et al*., 2004).

El peso vivo del animal y la ganancia diaria de peso reflejan la influencia de la alimentación y condiciones de manejo de un rebaño de ovinos a través del año. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue obtener información sobre el comportamiento productivo de corderos en los sistemas de producción del Altiplano.

Materiales y Métodos

Características de la región

El estudio se realizó en seis municipios de la zona centro-norte del estado de Tlaxcala, estos fueron: Calpulalpan, Nanacamilpa, Benito Juárez, Hueyotlipan, Sanctorum y Domingo Arenas. El área se ubica en el altiplano central de México, geográficamente a 19°22’ y 19°45’ de latitud N y 97°52’ y 98°43’ de longitud oeste, a una altitud de 2,650 m. El clima de la zona es C(w1)(w), caracterizado por ser templado subhúmedo, con temperatura media anual de 15° C y precipitación media anual entre 300 y 500 mm (INEGI, 2016). La superficie total de la zona es de 180,720 ha, las tierras de cultivo son destinadas a la producción de maíz, trigo y cebada. El cultivo de cereales esta estrechamente relacionado con la producción ovina, la cual se concentra en un 75% de la población total de ovinos del estado de Tlaxcala en esta zona.

Clasificación de las unidades de producción

Se trabajó con 15 unidades de producción ovina (UPO), estas se agruparon en tres sistemas de producción, según la forma de alimentar a los rebaños ovinos:

a) Pastoreo en agostadero (PA): La alimentación de los ovinos dependió únicamente de la vegetación nativa, que crece en la temporada de lluvias, y de la utilización de residuos postcosecha en áreas de cultivo durante la temporada de seca. Los rebaños se pastorearon en áreas con vegetación nativa durante un tiempo diario de 8 a 10 h, en los meses de octubre a marzo, el pastoreo se realizó en cultivos de rastrojo de cebada y maíz. Otros rebaños ovinos pastorearon en la orilla de caminos y bordos de tierras agrícolas durante los meses de abril a septiembre. Los ovinos tuvieron acceso a agua antes y después del pastoreo. El encierro de los rebaños se realizaba por las noches para evitar el ataque de predadores y robos. Los corderos en esta unidad de producción dependieron inicialmente de la producción de leche de las madres y posteriormente del consumo de alimentos ya descritos.

b) Pastoreo más suplemento (PS): La alimentación de los rebaños fue similar al sistema anterior, pero adicionalmente se complementaron con granos de cereales entre 300 y 600 g de cebada, maíz o trigo, y 500 g de rastrojo de maíz molido por cabeza, principalmente en la temporada de lluvia (abril–septiembre). También los ovinos recibieron agua dos veces por día. Los corderos en esta unidad de producción también dependieron inicialmente de la leche de la madre que a la vez fue suplementada. Los corderos tuvieron poco acceso al suplemento,

debido a la competencia de consumo por la propia madre y la disponibilidad y tamaño de los comederos.

c) Alimentación en pesebre (AP): Los rebaños ovinos fueron alimentados en corrales. La alimentación fue con rastrojo de maíz molido y/o paja de cebada complementados con granos de cereales (Solomon *et al*., 2005). La mezcla de alimentos fue exclusivamente proporcionada en pesebre, los animales estuvieron en confinamiento permanente y tuvieron libre acceso al agua. Los corderos tuvieron disponibilidad al alimento a través de corrales y comederos exclusivos para ellos.

En los tres sistemas de producción ovina, solo el 15% de los productores proporcionaba sal mineral a los rebaños ocasionalmente.

Características y manejo de los rebaños

Las UPO están formadas de 50 a 300 cabezas. El objetivo es producir vientres y corderos para el mercado de la barbacoa. Las ovejas (vientres) estuvieron expuestas todo el año a los sementales, así los empadres se presentan de forma natural y las pariciones pueden ocurrir en cualquier época del año. Las UPO cuentan con una relación de un semental por 15 a 30 hembras.

Los productores no llevan control de registros productivos, algunos realizan el destete solo en los corderos machos que son engordados en corral. Las enfermedades más comunes son paratuberculosis, linfadenitis, abortos ocasionales y parasitosis. Los rebaños son desparasitados dos veces al año contra vermes pulmonares y gastrointestinales. También aplican la vacuna contra Manhemia hemolytica con toxoide y Pasteurella multocida antes del parto (Hjerpe, 1990).

Variables de estudio

Durante el periodo de estudio, del 1 de octubre del 2016 al 31 de julio del 2017, se registraron 1020 corderos de cinco genotipos, Suffolk (SF) (n = 450), Hampshire (HP) (n = 122), lana x pelo (LP) (n = 306), Suffolk x Hampshire (SFxHP) (n = 64) y Pelibuey (PB) (n = 78). Cada cordero se identificó con un arete y numero de pintura en el costado derecho, se pesaron con una bascula digital, inmediatamente o 48 h antes del nacimiento. Estos permanecieron con su madre dentro del rebaño según la costumbre de los productores y el manejo general del rebaño de acuerdo con cada sistema de producción. Los nacimientos se agruparon por temporada y estación del año. Las temporadas fueron la época de lluvia (abril a septiembre) y la época de

sequia (octubre a marzo), mientras que las estaciones fueron primavera, verano, otoño e invierno. Esto con el fin de detectar posibles diferencias en el peso vivo y ganancia de peso de los corderos sujetos de estudio. También los corderos se agruparon por sexo y tipo de nacimiento (sencillo o gemelar). Después de registrar el peso al nacer, los corderos fueron pesados cada 14 días hasta ser comercializados como animales para abasto o como animales para pie de cría.

Las variables de respuesta a las diferencias en el manejo alimenticio de los rebaños fueron: peso vivo al nacimiento (PN), destete a los 84 días (PD), a los 182 días (PPD); y las ganancias diarias de peso en las etapas pre-destete (GDPR), post-destete (GDPO) y total (GDPT).

Análisis y modelo estadístico

La base de datos fue analizada por el procedimiento GLM (modelo 1, SAS 2003, V 9.1). El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijklmnop} = \mu + S_i + R_j + EP_k + ES_l + TP_m + SE_n + L_o + (S*EP)_{ik} + (S*TP)_{im} + (S*SE)_{in} + (EP*ES)_{kl} + (S*EP*TP)_{ikm} + (S*EP*SE)_{ikn} + \varepsilon_{ijklmnop}$$

$$Y_{ijklmnop} = \mu + S_i + R_j + EP_k + ES_l + TP_m + SE_n + L_o + (S*EP)_{ik} + (S*TP)_{im} + (S*SE)_{in} + (EP*ES)_{kl} + (S*EP*TP)_{ikm} + (S*EP*SE)_{ikn} + \varepsilon_{ijklmnop}$$

Donde:

$Y_{ijkmnop} =$ La variable de respuesta: peso vivo al nacer, peso vivo al destete a los 84 días y peso vivo a los 182 días (post-destete). Las ganancias diarias pre-destete, post-destete y total. $\mu =$ Media poblacional. $S_i =$ Efecto de i-ésimo sistema de producción ovina en: PA, PS y AP. $R_j =$ Efecto de la j-ésima raza de ovinos dentro de cada sistema de producción ovina, SF, HP, LP, SFxHP y PB. $EP_k =$ Efecto de la k-ésima época o temporada del año, lluvia o seca. $ES_l =$ Efecto de la l-ésima estación del año, primavera, verano, otoño e invierno. $TP_m =$ Efecto del m-ésimo tipo de parto, simple o doble. $SE_n =$ Efecto del n-ésimo sexo del cordero nacido, hembra o macho. $(S*EP)_{ik} =$ Efecto de la interacción entre el i-ésimo sistema de producción ovina entre la k-ésima época o temporada del año. $(S*TP)_{im} =$ Efecto de la interacción entre el i-ésimo sistema de producción ovina entre el m-ésimo tipo de parto. $(S*SE)_{nm} =$ Efecto de la interacción

entre el i-ésimo sistema de producción ovina entre el n-ésimo sexo del cordero nacido. $(EP*ES)_{kl}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésima época del año y la l-ésima estación del año. $(S*EP*TP)_{ikm}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo sistema de producción, la k-ésima época o temporada del año y el m-ésimo tipo de parto. $(S*EP*SE)_{ikn}$ = Efecto de la interacción entre el i-ésimo sistema de producción, la k-ésima época o temporada del año y el n-ésimo sexo del cordero. $\varepsilon_{ijkmnop}$ = Efecto del p-ésimo error experimental cometido en cada una de las mediciones de las unidades experimentales**.**

Resultados y Discusión

Peso de los corderos al nacer

El peso promedio al nacer de los corderos en la zona de estudio, sin considerar el sistema de producción ovina y la raza de los ovinos criados por los productores, fue de 4.83 ± 1.67. El valor promedio obtenido para el peso al nacer es bajo debido a que refleja una clara influencia de la raza de ovinos, sexo del cordero, tipo de parto, factores ambientales y condiciones de alimentación (Combellas *et al*., 1980). Este peso al nacimiento se encuentra entre los rangos de 4.1 a 5 kg encontrado para otras razas como la Suffolk, Hampshire, Texel y Oxford (Maxa *et al*., 2007). En otros estudios realizados en el altiplano mexicano se han registrado pesos promedio de 5.6 kg, para la raza Columbia (De Lucas *et al*., 2003) y 2.7 kg para la raza Blackbelly (González *et al*., 2002). Los corderos del sistema de producción AP tuvieron menos peso (22.2%) al nacer que los corderos de los sistemas PA y PS (Cuadro 1, P<0.001). Este resultado se atribuye a que en el sistema AP, predominan ovinos de pelo y de cruza SFxHP.

Los corderos de las razas puras SF y HP fueron los mas pesados al nacer que aquellos de las razas de pelo o las cruzas existentes (Cuadro 1, P<0.001). Los corderos SF pesaron 23.3% más que los corderos de raza HP (P<0.001), mientras que el resto de los corderos pesaron en promedio 3.5 kg. Los pesos registrados para los corderos de las distintas razas son similares a los reportados en otros trabajos con ovinos de lana (De Lucas *et al*., 2003; Maxa *et al*., 2007; Yilmaz *et al*., 2007) y superiores a los reportados por Dixit *et al*. (2001) y con ovinos de pelo (Rastogi, 2001; González *et al*., 2002; Matika *et al*., 2003).

Los corderos nacidos de parto simple pesaron 18.2% más que aquellos nacidos de parto gemelar (P<0.001), y los machos pesaron 9.6% más que las hembras (P<0.001) resultados que coinciden con otros estudios de González *et al*. (2002) y De Lucas *et al*. (2003). El hecho de que los corderos nacidos de parto simple y los machos fueran más pesados al nacer es consistente con resultados de otros estudios (De Lucas *et al*., 2003; Cloete *et al*., 2007; Corner *et al*., 2007; Yilmaz *et al*., 2007). Los corderos nacidos de parto sencillo fueron más pesados, ellos no compiten por ser la única cría dentro del útero y dispone de todo el espacio uterino para desarrollar su cuerpo antes del parto.

El análisis del peso al nacer de los corderos a nivel de municipio mostró diferencias significativas (P<0.001). El peso promedio al nacer de los corderos fue de 6.11, 5.84, 4.63, 3.67 y 3.3 kg para Hueyotlipan, Nanacamilpa, Benito Juárez, Muñoz de Domingo Arenas y Calpulalpan, respectivamente. Esto es debido a que en los tres primeros municipios se concentra los ovinos de lana, y, en Muñoz y Calpulalpan se tiene presencia de ovinos de pelo.

Cuadro 1. Pesos promedio de corderos al nacimiento por sistema de producción, tipo de nacimiento, sexo y raza en el altiplano mexicano.

	N	Peso al nacer (kg)	Error estándar
Sistema de producción ovina			
Pastoreo en agostadero (PA)	286	4.87a	0.108
Pastoreo más suplemento (PS)	612	5.01a	0.105
Alimentación en pesebre (AP)	122	3.84b	0.156
Época			
Sequia	730	5.11a	0.088
Lluvia	290	4.12b	0.119
Estación del año			
Otoño	288	5.01a	0.133
Invierno	448	5.14a	0.116
Primavera	182	4.35b	0.174
Verano	102	3.82c	0.119
Sexo			
Hembra	532	4.59a	0.094
Macho	488	5.08b	0.113
Raza			
Suffolk (SF)	450	6.13a	0.066
Hampshire (HP)	122	4.7b	0.152
Lana pelo (LP)	306	3.5c	0.112
Pelibuey (PB)	78	3.36c	0.155
Suffolk x Hampshire (SFxHP)	64	3.8c	0.150

Medias con diferentes literal, en la misma columna y variable de clasificación, son estadísticamente diferentes (P<0.001).

La época y estación de nacimientos en corderos influyó en el peso al nacimiento (P<0.001, Cuadro 1), los corderos nacidos en la temporada de secas pesaron 19.4% más que aquellos corderos nacidos en la temporada de lluvias (P<0.001), esto se atribuye a la disponibilidad de áreas postcosecha, debido a que el productor manipula la alimentación del ganado ovino durante esta temporada. Datos similares han sido reportados por González *et al*. (2002) y De Lucas *et al*. (2003); esto se atribuye a efectos ambientales (Hailu *et al*., 2006; Yilmaz *et al*., 2007). En la época seca se presentó el 71.6% de los partos. Los corderos nacidos por estación del año muestran mayor peso en el otoño e invierno (19.5%), a diferencia de los nacidos en primavera y verano (P<0.001). Otros trabajos han observado que corderos de lana nacidos en invierno fueron más pesados que los nacidos en primavera (Yilmaz *et al*., 2007), y estudios con ovinos de pelo se presentó diferencia con respecto al mes de nacimiento, siendo más pesados los que nacieron en enero que en diciembre (González *et al*., 2002).

Peso de los corderos a los 84 días

La mayoría de los productores no destetan los corderos a un peso o edad específicos, por esta razón en este estudio se convino hacer un análisis del peso de los corderos a los 84 días, considerando que técnicamente se recomienda destetar a los corderos entre los 70 y 90 días (Combellas *et al*., 1980), así que considerar una edad al destete de 80 días de nacidos es un buen criterio. El peso promedio de los corderos a esta edad fue de 20.6 ± 4.9, el valor registrado para peso a los 84 días se aproxima al valor superior del rango de 15 a 22 kg, reportada en otros estudios (Dixit *et al*., 2001; Matika *et al*., 2003). Los corderos de los sistemas de producción ovina PS pesaron 21.46 y 17.61% más que los corderos de los sistemas de producción PA y AP, respectivamente (P<0.001), mientras que los corderos de los sistemas PA y AP, claramente diferenciados en su sistema de alimentación, alcanzaron un peso similar a los 84 días posterior a su nacimiento (Cuadro 2). Esto puede ser debido que en el AP mantienen a sus vientres con cruzas de razas que mejoran empíricamente el vigor hibrido.

Se observó una ventaja en el peso a nacer de los corderos nacidos de partos sencillo y nacidos machos. Los corderos mas pesados al nacer pesaron más a los 90 días, este comportamiento también fue observado por otros autores (González *et al.*, 2002; De Lucas *et al.,* 2003; Cloete *et al.,* 2007; Corner *et al.,* 2007; Yilmaz *et al.,* 2007), ellos concluyen que las crías de parto simple son mas pesadas que las de parto múltiple, lo que puede ser explicado principalmente por la producción de leche de la oveja que destina a una sola cría.

Cuadro 2. Ganancia diaria de peso (kg) por periodo pre-destete, post-destete y final, en corderos para diferentes variables de clasificación.

	N	Ganancia diaria de peso pre-destete	Peso vivo de peso pre-destete	N	Ganancia diaria de peso post-destete	Peso vivo de peso pos-destete	Ganancia diaria de peso final
Sistema de producción							
ovina	226	0.152 ± 0.006c	17.57 ± 0.558b	120	0.121 ± 0.007a	28.24 ± 1.122ab	0.131 ± 0.006b
Pastoreo en agostadero (PA)	496	0.205 ± 0.004a	22.37 ± 0.406a	236	0.090 ± 0.005c	29.10 ± 0.862a	0.139 ± 0.004a
Pastoreo más suplemento (PS)	106	0.175 ± 0.007b	18.43 ± 0.713b	52	0.097 ± 0.011 b	25.50 ± 1.404b	0.122 ± 0.008c
Alimentación en pesebre (AP)							
Tipo de nacimiento							
Sencillo	678	0.189 ± 0.004a	20.92 ± 0.355a	330	0.098 ± 0.005b	27.26 ± 0.648b	0.134 ± 0.003b
Gemelar	350	0.175 ± 0.007b	18.82 ± 0.717b	78	0.111 ± 0.009a	32.72 ± 1.350a	0.136 ± 0.007a
Sexo							
Hembra	454	0.181 ± 0.005b	19.88 ± 0.441b	288	0.086 ± 0.004b	34.32 ± 0.948a	0.127 ± 0.003b
Macho	374	0.193 ± 0.005a	21.38 ± 0.457a	120	0.136 ± 0.009a	33.56 ± 2.48a	0.154 ± 0.006a
						23.44 ± 0.937b	
						27.23 ± 1.316b	
						27.64 ± 1.316b	
Raza							
Suffolk (SF)	372	0.209 ± 0.005a	23.79 ± 0.458a	136	0.114± 0.007bc		0.155 ± 0.005a
Hampshire (HP)	86	0.192 ± 0.012b	20.92 ± 1.099b	32	0.117 ± 0.014b		0.159 ± 0.012a
Lana pelo (LP)	232	0.174 ± 0.005c	18.21 ± 0.459c	136	0.060 ± 0.005d		0.111 ± 0.004c
Pelibuey (PB)	74	0.165 ± 0.006d	17.16 ± 0.579c	44	0.111 ± 0.011c		0.132 ± 0.007b
Suffolk x Hampshire (SFxHP)	64	0.118 ± 0.007e	13.73 ± 0.588d	60	0.145 ± 0.009a		0.132 ± 0.007b
Época							
Seca (oct-mar)	628	0.196 ± 0.004a		312	0.107 ± 0.005a		0.140 ± 0.003a
Lluvia (abr-sep)	200	0.157 ± 0.006b		96	0.079 ± 0.006b		0.117 ± 0.005b
Estación del año							
Otoño							
Invierno	268	0.185±0.006ab		148	0.123±0.006[a]		0.141±0.004a
Primavera	362	0.203±0.006[a]		164	0.093±0.007ab		0.139±0.005a
Verano	142	0.167±0.007b		76	0.070±0.006b		0.117±0.005b
	56	0.139±0.009c		20	0.108±0.016a		0.122±0.011b

Los méritos genéticos de los corderos de raza SF, para peso a los 84 días, fueron evidentes en este estudio, ya que superaron en 12.1, 23.4, 27.9 y 42.3% a los corderos de las razas SFxHP, PB, LP y HP, respectivamente (P<0.001). Estos datos son superiores a los corderos Merino a los 90 días (15.0 kg: Dixit *et al*., 2001), e inferiores a corderos de 60d de las razas Texel, Shropshire, Oxford y Suffolk, los cuales alcanzaron pesos superiores a los 21 kg (Maxa *et al*., 2007), los datos de este estudio fueron similares a la raza Columbia (De Lucas *et al*., 2003), con la excepción de que este ultimo estudio se realizó en un sistema intensivo. Los corderos PB, disminuyeron 5.8% en diferencia de sus cruzas con lana. Sin embargo, es superior en la raza Blackbelly (González *et al*., 2002).

En relación con la época, los corderos pesaron un 24% mas a los 84 días en la época de sequia a diferencia de la época de lluvia (P<0.001), en principio por haber nacido mas pesados y presumiblemente esto dio una ventaja (Cuadro 2), ya que esta influyó sobre el peso al destete.

La estación de año también influyó sobre el peso al destete de los corderos, en otoño e invierno tuvieron un similar comportamiento (P>0.1), con 20.67 y 22.12 kg, en comparación con primavera que solo alcanzaron los 18.24 kg y para verano que fue la estación donde se presento el menor peso al destete con 15.81 kg (P<0.001).

Peso de los corderos a los 182 días

La media general de peso a 182 días fue de 28.86 ± 6.98. En el sistema PA y PS no presentaron diferencias (P>0.05 con 28.24 y 29.10 kg). Sin embargo, para el AP fue el de menor comportamiento (P<0.001 con 25.50 kg). El peso de los corderos a los 182 días presentó mejor comportamiento en la época de sequía con 29.96 vs 25.26 kg para la época de lluvia (P<0.001). La estación de año también influyó, obteniendo mejor comportamiento para otoño-invierno con 30.13 y 29.66 kg (P<0.001) y para primavera-verano con 25.44 y 25.84 kg, respectivamente.

Ganancia diaria de peso

Los promedios de ganancia diaria de peso (media ± ee) en los 1020 corderos fueron los siguientes: pre-destete (de 0 a 84d) = 0.187 ± 0.187, post-destete (de 84 a 182 d) 0.100 ± 0.004 y peso final (de 0 a 182 d) 0.135 ± 0.003.

En el periodo pre-destete PS obtuvo las mayores ganancias diarias de peso (GDP), con 0.205 kg (P<0.001). En los sistemas AP y PA registraron ganancias de 0.175 y 0.152 kg,

respectivamente (Cuadro 2). Estos resultados se consideran aceptables, ya que en sistemas intensivos de pastoreo registraron 0.271 kg, de 0 a 60 días (De Lucas *et al*., 2003). En sistemas de alimentación artificial con substitutos de leche se obtuvo 0.227 kg y sin substituto 0.209 kg (Bimczok *et al*., 2005). La explicación de estas diferencias puede radicar en diversos factores que proporcionen el mejor bienestar a las ovejas, por un lado, la época de partos que repercute en el comportamiento de los corderos. La mayoría de los partos en este estudio, se registraron en la época seca, la cual cuenta con clima y ambiente favorable para los corderos en sus primeras semanas de vida, así como por la disponibilidad de rastrojos, lo que le permite a la oveja tener mejor condición corporal al final de gestación y una en mayor producción de calostro y leche (Dwyer, 2008; Hashemi *et al*., 2008).

Durante el periodo post-destete las ganancias diarias disminuyeron en relación con las obtenidas en el pre-destete, siendo el PA la de mejor comportamiento ($P<0.001$), en comparación a la AP y PS, con 0.121, 0.097 y 0.090 kg, respectivamente. Esto se puede explicar, en primer lugar, por efecto de destete, disponibilidad de alimento, época de nacimiento. Después de los 56 días la asociación de la producción de leche y el crecimiento de los corderos es menor o no significante, los corderos dependen menos de la leche para su mantenimiento y crecimiento, aumentando la dependencia de forraje y complementos alimenticios (Dwyer, 2008; Hashemi *et al*., 2008). En general, las GDP alcanzadas por sistema de producción, la PS fue mayor ($P<0.001$), con 0.139 kg, en comparación a la PA y AP con 0.131 y 0.122 kg, respectivamente.

Las crías de parto simple en la fase pre-destete tuvieron GDP mayor que las de parto gemelar 0.189 vs 0.175 kg, esta diferencia desapareció en la fase post-destete (0.098 vs 0.111 kg) y en el periodo final (0.134 vs 0.136 kg). Esta tendencia de las crías provenientes de parto sencillo coincide con resultados que se han reportado en la raza Merino para los periodos de pre-destete y post-destete (Dixit *et al*., 2001). Otros trabajos reportan mejor comportamiento de los corderos en el periodo pre-destete (González *et al*., 2002). El sexo influye en la GDP (Rosa *et al*., 2007) pero al parecer el tipo de nacimiento no influye en la GDP (Yilmaz *et al*., 2007). La GDP por raza durante la fase pre-destete, la de mejor comportamiento fue la SF con 0.209 kg ($P<0.001$), seguida de la HP con 0.192 kg, intermedias las LP con 0.174 kg y la PB con 0.165 kg y la de menor ganancia fue la SFxHP con 0.118 kg. Estos resultados son inferiores a lo reportado por Rosa *et al*., (2007), en la raza Romney Marsh con 0.236 kg y

similares a los obtenidos con la Merino Branco con 0.214 kg. En trabajos con la Blackbelly, González *et alet al*. (2002), reportan en la fase pre-destete ganancias inferiores a las obtenidas en este trabajo con la PB con 0.165 vs 0.122 g.

En la fase pos-destete y periodo final, las mayores ganancias de peso fueron para los machos, que es un resultado ya conocido, a lo observado con otros estudios con diversas razas y condiciones (Bosso *et al*., 2007; Rosa *et al*., 2007; Yilmaz *et al*., 2007).

En referencia al tipo racial, las razas de lana son las que alcanzaron las mayores GDP, estos resultados pueden ser debido al efecto de estación del año, que influye básicamente en la disponibilidad de alimento, aportando diferentes patrones de crecimiento (Yilmaz *et al*., 2007). Otros trabajos confirman que las razas de lana presentan mejor comportamiento que las de pelo (Burke y Apple, 2007; Lupton *et al*., 2007). En razas de pelo reportan solo 0.088 kg de GDP en esta fase (González *et al*., 2002).

Conclusiones

El comportamiento de los corderos hasta el periodo final (sacrificio o comercialización) es muy similar al periodo post-destete, donde las razas de lana continúen presentando el mejor comportamiento que las de pelo y sus cruzas de estas. Durante el pre-destete, post-destete y periodo final, la época de sequía presentó mejor comportamiento a diferencia de la época de lluvia. Evidentemente el sistema de alimentación en la utilización de rastrojeras durante octubre a marzo permite obtener en mejores condiciones a los animales, ya que en época de lluvia se reducen estas áreas.

Literatura Citada

Ahmed, M.M.M. and H.A. Abdalla. 2005. Use of different nitrogen sources in fattening of yearling sheep. Small Ruminant Research 56:39-45.

Avondo, M., L. Lutri. and P. Pennisi. 2004. Feeding behaviour of Comisana rams as affected by crude protein level of concentrate. Small Ruminant Research 55:135-140.

Bimczok, D., F.W. Rohl. and M. Ganter. 2005. Evaluation of lamb performance and costs in motherless rearing of German Grey Heath sheep under field conditions using automatic feeding systems. Small Ruminant Research 60(3):255-265.

Boso, N.A., M.F. Cissé., E.H. Van der W., A. Fall. and J.A.M. van Arendonk. 2007. Genetic and phenotypic parameters of body weight in West African Dwarf goat and Djallonké sheep. Small Ruminant Research 67(2-3):271-278.

Burke, J.M. and J.K. Apple. 2007. Growth performance and carcass traits of forage-fed hair sheep weathers. Small Ruminant Research 67(2-3):264-270.

Cloete, J.J.E., S.W.P Cloete., J.J. Olivier. and L.C. Hoffman. 2007. Terminal crossbreeding of Dorper ewes to Ile de France, Merino land sheep and SA Mutton Merino sires: Ewe production and lamb performance. Small Ruminant Research 69(1-3):28-35.

Corner, R.A., P.R. Kenyon., K.J. Stafford., D.M. West. and M.H. Oliver. 2007. The effect of mid-pregnancy shearing and litter size on lamb birth weight and postnatal plasma cortisol response. Small Ruminant Research 73(1-3):115-121.

Combellas, J., N. Martínez. y E. González. 1980. Estudio de algunos factores que influyen en el peso al nacimiento y al destete en corderos. Prod. Anim. Trop. (5):285-289.

De Lucas T. J., Q.L.A. Zarco., P.E. Gónzález., P.J. Tórtora., G.A. Villa. y V.C. Peláez. 2003. Crecimiento pre-destete de corderos en sistemas intensivos de pastoreo y manejo reproductivo en el altiplano central de México. Vet. Mex. 34(3):234-245.

Díaz, M.T., S. Velasco., V. Cañeque., S. Lauzurica., F. Ruíz d H. and C. Pérez. 2002. Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. Small Ruminant Research (43):257–268.

Dixit, S.P., J.S. Dhillon. and G. Singh. 2001. Genetic and non-genetic parameter estimates for growth traits of Bharat Merino lambs. Small Ruminant Research 42(2):101-104.

Dwyer, C.M. 2008. The welfare of the neonatal lamb. Small Ruminant Research 76(1-2):31-41.

Emsen, E., M. Yaprak., O.C. Bilgin., B. Essen. and O. Ckerman. 2004. Growth performance of Awassi lambs fed calf milk replacer. Small Ruminant Research (53):99-102.

González, G.R., H.G. Torres. y A.M. Castillo. 2002. Crecimiento de corderos Blackbelly entre el nacimiento y el peso final en el trópico húmedo de México. Vet. Mex. 33(044):443-453.

Haenlein, G.F.W. and M.A. Abdellatif. 2004. Trends in small ruminant husbandry and nutrition and specific reference to Egypt. Small Ruminant Research (51):185-200.

Hailu, D., G. Mieso., A. Nigatu., D. Fufa. and D. Gamada. 2006. The effect environmental factors on preweaning survival rate of Borona and Arsi-Bale kids. Small Ruminant Research 66(1-3):291-294.

Hashemi, M., M.J. Zamiri. and M. Safdarian. 2008. Effects of nutritional level during late pregnancy on colostral production and blood immunoglobulin levels of Karakul ewes and their lambs. Small Ruminant Research 75 (2-3):204-209.

Hjerpe, C.A. 1990. Bovine vaccines and herd vaccination programs veterinary clinic of North America food animal practice. Food Animal Practice 6(1):167-260.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2016. Anuario estadístico de la producción pecuaria. Servicios de Información y estadística agroalimentaria y pesquera. SAGARPA. México. 75p

Lanza, M., M. Bella., A. Priolo. and V. Fasone. 2003. Peas (*Pisum sativum L.*) as an alternative protein source in lamb diets: growth performances, and carcass and meat quality. Small Ruminant Research (47):63-68.

Lupton, C.J., J.E. Huston., B.F. Craddock., F.A. Pfeiffer. and W.L. Polk. 2007. Comparison of three systems for concurrent production of lamb meat and wool. Small Ruminant Research 72(2-3):133-140.

Matika, O., J.B. van Wyk., G.J. Erasmus. and R.L. Baker. 2003. A description of growth, carcass, and reproductive traits of Sabi sheep in Zimbabwe. Small Ruminant Research 48(2):119-126.

Maxa, J., E. Norberg., P. Berg. and J. Pedersen. 2007. Genetic parameters for growth traits and litter size in Danish Texel, Shropshire, Oxford Down and Suffolk. Small Ruminant Research (68):312-317.

Mekasha Y, A. Tegegne., A. Yami. and N.N. Umunna. 2002. Evaluation of non-conventional agro-industrial by-products as supplementary feeds for ruminants: in vitro and metabolism study with sheep. Small Ruminant Research (44):25–35.

Milis, Ch., D. Liamandis., N. Roubies., V. Christodoulou. and A. Giouseljiannis. 2005. Comparison of corn gluten products and soybean-bran mixture as sources of protein for lactating Chios ewes. Small Ruminant Research (58):237-244.

Rastogi, R.K. 2001. Production performance of Barbados Blackbelly sheep in Tobago, West Indies. Small Rum Res (41):171-175.

Rosa, H.J.D., P.F.M. Ventura., J.T. Sousa., D. Moreira., A.E.S. Borba. and O.A. Rego. 2007. Productive and reproductive performance of Romney Marsh and Merino Branco sheep in the Azores Ander different feeding regimens. Small Ruminant Research 67(2-3):296-301.

SAS (System Analysis Statistical). 2003. User´s guide (computer program) versión 9.1 Institute Inc. Raleigh, North Carolina. USA.

Solomon, M., K.J. Peters. and A. Tegegne. 2005. Intake, digestibility, and passage rate in Menz sheep fed tef (*Eragrostis tef*) straw supplemented with dried leaves of selected multipurpose trees, their mixtures or wheat bran. Small Ruminant Research (56):139-149.

Undi, M., K.C. Kawonga. and R.M. Musendo. 2001. Nutritive value of maize stover/pasture legume mixtures as dry supplementation for sheep. Small Ruminant Research (40):261–267.

Yilmaz, O., H. Denk. and D. Bayram. 2007. Effects of lambing season, sex, and birth type on growth performance in Norduz lambs. Small Ruminant Research 68(3):336-339.

INFLUENCIA DE LA HORMONA eCG Y GEN GDF9 EN FECUNDIDAD Y PROLIFICIDAD DE OVEJAS KATAHDIN

Reyna Sánchez Ramos[1*], Genaro Olmos Oropeza[2], José Antonio Hernández Marín[3], Jorge Alberto Ortiz Salazar[4], y César Cortez Romero[1,2*]

Resumen

El objetivo del estudio fue determinar la influencia de la aplicación de gonadotropina coriónica equina (eCG) y la presencia del exón 2 del gen GDF9 en variables reproductivas en ovejas de la raza Katahdin en época de transición. Se usó información proveniente de 63 ovejas con edad y peso promedio de 2.83 ± 0.89 años y 45.32 ± 5.44 kg, respectivamente. Para el análisis estadístico se usó regresión logística (modelo gaussiano) donde las variables explicativas y sus niveles fueron: ausencia o presencia del exón 2 del gen GDF9 y la inclusión o no de la hormona eCG en el protocolo de sincronización. Para encontrar la existencia de diferencias significativas entre los índices de prolificidad y fecundidad por tratamiento, se usó el método Bootstraping. Los resultados mostraron efecto significativo favorable de la aplicación de eCG en los índices de fecundidad y prolificidad de las ovejas (T2 y T4), no así para la presencia del exón 2 del gen GDF9 (T1 y T3). La mejor respuesta reproductiva se obtuvo con la aplicación de eCG independiente de la presencia o ausencia del exón 2 del gen GDF9 en el genoma ovino. Este estudio muestra evidencia de la nula interacción del gen GDF9 y la eCG para mejorar el rendimiento reproductivo de ovejas. Se recomienda la aplicación de eCG en protocolos de sincronización de estros para ovejas de la raza Kathadin en época de transición. Estos resultados, dado el limitado tamaño de la población estudiada, se consideran no conclusivos, por lo que posteriores estudios en el área podrían cambiar la perspectiva de la influencia del gen GDF9 en el desempeño productivo de ovejas. Frente a la poca información

[1]Colegio de Postgraduados, Ganadería, Campus Montecillo. *Autor para correspondencia: ccortez@colpos.mx cipactly86@gmail.com
[2] Colegio de Postgraduados, Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Campus San Luis Potosí.
[3] Universidad de Guanajuato, Departamento de Veterinaria y Zootecnia, Campus Irapuato-Salamanca.
[4] Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

asociada con genética en la raza, se evidencia la necesidad de realizar futuras investigaciones de las variantes genéticas y su relación con la reproducción en ovejas.

Palabras clave: estro, gonadotropina, ovinos

Introducción

En ovejas, el uso de hormonas exógenas en protocolos de sincronización permite controlar la presencia de estros y la tasa de gestación en épocas reproductivas y no reproductivas. Por ejemplo, la progesterona (P_4) impregnada en el dispositivo intravaginal de liberación controlada (CIDR por sus siglas en inglés Control Internal Drug Release) es usada para la sincronización de estros, apoyada con la aplicación de prostaglandinas para provocar lisis del cuerpo lúteo en ovejas cíclicas (Hameed *et al*., 2021). Además, para obtener mayor prolificidad, los protocolos se complementan con la aplicación de gonadotropina coriónica equina (eCG), para favorecer el crecimiento, desarrollo folicular y actividad esteroidogénica (Di Berardino *et al*., 2021). En adición a los protocolos de sincronización en ovejas, han surgido nuevas biotecnologías para mejorar el comportamiento reproductivo. El desarrollo de herramientas de biología molecular y genómica ha sido clave en el mejoramiento genético para características reproductivas en los ovinos (Gebreselassie *et al*., 2019). Se han identificado genes asociados con variables reproductivas en ovejas como prolificidad y fecundidad (Ibrahim, 2021). En particular, para el gen *GDF9* (Tang, 2019) se reporta influencia directa en las funciones del eje hipotálamo-adenohipofisiario-ovárico, con la proliferación y organización de las células de la teca, en la foliculogénesis y en la proliferación y diferenciación de las células de la granulosa (Juengel *et al*., 2013). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la aplicación de eCG y la presencia del exón 2 del gen GDF9 en el índice de prolificidad y fecundidad en ovejas de la raza Katahdin en época de transición.

Materiales y Métodos

Animales y presencia del gen

Se utilizaron 63 ovejas de la raza Katahdin con edad promedio de 2.83 ± 0.89 años, con registros de 1.97 ± 0.88 partos promedio consecutivos, y peso promedio de 45.32 ± 5.44 kg. Las ovejas tenían una condición corporal de 3 a 3.5 (escala 1 a 5). Las ovejas se alimentaron con dietas isoenergéticas formuladas para cubrir los requerimientos de mantenimiento, 9.5% de proteína cruda al día y 419 kJ/kg PC0.75, más un flushing con 0.32 kg de concentrado (Borrega Plus®, 15% Proteína cruda y 2.4 de Mcal/kg) por oveja durante 24 días; 15 d previos y 9 d durante la sincronización; con acceso *ad libitum* de agua limpia y fresca.

Para la identificación del exón 2 del gen *GDF9*, se recolectaron 3 mL de sangre por oveja. La sangre se colocó en minitarjetas Whatman™ FTA™. Posteriormente se purificó el ADN y se amplificó el gen GDF9 mediante PCR (por sus siglas en inglés, Polymerase Chain Reaction) usando el primer para el exón 2: For-5'-GGAGAAAAGGGACAGAAGC-3' y Rev- 5'-ACGACAGGTACACTTAGT-3' (21). Para observar si el exón 2 del gen estaba presente en las ovejas, se observó el tamaño del fragmento de amplificación y así clasificar las 32 ovejas con presencia del exón 2 del GDF9 y 31 sin el exón. Las ovejas se distribuyeron aleatoriamente en cada uno de los cuatro tratamientos experimentales: T1 (n=15) ovejas sin presencia de gen y sin la aplicación de eCG (Testigo, 0/0), T2 (n=16) ovejas sin la presencia de gen y con la aplicación de eCG (0/1); T3 (n=16) ovejas con presencia de gen y sin la aplicación de eCG (1/0) y T4 (n=16) ovejas con presencia del gen y con aplicación de eCG (1/1).

Manejo reproductivo

La sincronización del estro de las ovejas se inició con la aplicación del dispositivo intravaginal CIDR a base de progesterona al día -9 (0.35 g CIDR©, Pfizer), previo al retiro del dispositivo. El día -2, se administró 1 mL de PGF2α análoga (250 µg de Celosil, Schering-Plough Veterinaria) y 1.75 mL de gonadotropina coriónica equina (350 UI eCG, novormon 5000, Zoetis, 5000 UI de eCG liofilizada en 25 mL) vía intramuscular, de acuerdo con el tratamiento asignado. El retiro del CIDR se consideró día 0. Todas las ovejas recibieron aplicación de 1 mL de gonadotropina (50 µg, GnRH, Sanfer), 24 h después del retiro del CIDR.

La detección del estro se realizó con ayuda de machos marcadores con delantal, introducidos cada seis horas desde el retiro del dispositivo CIDR y se continuó durante un periodo de 72 h,

con el registro de las horas transcurridas desde el retiro del CIDR hasta el inicio del estro. La inseminación artificial se realizó vía intrauterina mediante laparoscopia, con semen fresco y dosis de 100 millones de espermatozoides. Todas las inseminaciones se realizaron a las 12 h después de que la hembra aceptó la monta del macho. Finalmente, el diagnóstico de gestación se realizó a los 45 días post–inseminación. El número de ovejas gestantes se registró con relación a las ovejas inseminadas y para determinar prolificidad y fecundidad, se atendieron los partos registrando el número de corderos nacidos por oveja parida y por el total de ovejas por tratamiento, respectivamente.

Análisis estadístico

Mediante regresión logística y una prueba de X^2, se analizaron las variables respuesta, fecundidad y prolificidad con el modelo gaussiano, para determinar la significancia estadística de las variables explicativas presencia o ausencia del gen GDF9 y aplicación o no de eCG en las variables respuesta. Después se realizaron comparaciones de medias por el método Bootstraping. Todos los análisis se realizaron con el software R (R Core Team, 2021).

Resultados y Discusión

Para los índices de prolificidad y fecundidad (Cuadro 1), T2 y T4 (con eCG) sobresalen por sus valores altos. Existió evidencia de la superioridad de T2 y T4 frente a T1 y T3 ($p<0.05$). Aunque T2 es mayor que T4 en un 0.38 y 0.14 para fecundidad y prolificidad, respectivamente; no hay diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0.05$).

Cuadro 1. Índices de fecundidad y prolificidad (± error estándar) por tratamiento en ovejas Katahdin.

Tratamientos GDF9/eCG	Fecundidad	Prolificidad
T1 0/0	0.00 ± 0.00^{b}	0.00 ± 0.00^{b}
T2 0/1	1.19 ± 0.21^{a}	1.58 ± 0.13^{a}
T3 1/0	0.00 ± 0.00^{b}	0.00 ± 0.00^{b}
T4 1/1	0.81 ± 0.23^{a}	1.44 ± 0.18^{a}

T1= sin gen y sin eCG (Testigo, 0/0); T2= sin gen y con eCG (0/1); T3= con gen y sin eCG (1/0) y T4= con gen y con eCG (1/1). Valores dentro de columnas con diferentes superíndices $^{a, b, c}$ indican diferencia significativa ($p< 0.05$) de acuerdo con la comparación de medias por Bootstraping.

A pesar de que en estudios recientes se ha comprobado un efecto en el comportamiento reproductivo del exón 2 del gen *GDF9* en ovejas Luzhong, Rambouillet y africanas Rahmani; un efecto significativo en tasa de ovulación y prolificidad en ovejas de la raza Pelibuey; y en la tasa ovulatoria en ovejas de la raza Santa Inés (Silva *et al*., 2011); en el presente estudio los efectos en campo del gen para las ovejas Katahdin no fueron significativos. Estos resultados fueron similares a otros reportados en ovejas de la raza Santa Inés (Pinto *et al*., 2018), donde utilizaron eCG en ovejas con presencia del alelo $FecG^E$ del gen *GDF9*. El alelo no mejoró la producción de embriones en protocolos para superovulación. El análisis exclusivo para el exón 2, sin la determinación de las variantes genéticas antes indicadas, pudo causar un sesgo en estas estimaciones, dado que tampoco se conoce la secuencia ni los polimorfismos asociados negativamente con variables reproductivas para la raza. Además, en este estudio no se caracterizó la población de ovejas para el exón 1, que también se reporta, tiene efectos favorables en prolificidad (Ibrahim, 2021).

La prolificidad en el T2 (1.58 ± 0.13) y el T4 (1.44 ± 0.18) fue similar al rango de prolificidad reportada en ovejas de pelo de 1.2 a 2.3, a las que se les aplicó 250 y 400 U.I de eCG, respectivamente (López *et al*., 2021). Por lo tanto, para aumentar el número de crías en el rebaño, se recomienda una aplicación mínima de 300 U.I. de eCG en protocolos de sincronización de estros en ovejas en época de transición.

Por otro lado, los tratamientos a los que no se les administró eCG (T1 y T3) mostraron rendimientos reproductivos nulos. Esta respuesta negativa pudo deberse a la calidad del suplemento o flushing; además, de no tener estimulo por machos y encontrarse en época de transición. En un estudio con ovejas de la raza Katahdin (Luna-Palomera *et al*., 2010) se ofreció harina de almendra de palma como suplemento en época de anestro; los autores obtuvieron mejores resultados que en la presente investigación con una prolificidad de 1.0 ± 0.2 contra 0.0 ± 0.0 del presente estudio. Lo anterior pudo ser efecto de la diferencia calórica entre suplementos ofrecidos, dado que en este estudio se ofreció un producto comercial con 2.4 Mcal/kg, en contraste con la harina de almendra de palma con 3.3 Mcal/kg. Niveles bajos de nutrientes durante la fase folicular, provocan deficiencias en el desempeño reproductivo.

Conclusiones

El presente estudio muestra evidencia de la nula interacción del efecto del gen *GDF9* y la eCG para mejorar el rendimiento reproductivo de ovejas de la raza Katahdin para prolificidad y fecundidad. Estos resultados no son definitivos, ya que el efecto aditivo, dominante y epistático de los genes asociados con *GDF9* en la raza no se consideró. Para el gen *GDF9* en la raza, se necesita una amplia investigación de las características del gen (genotipos y polimorfismos), y la caracterización molecular de la interacción con otros genes. Los resultados significativos de la aplicación de eCG hacen recomendable su aplicación en protocolos de sincronización de estros en la época de transición.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Campus SLP, Colegio de Postgraduados, por el apoyo financiero para realizar esta investigación y a los M.V.Z. Ilia Hernández Torres y Dante Josafet Hernández Rubio, por su apoyo logístico y de campo en el estudio.

Literatura Citada

Di Berardino, C., Peserico, A., Capacchietti, G., Crociati, M., Monaci, M., Tosi, U., *et al*. 2021. Equine Chorionic Gonadotropin as an Effective FSH Replacement for In Vitro Ovine Follicle and Oocyte Development. Int J Mol Scs. 22(22): 12422.

Gebreselassie, G., Berihulay, H., Jiang, L., and Ma, Y. 2019. Review on Genomic Regions and Candidate Genes Associated with Economically Important Production and Reproduction Traits in Sheep (Ovies aries). Animals. 10(1):33.

Hameed, N., Khan, M.I.U.R., Zubair, M., and Andrabi, S.M.H. 2021. Approaches of estrous synchronization in sheep: developments during the last two decades - a review. Trop Anim Health Prod. 53(5):1-10.

Ibrahim, A.H.M. 2021. Genetic variants of the BMP2 and GDF9 genes and their associations with reproductive performance traits in Barki ewes. Small Rumin Res. 195:106302.

Juengel, J.L., Davis, G.H., and McNatty, K.P. 2013. Using sheep lines with mutations in single genes to better understand ovarian function. Reproduction. 146(4):111–123.

López, J., Salinas, D., Baracaldo-Martínez, A., Gómez, C., Herrera-Ibatá, D., y Atuesta-Bustos, J.E. 2021. Efecto de la dosis de gonadotropina coriónica equina (eCG) asociada a protocolos cortos de sincronización de celo sobre el desempeño reproductivo de ovejas de pelo. Rev Investig Vet Perú 32(1).

Luna-Palomera, C., Berumen-Alatorre, A.C., Aguilar-Cabrales, J.A., y Cansino, G.R. 2010. Fertilidad en ovejas de pelo complementadas con harina de almendra de palma africana. Livest Res Rural Dev. 22:1–7.

Pinto, P.H.N., Balaro, M.F.A., Souza-Fabjan, J.M.G., Ribeiro, L. dos S., Bragança, G.M., *et al*. 2018. Anti-Müllerian hormone and antral follicle count are more effective for selecting ewes with good potential for in vivo embryo production than the presence of FecGE mutation or eCG pre-selection tests. Theriogenology. 113:146–152. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.02.018

R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Austria. https://www.R-project.org/.

Silva, B.D.M., Castro, E.A., Souza, C.J.H., Paiva, S.R., Sartori, R., Franco, M. *et al*. 2011. A new polymorphism in the Growth and Differentiation Factor 9 (GDF9) gene is associated with increased ovulation rate and prolificacy in homozygous sheep: new polymorphism in GDF9 and prolificacy. Anim Genet. 42(1):89–92.

Tang, J., Hu, W., Di, R., Wang, X., Zhang, X., Zhang, J., *et al*. 2019. Expression analysis of BMPR1B, BMP15, and GDF9 in prolific and non-prolific sheep breeds during the follicular phase. Czech J Anim Sci. 64(11): 439-447.

SUPLEMENTACIÓN DE SELENIO ORGÁNICO SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN AMBIENTE TROPICAL

Fabian Valera Lara[1], Michelle Anahí Estrada Gijón[1], José Roberto Sanginés García[1], Adelfo Vite Aranda[2], Alfonso Juventino Chay Canul[3] y Ángel Trinidad Piñeiro Vázquez[1*]

Resumen

El uso de levaduras en la nutrición de cerdos en los últimos años, se ha vuelto una estrategia novedosa para aumentar la biodisponibilidad de los nutrientes y mejorar la producción porcina en regiones tropicales, las *Saccharomyces cerevisiae* son levaduras que contienen selenio orgánico (Selenometionina) como principal componente y una concentración alta de proteínas. El objetivo este estudio fue evaluar el comportamiento productivo de cerdos en la etapa de finalización suplementados con niveles crecientes de selenio orgánico en la dieta bajo condiciones tropicales. Se emplearon 71 cerdos, distribuidos en un diseño experimental en bloques al azar con cuatro tratamientos (0, 0.3, 0.6 y 0.9 mg/kg de alimento) (dietas de: inicio 50-75 kg y crecimiento 75-100 kg), el experimento tuvo una duración de 56 días. Las variables evaluadas fueron el consumo voluntario, ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia. Se observó que el peso final de la engorda fue diferente entre tratamientos teniendo un promedio de (109.62) ($P<0.05$). La ganancia diaria de peso fue diferente entre tratamientos con un promedio de 1048, 1227,1202 y 1218 g/día para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente ($P<0.05$). El desconocimiento en los niveles de inclusión del selenio orgánico en la dieta, tiene como problemática el uso correcto en la formulación de dietas de cerdos, con el presente trabajo se pudo identificar los efectos en los parámetros productivos en las etapas finales de engorda y la dosis de inclusión optima de selenio orgánico. Las suplementaciones de selenio orgánico en la dieta de cerdos en la fase de finalización mostraron un mayor peso

[1] Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal; Av. Tecnológico S/N, Conkal, Yucatán, México, C.P.97345. *Autor de correspondencia: angel.pineiro@itconkal.edu.mx
[2] Grupo Biotecap SA de CV, Dirección: Av. La Puerta 249. Fracc. Industrial La Puerta. Tepatitlán Jalisco, México. CP. 47600.
[3] División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carr. Villahermosa-Teapa, km 25, CP 86280. Villahermosa, Tabasco, México.

al sacrificio en relación con el tratamiento uno, con lo que aumenta el comportamiento productivo en cerdos de engorda.

Palabras clave: estrés calórico, desempeño productivo, nutrición porcina

Introducción

Las altas temperaturas en regiones tropicales producen estrés calórico en cerdos, por lo cual, sufren trastornos en el sistema digestivo y disminuye la eficiencia del sistema inmunológico (Cervantes *et al.,* 2021), esto conlleva a tener efectos negativos en el buen funcionamiento de la glándula tiroides disminuyendo la liberación de las hormonas del crecimiento, lo cual disminuye el metabolismo basal (Hung e*t al.,* 2017), que interfieren en la expresión del potencial genético, metabolismo de los nutrientes y energía teniendo como resultado una baja tasa en el comportamiento productivo de los cerdos (Flores-Peinado *et al*., 2020). El selenio es un mineral traza con gran importancia biológica se encuentra en al menos 25 proteínas y en la glutation peroxidasa (Xin *et al.,* 2018). Dentro de los beneficios del selenio en el organismo está el mantenimiento del estado redox celular, estrés oxidativo, buen funcionamiento del sistema inmunológico y tiroides y deterioro cognitivo (Bing Xia *et al.,* 2022). Diversos autores han demostrado que las dietas suplementadas con selenio orgánico mejoran los parámetros productivos y disminuyen los trastornos digestivos en lechones durante el periodo del destete (da Fonseca-Oliveira *et al.,* 2019). Debido a que el consumo voluntario de alimento disminuye durante el estrés por calor. Sin embargo, en las condiciones de bienestar animal al tener un buen funcionamiento fisiológico solo se absorbe de un 4 a 16% de la dieta, estudios realizados han demostrado que la inclusión de selenio orgánica aumenta la disponibilidad de nutrientes y la absorción de los mismos. Se ha sugerido utilizar selenio orgánico en las dietas de cerdos en engorda durante los periodos de altas temperaturas como estrategia nutricional para mejorar la productividad de los cerdos en climas calurosos (Ausnacht *et al.,* 2021). Los avances en la nutrición porcina en los últimos años han buscado hacer más eficientes a los cerdos mediante la inclusión de aditivos de fuentes orgánicas e inorgánicas estos últimos tienen un efecto nocivo hacia la salud humana (Xiong *et al.,* 2022).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta productiva en cerdos de engorda por efecto de la adición de selenio orgánico bajo condiciones de temperatura y humedad elevados. Hipotetizamos que la suplementación de selenio orgánico en la dieta de cerdos de engorda disminuye el estrés por calor y humedad lo que incrementa el consumo voluntario y la ganancia de peso.

Materiales y Métodos

Localización

El estudio se realizó en el área experimental la POSTA, área experimental perteneciente al Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, ubicada en el km 2 de la carretera Conkal–Chablekal. Comprendido entre los paralelos 21°02´ y 21°08´ latitud Norte y los meridianos 89°29´ y 89°35´ longitud Oeste; con altitud promedio de 8 m. En la región predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias regulares en verano (mayo–julio). Esta zona tiene una temperatura media anual de 26.6°C y precipitación pluvial media anual de 469 mm con una humedad relativa promedio anual de 77.5% (INEGI, 2013).

Unidades experimentales

Se emplearon 71 cerdos de la línea genética PIC® para engorda con un peso vivo (PV) promedio de 11±1 kg. Los animales fueron desparasitados con Ivermectina al 1% SANFER® (1 ml por cada 33 kg de peso vivo), vitaminados con Vigantol® ADE fuerte (2 ml por cerdo) y vacunados contra pasteurelosis neumónica® (2.5 ml por cerdo) previo al inicio del experimento.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar. Los animales se pesaron de manera individual al inicio del experimento y fueron distribuidos en cuatro tratamientos y cuatro bloques por tratamiento, se bloqueó por la fecha de ingreso. El experimento tuvo una duración de 70 días por bloque. Los tratamientos experimentales fueron: T1) 0.0 mg/kg (dieta control; n=17); T2) 0.3 mg/kg n=18; T3) 0.6 mg/kg n=18; T4) 0.9 mg/kg n=18 de alimento. El selenio orgánico se incluyó en la dieta como selenometionina (SeMet) del producto BIOWAYS® con una concentración de 2,000 ppm, con 44% de proteína, SADER: A-1051-002. Producto

manufacturado en México. En el Cuadro 1 se presenta la composición nutrimental de las dietas.

Cuadro 1. Composición nutrimental de la dieta en las diferentes etapas de engorda.

Ingredientes (kg)	Desarrollo	Finalización
Maíz	620.45	653.32
Pasta de soya	263.41	235.25
Aceite	5.83	5.63
Melaza	50	50
Lisina	1.07	0.271
Metionina	3.16	2.54
Sal común	25	25
Carbonato	1.73	0.470
fosfato	4.37	2.53
Premezcla	25	25
*BIOTETOX (ppm)		
Composición química		
Proteína (%)	13.75	12.12
EM (Mcal/kg)	3.30	3.30
Lisina (%)	0.84	0.84
Metionina (%)	0.5	0.5
Calcio (%)	0.52	0.52
Fosforo (%)	0.47	0.47

*Contenido de SiO_2, $AI2O_3$, K_2O, Na_2O, CaO, MgO, Fe_2O3 de la dieta como secuestrante de micotoxinas en la dieta, aportado por el producto BIOTETOX®.

Manejo de animales

Los cerdos se pesaron individualmente y fueron distribuidos en corrales provistos de comederos y chupones de agua. Los cerdos tuvieron acceso al agua y al alimento *ad libitum*. Los animales fueron pesados individualmente al inicio del experimento y posteriormente cada ocho días para determinar la ganancia diaria de peso (GDP) por etapa de alimentación. Para determinar el consumo de alimento se registró el alimento ofrecido y rechazado. La conversión alimenticia se calculó dividiendo el consumo por periodo entre el aumento de peso por periodo (PV) (kg/kg).

Formulación de dietas

Los requerimientos nutricionales por etapa de alimentación se obtuvieron de las tablas del NRC 2012®. El cálculo de las proporciones de los ingredientes se realizó a través del procedimiento de programación lineal a mínimo costo con el software LINGO®.

Análisis químicos

El contenido de materia seca fue determinado por medio de una estufa de aire forzado a 55°C por 48 h (peso constante, método #7.007). El nitrógeno (CP= N × 6.25) fue determinado mediante un LECO CN-2000 serie 3749 instruments (LECO Caopr., St. Joseph, MI) (#2.057) AOAC (1980). El contenido de materia orgánica fue determinado por combustión en la mufla a 600°C por 6 horas.

Análisis de datos

Los datos de consumo voluntario, ganancia diaria de peso, conversión alimenticia fueron analizados mediante el procedimiento PROC ANOVA del SAS (Cody y Smith 1991; SAS 2009) para un diseño en bloques completos al azar (SAS, 2009). Las medias de los tratamientos se compararon mediante una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$; Cody y Smith 1991; SAS 2009).

Resultados y Discusión

Los cerdos alimentados con dietas suplementadas con selenio orgánico obtuvieron mayor peso final en la etapa de desarrollo (Cuadro 2), observando diferencias entre el tratamiento 0.3 mg/kg y 0.9 mg/kg con un peso promedio de 69.89 vs 75.53, respectivamente ($P<0.05$). El consumo voluntario mostro un descenso entre el tratamiento control respecto al 0.9mg/kg ($P<0.05$). En la etapa de finalización los cerdos suplementados con selenio orgánico obtuvieron mayor peso final (Cuadro 3), observado diferencias entre el tratamiento control y 0.9 mg/kg con un peso promedio de 100.48 vs 109.62, respectivamente ($P<0.05$). La ganancia diaria de peso mostro la misma tendencia observando diferencias entre el tratamiento control y 0.3 mg/kg ($P<0.05$). La conversión alimenticia fue diferente entre el tratamiento control vs 0.9 mg/kg.

Cuadro 2. Efecto de la adición de selenio orgánico sobre el comportamiento productivo en cerdos de engorda en la etapa de inicio (50-75 kg).

Variables	Tratamientos (% de la MS ofrecida)				EE	
	Control	0.3 mg/kg	0.6 mg/kg	0.9 mg/kg		Valor-P
N	17	18	18	18		
PI (kg)	50.53^{b}	51.09^{ab}	52.73	54.36^{a}	0.913	0.0116
PF (kg)	71.14^{ab}	69.89^{b}	73.06	75.53^{a}	0.987	0.0004
PV (kg)	20.60	18.80	20.32	21.16	0.894	0.3448
GDP (g/dia)	0.736	0.670	0.726	0.756	0.029	0.3453
CA (kg)	5.74	5.75	5.14	4.81	0.154	0.1741
CV (kg)	97.67^{a}	90.87	89.64^{ab}	88.98^{b}	1.342	0.0001

PI: peso inicial. PF: peso final. PV: peso vivo. GDP: ganancia diaria de peso. CA: conversión alimenticia. CV: consumo voluntario de alimento. EE: error estándar. $^{a, b}$ columnas con diferentes laterales indican diferencia estadística (P<0.05).

Cuadro 3. Efecto de la adición de selenio orgánico sobre el comportamiento productivo en cerdos de engorda en la etapa de finalización (75-100 kg).

Variables	Tratamientos (% de la MS ofrecida)				EE	
	Control	0.3 mg/kg	0.6 mg/kg	0.9 mg/kg		Valor-P
N	17	18	18	18		
PI (kg)	71.14^{ab}	69.89^{b}	73.06	75.53^{a}	0.987	0.0004
PF (kg)	100.48^{b}	104.25^{ab}	106.71^{ab}	109.62^{a}	0.151	0.0001
PV (kg)	29.34^{b}	34.35^{a}	33.65^{ab}	34.09^{ab}	1.018	0.0015
GDP (g/dia)	1.048^{b}	1.227^{a}	1.202^{ab}	1.218^{ab}	0.363	0.0014
CA (kg)	4.40^{a}	3.48^{ab}	3.46^{ab}	3.36^{b}	0.149	0.0001
CV (kg)	111.30^{a}	102.99^{ab}	102.99^{ab}	97.53^{b}	1.640	0.0001

PI: peso inicial. PF: peso final. PV: peso vivo. GDP: ganancia diaria de peso. CA: conversión alimenticia. CV: consumo voluntario de alimento. EE: error estándar. $^{a, b}$ columnas con diferentes laterales indican diferencia estadística (P<0.05).

Los altos niveles de temperatura ambiental de los trópicos afectan negativamente a los cerdos, llegando a ser mortales, los altos índices de humedad también es un factor que influye en elevar la sensación de calor. Las condiciones climáticas durante primavera y verano son de alto riesgo para los cerdos ya que son afectados por estrés calórico (Yi *et al.,* 2020). En la presente investigación los cerdos en estudio estuvieron expuestos a estrés calórico durante los meses más cálidos y húmedos del año. Las altas temperaturas influyen en los índices de concentración plasmática de Na, K, Ca, Zn y Se en animales expuestos a estrés calórico

(Mayorga *et al.,* 2020); esto debido a que los niveles de cortisol aumentan su concentración por estrés calórico (Huan *et al.,* 2018). Diversos estudios han sugerido adicionar fuentes de selenio orgánico en la dieta durante los periodos con altos índices de temperatura y humedad (Seibert *et al.,* 2018). En cerdos expuestos a condiciones de estrés calórico, la adición de selenio orgánico en la dieta mejora los parámetros de calidad en la carne y mejora las concentraciones plasmáticas (Zhang *et al.,* 2020). En este estudio se observó una mejora en la conversión alimenticia y mayor peso final. Resultados similares fueron encontrados por (Szuba *et al.,* 2017), quienes al incluir 0.7 mg/kg de selenio orgánico en la dieta observaron una mejora en la ganancia diaria de peso, esto se atribuye a una mejora en el bienestar animal. (Rodríguez *et al.,* 2020) realizaron un estudio en cerdos en la etapa de desarrollo donde incluyo selenio orgánico (Silva *et al.,* 2019) y encontraron en los análisis de concentración plasmática menor vulnerabilidad al estrés oxidativo. Por otra parte, al adicionar 0.9 mg/kg de selenio orgánico en la dieta de cerdos en finalización, obtuvieron una mayor ganancia diario de peso. En otro estudio realizado por (Malyugina *et al.,* 2021) evaluaron el efecto de carne de cerdo suplementada con selenio orgánico sobre la salud humana con una adición de 0.3 mg/kg encontraron mejoras en las condiciones cardiovasculares, efectos positivos en los niveles de colesterol y triglicéridos. Por ende, la suplementación de selenio orgánico mejora los parámetros productivos en cerdos, mejora las condiciones de bienestar animal al reducir el efecto de estrés oxidativo de las células, dentro de los beneficios de adicionar selenio orgánico es reducir los radicales libres en la carne de cerdos esto contribuye a disminuir los efectos cancerígenos al consumir carne de mayor calidad.

Conclusión

La suplementación con 0.9 mg/kg de selenio orgánico en la etapa de finalización mejora la ganancia de peso y la conversión alimenticia. En cerdos en engorda la mejor dosis es 0.9 mg/kg debido que mejora la ganancia de peso.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración y apoyo de la empresa BIOTECAP® y al Tecnm Campus Conkal.

Literatura Citada

Ausnacht, D.W.., K. A. Kroscher P. Mc Millan R., S. Martello L., H. Baumgard L., T. Selsby J. *et al.* 2021. El estrés por calor reduce la tasa metabólica mientras aumenta la tasa de intercambio respiratorio en cerdos en crecimiento. Animales.11: 215. https://doi.org/10.3390/ani11010215.

Bing, Xia Wu, Weida, Wei Fang., Xiaobin Wen., Xie Jingjing., Zhanng Hongfu. 2022. Heat stress-induced mucosal barrier dysfunction is potentially associated with gut microbiota dysbiosis in pigs, Animal Nutrition. 8:289-299. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.05.012.

Cervantes, R. E. y C. Izquierdo A. 2021. Efectos metabólicos y molecular del estrés calórico en el ganado. Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente, 36(36)17-17.

Cody, R y K. Smith J. 1991. Ampplied statistics and the SAS programming lenguaje, SAS INSTITUTE. CARY, N-C.

da Fonseca, de Oliveira, AC, Vanelli, K., Sotomaior, CS *et al.* 2019. Impactos en el rendimiento de cerdos en crecimiento y finalización en condiciones de estrés por calor: un meta-análisis. Vet Res Commun 43:37–43. https://doi.org/10.1007/s11259-018-9741-1.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2021. www.fao.org. Noviembre 2021.

Flores-Peinado S., Daniel Mota-Rojas., Isabel Guerrero-Legarreta., Patricia Mora-Medina., Rosy Cruz-Monterrosa., Jocelyn Gómez-Prado. *et al.* 2020. Physiological responses of pigs to preslaughter handling: infrared and thermal imaging applications, International Journal of Veterinary Science and Medicine. 8:(1)71-84. https://doi.org/10.1080/23144599.2020.1821574.

Huan, Qu, A. Kolapo M. 2018. Metabolomics of heat stress response in pig adipose tissue reveals alteration of phospholipid and fatty acid composition during heat stress, *Journal of Animal Science,* 96 (8)3184–3195, https://doi.org/10.1093/jas/sky127.

Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis, Animal Feed Science and Technology, 231:47-58. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.013.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. Http://www.inegi.org.mx/. 30 de junio 2013.

Malyugina, S., S. Skalickova S., J. Skladanka., P. Slama.y P Horky. 2021. Biogenic Selenium Nanoparticles in Animal Nutrition: A Review. Agriculture. *11:*1244. https://doi.org/10.3390/agriculture11121244.

Mayorga, E.J., J.W. Ross., A.F. Keating., R.P. Rhoads. y L.H. Baumgard. 2020. Biology of heat stress; the nexus between intestinal hyperpermeability and swine reproduction, Theriogenology.154:73-83. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.023.

Rodriguez, G. P., C. Kiefer., S. Nascimento K.M.R.D., A. Corassa., D.M. Garcia, E. R., A. Marçal D. y C. Rocha G. 2020. Combined supplementation of chromium-yeast and selenium-yeast on finishing barrows. Ciência Rural, 50.

SAS (Analytics, Artificial Intelligence and Data). 2009. www.sas.com.

Seibert, J T, M Abuajamieh., M. V. Sanz Fernandez., J. S. Johnson., S. K. Kvidera, E. A. Horst. *et al.* 2018. Effects of heat stress and insulin sensitizers on pig adipose tissue, Journal of Animal Science*,* Volume 96:(2)510–520, https://doi.org/10.1093/jas/skx067.

Silva, V. A., G. Bertechini A., H.S. Clemente A., V.B. de Freitas L. F., R.F. Nogueira B., de Oliveira, B. L. *et al.* 2019. Different levels of selenomethionine on the meat quality and selenium deposition in tissue of finishing pigs. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 103(6): 1866-1874. https://doi.org/10.1111/jpn.13179.

Szuba-Trznadel, A., T. Hikawczuk., A. Ciura., y B. Fuchs. 2017. Effect of organic and mineral selenium sources on production performance and selected physiological indicators in swine. Medycyna Weterynaryjna, 73(12): 756-763. https://doi.org/10.21521/mw.5824.

Xin H., Zhang Xiaojun., Sun, Dengsheng, Zhang, Chuang., Hao Yue. Y Gu Xianhong. 2018. Chronic heat stress increases insulin-like growth factor-1(IGF-1) but does not affect IGF-binding proteins in growing pigs, Journal of Thermal Biology. 77:122-130. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.008.

Xiong, Y., S. Cao., H. Xiao. *et al.* 2022. Alterations in intestinal microbiota composition coincide with impaired intestinal morphology and dysfunctional ileal immune response in growing-finishing pigs under constant chronic heat stress. J Animal Sci Biotechnol. 13, 1. https://doi.org/10.1186/s40104-021-00651-6.

Yi, H. Xiong, Y, Wu, Q, *et al*. 2020. Effects of dietary supplementation with L-arginine on the intestinal barrier function in finishing pigs with heat stress. J Anim Physiol Anim Nutr. 104:1134–1143. https://doi.org/10.1111/jpn.13277.

Zhang Yuan, Yu. Dahai, Zhang. Jiuli., Jun Bao, Tang Chaohua, Zhang Ziwei, 2020. The role of necroptosis and apoptosis through the oxidative stress pathway in the liver of selenium-deficient swine, *Metallomics,* 12(4)607–616, https://doi.org/10.1039/c9mt00295b.

SUPLEMENTACIÓN DE ACEITE DE ORÉGANO EN DIETAS DE CABRAS EN LA CALIDAD DE LECHE

Miguel N. Pérez Sánchez[1*], Juan G. Báez González[2], Alejandro I. Luna Maldonado[1], Sugey R. Sinagawa García[1], Sara Paola Hernández García[2], Daniela Saraí Rico Costilla[3], Guillermo Niño Medina[1], Jocelyn C. López Puga[3] y Gerardo Méndez Zamora[1]

Resumen

Las plantas aromáticas y sus extractos están siendo utilizados en la producción animal y alimentos para consumo humano. En este trabajo de investigación se evaluaron las características fisicoquímicas (pH y acidez titulable (AT)) y composición de tres tratamientos de leche (L) obtenida de cabras Alpino-Francés suplementadas con aceite de orégano puro (AO) y nanoparticulado (AON) en dieta. Un diseño de bloques completamente al azar se planteó asignando cinco cabras por tratamiento y estableciendo tres periodos de tiempo para el muestreo. Los tratamientos establecidos fueron L-CON: leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano; L-AO: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AO puro en dieta; L-AON: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AON en dieta. Las cabras recibieron un periodo de adaptación a los tratamientos de 14 días y después 12 días en experimentación; en el tiempo de experimentación, tres periodos se establecieron para obtener la leche (L). La leche se recolectó para realizar las mediciones de las variables fisicoquímicas y de composición en crudo y posterior a la ultrapasterización. En la leche cruda, los sólidos no grasos (SNG), grasa, proteína, lactosa y densidad se obtuvieron diferencias ($P < 0.05$); el contenido de agua y sólidos totales no tuvieron diferencia ($P > 0.05$). Los SNG, proteínas, lactosa y densidad fueron mayores en la leche L-AO y más bajos en L-CON. La grasa disminuyó en la leche L-AO. En leche ultrapasteurizada, la leche de L-AO obtuvo los valores más altos ($P < 0.05$) en SNG, proteína, lactosa y densidad, pero menor ($P < 0.05$) contenido

[1] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Francisco Villa S/N, Ex-Hacienda El Canadá, 66050. General Escobedo, Nuevo León, México. Email: miguel.perezsn@uanl.edu.mx
[2] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, 66451. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
[3] Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Francisco Villa S/N, Col. Ex-Hacienda El Canadá, 66050. General Escobedo, Nuevo León, México.

graso. La leche de L-CON presentó los menores contenidos, pero más grasa. El aceite de orégano en dietas de cabras para la producción de leche puede modificar la composición y el pH, los cuales mejoran la calidad de la leche y los productos lácteos.

Palabras clave: grasa, pH, proteína, acidez titulable

Introducción

La leche es un líquido blanco, opaco, dos veces más denso que el agua, de sabor ligeramente azucarado y olor poco acentuado (Vargas Aguilar *et al.*, 2006). Fox y Mc Sweeney (2015) señalan que está constituida por una emulsión aceite/grasa en fase dispersa y una solución acuosa coloidal en fase continua. La NMX-F-728-COFOCALEC (2017) define a la leche cruda de cabra como la secreción natural de las glándulas mamarias después del calostro, sin substracción alguna de sus componentes y sin tratamiento térmico. Algunos autores señalan que 100 g de leche de cabra aportan 70 kcal, 4.50 g carbohidratos, 3.30 g proteínas, 4.0 g grasas, 11 mg colesterol, y un índice glucémico de 24. En cuanto a las vitaminas se encuentran la A, D, C y en menor cantidad B1, B2, B3, B5 y B12. Mientras que los minerales son Ca, P, Mg, Fe, Zn, Se, Mn y Cu.

La producción de leche de cabra es una actividad realizada en gran parte del centro, occidente y norte de México, en la cual participan miles de familias que se dedican a la producción de esta materia prima para proveer a la industria y elaboración de productos artesanales como queso y dulces (NMX-F-728-COFOCALEC, 2017).

En la actualidad existen enfermedades degenerativas del ser humano que han sido relacionadas con el consumo de alimentos de origen animal. Por lo que una alternativa ha sido usar compuestos bioactivos naturales en la dieta de los animales que son destinados para la producción de alimentos, como los productos lácteos y cárnicos. En este sentido, se ha demostrado que el extracto de las hojas de orégano, conocido como aceite esencial de orégano (AO), contiene metabolitos benéficos para la salud humana, y pueden ser utilizados como sustitutos de aditivos alimentarios (Arcila-Lozano *et al*., 2004).

Estos aceites esenciales poseen un gran potencial, aunque son químicamente inestables en determinadas condiciones como el oxígeno, luz, humedad y calor; por lo que la micro encapsulación podría ser una opción viable para mantener sus características biológicas y funcionales *(*Bakry *et al.*, 2016). Son escasos los estudios realizados sobre la adición de AO puro y nanoparticulado en la dieta de cabras lecheras, razón por la cual no hay un panorama claro sobre los efectos que pueda tener en la calidad fisicoquímica, sensorial y tecnológica de la leche y sus subproductos. Algunos datos describen que las hierbas aromáticas como el romero, tomillo y orégano han sido estudiados por su alto contenido de compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante (Boutoial *et al*., 2013).

La teoría menciona que la leche es biosintetizada en las células mioepiteliales del alvéolo presente en la ubre, donde ocurren procesos enzimáticos y bioquímicos que dan origen a los componentes que se conocen de este alimento (agua, grasa, proteínas, lactosa y minerales); los cuales son responsables de las características fisicoquímicas de la leche (composición, solución o suspensión coloidal, emulsión aceite en agua y solución verdadera). Estos componentes están presentes en la leche como una emulsión grasa/agua, solución/suspensión coloidal y como solución verdadera; por lo tanto, es posible que las nanopartículas de AO alcancen a llegar a la biosíntesis y formar parte de la composición final de la leche, todo esto en función del tamaño de partícula de los componentes de ésta, los cuales oscilan para glóbulos de grasa de 10.0-2.0 a 10.0-3.0 mm, caseína de 10.0-1.0 a 10.0-5.0 mm, proteínas del lactosuero, lactosa y sales minerales de 10.0-6.0 a 10.0-7.0 mm (Fox *et al*., 2015). Por lo mencionado, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto de la suplementación de cabras en dieta con AO y AON, para lo cual se midió el pH, acidez titulable y composición de la leche cruda y ultrapasteurizada.

Materiales y Métodos

El experimento para evaluar la suplementación en dieta y ordeña de cabras Alpino Francés se llevó a cabo en el rancho Agrícola La Gloria ubicado en el municipio de Allende, Nuevo León, México. El tamaño de las nanopartículas de orégano y quitosano fueron caracterizadas por dispersión de luz dinámica (DLS), obteniendo tamaños de partícula de 332.95 nm para las de

orégano y 3.39 nm para las de quitosano (López, 2022), lo cual validó el tamaño de las nanopartículas usadas en el ensayo.

Diseño Experimental

Un diseño experimental completamente al azar de tres tratamientos fue establecido para el estudio, donde cada tratamiento, establecido desde campo, constó de 5 cabras primalas (33.12 ± 3.27 kg; 3 meses de lactancia) que recibieron un periodo de adaptación a los tratamientos de 14 días y después 12 días en experimentación; durante este tiempo se establecieron tres periodos para obtener la leche (L); en cada periodo, la leche de cada cabra (0.9-1 L) fueron mezclados (4-4.5 L leche total) por tratamiento para obtener dos subréplicas (2-2.25 L leche/subréplica/tratamiento), las cuales se analizaron por separado por cada tratamiento en cada periodo. Las cabras estuvieron en corrales individuales (1.20 x 1.40 x 1.20 m) con un bebedero y comedero cada corral. Los tratamientos definidos para el experimento fueron L-CON: leche de cabras suplementadas con 0 ppm de AO, L-AO: leche de cabras suplementadas con 300 ppm de AO puro en dieta, y L-AON: leche de cabras suplementadas con 300 ppm de AON en dieta.

Composición de la leche cruda y ultrapasteurizada

La composición de la leche cruda y ultrapasteurizada fue analizada con el analizador de leche ultrasónico (Lactoscan SL60, MILKOTRONIC LTD, Nova Zagora, Bulgaria). Para analizar la materia prima, 15 mL de muestra se colocaron en el vial; hecho esto se colocó en el tubo capilar del equipo que arrojó la lectura, procediendo a registrar los datos. Las lecturas se hicieron por triplicado. La leche ultrapasteurizada se realizó a 85.0 ± 1.0°C durante 5 min y de inmediato fue enfriado a 43.0 ± 0.5°C.

Medición de pH y AT

El pH fue medido con un potenciómetro (HANNA; HI98127, Woonsocket RI, USA), mientras que la acidez titulable (AT; g ácido láctico por 100 g de producto) se midió con el método establecido de Sanz *et al*. (2008), y la siguiente fórmula:

$$AT = \frac{Vx0.9}{m}$$

Donde V es el volumen (mL) de 0.1 M hidróxido de sodio, m es la masa (en gramos) de la muestra y 0.9 es el factor de conversión del ácido láctico.

Análisis de datos

El arreglo de los datos de las variables evaluadas se realizó mediante un diseño de bloques completamente al azar basándose en el siguiente modelo estadístico:

$y_{ij} = \mu + T_i + \delta_j + \varepsilon_{ijk}$

donde: y_{ij} = variables de estudio/respuesta, μ = media global, T_i = efecto del i-ésimo tratamiento, δ_j = efecto del i-ésimo bloque (día de muestreo) y ε_{ijk} = error estándar.

Cuando del análisis de varianza se obtuvo un valor de probabilidad menor a 0.05 (P-value < 0.05) para cada variable respuesta, la hipótesis nula H_0 (igualdad de tratamientos) fue rechazada y la prueba estadística Tukey se utilizó para comparar las medias a un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$) (Minitab, 2013; versión 17.3.0).

Resultados y Discusión

Los efectos de la suplementación de las cabras con el AO en la calidad de la leche cruda se muestran en el Cuadro 1. Para los sólidos no grasos (SNG), grasa, proteína, lactosa y densidad se obtuvieron diferencias ($P < 0.05$). El contenido de agua y sólidos totales no tuvieron diferencia ($P > 0.05$) entre los tres tratamientos. Los SNG, proteínas, lactosa y densidad fueron mayores en la leche L-AO y más bajos en L-CON. En el caso del contenido de grasa, un valor más bajo se observó en la leche L-AO en comparación con los dos tratamientos. Los tratamientos evaluados muestran valores que cumplen con las especificaciones fisicoquímicas para leche cruda de cabra establecidas por la NMX- F- 728- COFOCALEC (2017). Sin embargo, respecto al porcentaje de grasa el tratamiento L-AO se encuentra por debajo de la especificación de la norma (3.12%, mínimo). Lo mismo ocurre con la especificación del porcentaje de lactosa, para el cual la NMX especifica un valor máximo de 4.6%. El aumento en los porcentajes de lactosa y proteínas de los tratamientos L-AO y L-AON pudo haber ocasionado también el aumento en la densidad de los tratamientos, parámetro que también mostró los valores más altos para estos tratamientos.

El efecto de la suplementación de las cabras con AO en la calidad de la leche ultrapasteurizada se puede observar en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Efecto de la suplementación de cabras con aceite de orégano en la calidad de la leche cruda.

Componente[1]	Tratamientos[2]			EEM[3]	P-value
	L-CON	L-AO	L-AON		
Agua (%)	88.41[a]	88.28[a]	88.30[a]	0.07	0.358
ST (%)	11.59[a]	11.72[a]	11.70[a]	0.07	0.358
SNG (%)	8.51[c]	8.92[a]	8.68[b]	0.03	0.000
Grasa (%)	3.08[a]	2.79[b]	3.02[a]	0.05	0.000
Proteína (%)	3.11[c]	3.28[a]	3.17[b]	0.01	0.000
Lactosa (%)	4.68[c]	4.91[a]	4.77[b]	0.02	0.000
Densidad (kg/m^3)	29.59[c]	31.33[a]	30.28[b]	0.01	0.000

[1]ST: Sólidos Totales; SNG: Sólidos No Grasos. [2]L-CON: leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano puro (AO); L-AO: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AO puro en dieta; L-AON: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AON en dieta. [3]EEM: error estándar de la media. [a-c]Medias en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

Cuadro 2. Efecto de la suplementación de cabras con aceite de orégano en la calidad de la leche ultra pasteurizada.

Componente[1]	Tratamientos[2]			EEM[3]	P-value
	L-CON	L-AO	L-AON		
Agua (%)	88.36[a]	88.34[a]	88.32[a]	0.09	0.960
ST (%)	11.64[a]	11.66[a]	11.68[a]	0.09	0.960
SNG (%)	8.55[b]	8.87[a]	8.60[b]	0.05	0.000
Grasa (%)	3.09[a]	2.79[b]	3.08[a]	0.05	0.000
Proteína (%)	3.12[b]	3.25[a]	3.15[b]	0.02	0.000
Lactosa (%)	4.70[b]	4.88[a]	4.73[b]	0.03	0.000
Densidad (kg/m^3)	29.71[b]	31.21[a]	29.92[b]	0.18	0.000

[1]ST: Sólidos Totales; SNG: Sólidos No Grasos. [2]L-CON: leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano puro (AO); L-AO: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AO puro en dieta; L-AON: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AON en dieta. [3]EEM: error estándar de la media. [a-b]Medias en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos (P < 0.05).

La leche de L-AO obtuvo los valore más altos (P < 0.05) en SNG, proteína, lactosa y densidad, pero menor (P < 0.05) contenido graso. La leche de L-CON presentó los menores contenidos, pero más grasa. Con estos resultados se puede sugerir que se obtuvo una leche semidescremada producida desde origen. Similares comportamientos se encontraron en las variables de leche pasteurizada en relación a la leche cruda. Paraskevakis (2015) obtuvo resultados distintos al incorporar 30 g de orégano griego deshidratado en la dieta de las cabras

alpinas, lo cual no presentó efecto alguno entre los dos tratamientos evaluados. Los porcentajes de proteína y lactosa obtenidos fueron menores a los mostrados en este trabajo, la misma diferencia fue observada en el porcentaje de grasa en el cual no se observó diferencia entre los tratamientos evaluados por dicho autor. En otro estudio se evaluó el efecto de la calidad fisicoquímica de la leche por la suplementación de cabras Murciano- Granadina con 10 y 20% de aceite de romero en dieta (Boutoial *et al*., 2013), en el cual no obtuvieron diferencia en la composición de los tratamientos evaluados. Sus resultados difieren con los valores de grasa y proteína, siendo más altos los mostrados por este autor por la raza de cabra que se utilizó para realizar la investigación.

El pH y la AT de la leche cruda y ultrapasteurizada de las cabras suplementadas con el AO se observan en el Cuadro 3. El pH difirió ($P < 0.05$) en la leche cruda, presentado el mayor valor L-AO y el menor L-CON; no obstante, los valores de AT no presentaron diferencia ($P > 0.05$). Respecto al pH y AT de la leche ultrapasteurizada no hubo diferencia ($P > 0.05$) en las variables. Es escaso el estudio del efecto de la calidad de leche por la suplementación de AO y AON. En un estudio realizado por Giannenas *et al*.(2011) donde se evaluó el efecto de la incorporación de una mezcla de aceites esenciales en la calidad de la leche de oveja no obtuvieron efecto en las características fisicoquímicas de los tratamientos de leche evaluados.

Cuadro 3. pH y acidez titulable en leche cruda y ultra pasteurizada de cabras suplementadas con aceite de orégano.

Leche/variable[1]	Tratamiento[2]			EEM[3]	P-value
	L-CON	L-AO	L-AON		
Leche cruda					
pH	6.56[b]	6.64[a]	6.57[b]	0.01	0.000
AT	0.170[a]	0.169[a]	0.1666[a]	0.002	0.378
Leche ultra pasteurizada					
pH	6.45[a]	6.47[a]	6.46[a]	0.01	0.196
AT	0.169[a]	0.168[a]	0.1675[a]	0.002	0.616

[1]AT: Acidez Titulable (g/100 g de ácido láctico). [2]L-CON: leche de cabras suplementadas con 0 ppm de aceite de orégano puro (AO); L-AO: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AO puro en dieta; L-AON: leche de cabra suplementadas con 300 ppm de AON en dieta. [3]EEM: error estándar de la media. [a-b]Medias en filas con diferente letra indican diferencia estadística entre tratamientos ($P < 0.05$).

Conclusiones

La suplementación con AO y AON en dietas para cabras causa un efecto en la composición fisicoquímica de la leche obtenida, aumentando el porcentaje de proteína y lactosa, sin embargo, el AO disminuye el contenido de grasa. El pH y AT de la leche ultrapasteurizada no se afectaron por la suplementación de AO y AON en la dieta de las cabras lecheras. El pH incrementó en la leche cruda con la suplementación de aceite puro en las dietas de las cabras.

Agradecimientos

Al rancho agrícola La Gloria por la disposición de las instalaciones y proveer las cabras para la experimentación. Al Centro de Investigación y Desarrollo de Industrias Alimentarias y el Laboratorio de Ingeniería de la Facultad de Agronomía de la UANL por la disposición de equipos e instalaciones para llevar a cabo esta fase experimental.

Literatura Citada

Arcila, L.C.C., G. Loarca P., S. Lecona U. and E. González d M. 2004. Oregano: properties, composition and biological activity. Archivos latinoamericanos de nutricion, 54(1): 100-111.

Bakry, A. M., S. Abbas., B. Ali., H. Majeed., M. Y. Abouelwafa., A. Mousa. *et al.* 2016. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 15(1): 143–182.

Boutoial, K., E. Ferrandini., S. Rovira., V. García. and M. B. López. 2013. Effect of feeding goats with rosemary (Rosmarinus officinalis spp.) by-product on milk and cheese properties. Small Ruminant Research, 112(1–3): 147–153.

Fox, P. F., T. Uniacke L., P. L. H. McSweeney. and J. A. O'Mahony. 2015. Enzymology of Milk and Milk Products. In Dairy Chemistry and Biochemistry.

Fox P. F. and P. L. H. McSweeney. 2015. Dairy chemistry and biochemistry Second Edition: Springer New York 321.p.

Giannenas, I., J. Skoufos., C. Giannakopoulos., M. Wiemann., O. Gortzi., S. Lalas. *et al.* 2011. Effects of essential oils on milk production, milk composition, and rumen microbiota in Chios dairy ewes. Journal of Dairy Science, 94(11): 5569–5577.

López, J.C. 2022. Efecto del aceite de orégano sobre la productividad, fermentación ruminal y calidad de la leche en cabras lecheras. Tesis de Maestría. Posgrado Conjunto Facultad de Agronomía y Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León. general Escobedo, Nuevo León, México.

Minitab, LLC. 2014. Minitab. Retrieved from https://www.minitab.com

NMX- F- 728- COFOCALEC. 2017. NORMA MEXICANA NMX- F- 728- COFOCALEC. Sistema producto leche- alimento- lácteo- leche cruda de cabra- especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas y métodos de prueba.

Paraskevakis, N. 2015. Effects of dietary dried Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. hirtum) supplementation on blood and milk enzymatic antioxidant indices, on milk total antioxidant capacity and on productivity in goats. Animal Feed Science and Technology. 209: 90-97.

Sanz, T., A. Salvador, A. Jiménez. and S.M. Fiszman. 2008. Yogurt enrichment with functional asparagus fibre. Effect of fibre extraction method on rheological properties, colour, and sensory acceptance. European Food Research and Technology 227:1515-1521.

Vargas, A.P., M.L. Pineda C. and A. Chacón V. 2006. Lácteos bovinos y percepción de la leche caprina entre estudiantes de la Universidad de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana, 18(1): 27.

FRECUENCIA DE ANIMALES PERSISTENTEMENTE INFECTADOS A DIARREA VIRAL BOVINA EN UN HATO LECHERO EN SUBTRÓPICO HÚMEDO

Jorge Víctor Rosete Fernández[1*], Abraham Fragoso Islas[1], Guadalupe Asunción Socci Escatell[2] y Ángel Ríos Utrera[3]

Resumen

La diarrea viral bovina (BVD) como enfermedad que afecta la reproducción, debe ser diagnosticada para tomar medidas para su control e incluso considerar establecer un programa para eliminarla del hato. Esta enfermedad ha sido detectada en algunos ranchos del trópico y subtrópico húmedos de México. La prevalencia encontrada mediante el diagnóstico serológico de anticuerpos ha sido de interés; sin embargo, algunos autores han recomendado la eliminación de los animales persistentemente infectados con la intención de erradicar la BVD del hato. El objetivo fue determinar en vacas y vaquillas de un hato lechero en pastoreo, la frecuencia de anticuerpos séricos contra el virus de la BVD (AC) y la frecuencia de animales persistentemente infectados al virus. El trabajo se realizó en el Sitio Experimental Las Margaritas del INIFAP. Se incluyeron 100 animales (vacas y vaquillas) Suizo Americano, Holstein y sus cruzas recíprocas. Para el diagnóstico de anticuerpos en suero sanguíneo y antígenos del virus en sangre, a cada animal se le tomaron muestras de sangre y para el diagnóstico del virus en excreciones corporales se tomaron muestras de moco lacrimal, nasal y cérvico-vaginal. Las muestras de suero sanguíneo se procesaron con ELISA y las de sangre y excreciones corporales con RT-PCR. Las variables analizadas se registraron en forma binaria; por ejemplo; un resultado positivo a AC se codificó como 1; en caso contrario, como 0. Se analizó con GENMOD de SAS, utilizando la función liga logit para la distribución binomial. El modelo incluyó los efectos de estatus del animal (vaca o vaquilla) y grupo racial (Holstein, Suizo Americano y sus cruzas recíprocas). El criterio de convergencia aplicado en cada

[1] INIFAP-CIRGOC-S.E. Las Margaritas. *Autor de correspondencia: rosete.jorge@inifap.gob.mx
[2] 2INIFAP-CENID-Salud Animal e Inocuidad.
[3] 3INIFAP-CIRGOC-C.E. La Posta.

análisis estadístico fue 10^{-8}. No hubo efecto (P>0.05) de estatus del animal y grupo racial sobre AC y frecuencia de antígenos en sangre, siendo en promedio de 7.98 y 6.38%, respectivamente. Hubo eliminación del virus en las excreciones naturales, siendo en promedio de 8.56% para moco lacrimal y nasal y de 12.74% para cérvico-vaginal, siendo solo mayor (P<0.05) la excreción cérvico-vaginal en vaquillas (29.3%) que en vacas (3.0%). Se concluye que el hato tiene animales persistentemente infectados.

Palabras clave: rinotraqueitis infecciosa bovina, animales latentemente infectados

Introducción

La diarrea viral bovina (BVD) como enfermedad que afecta la reproducción, causa retención placentaria, infección uterina, repetición de estros y, en consecuencia, retraso en la concepción, así como muerte embrionaria y aborto (Waldner, 2005; Lertora, 2003), debe ser diagnosticada para tomar medidas para su control e incluso considerar establecer un programa para eliminarla del hato (Vargas *et al*., 2009). Esta enfermedad ha sido diagnosticada en algunos hatos del trópico y subtropico húmedos de México (Zárate *et al*., 2013; Rosete *et al*., 2015). La prevalencia encontrada mediante el diagnóstico serológico de anticuerpos ha sido de interés, pues se han relacionado con fallas reproductivas (Zárate *et al*., 2013; Rosete *et al*., 2015). Una alternativa para su control es la vacunación (Souto *et al*., 2016); sin embargo, se ha recomendado la eliminación de animales persistentemente infectados (Reinhardt *et al*., 2002; Jayashi *et al*., 2005), con la intención de erradicarla del hato. El objetivo de este estudio fue detectar la presencia de anticuerpos contra el virus de la BVD en vacas y vaquillas de un hato lechero en pastoreo, para después determinar la presencia de animales persistentemente infectados.

Materiales y Métodos

Lugar de realización

El trabajo se realizó en la región oriente del estado de Puebla, en clima subtropical húmedo, en el Sitio Experimental Las Margaritas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Animales

El estudio incluyó 100 vacas y vaquillas Suizo Americano, Holstein y sus cruzas recíprocas (Holstein x Suizo Americano y Suizo Americano x Holstein), las que estuvieron en pastoreo rotacional en zacate Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), con complementación mineral y acceso a agua a libertad. Las vaquillas durante el pastoreo se complementaron con alimento concentrado a razón de 2 kg/animal/día con 18% de proteína cruda y 70% de total de nutrientes digestibles. Las vacas en lactancia se ordeñaron dos veces al día, en forma mecánica, suministrando 1.5 kg de alimento concentrado durante el ordeño; en el periodo seco se les ofrecieron 2 kg de dicho alimento concentrado, el mismo que se les ofreció a las vaquillas. Sanitariamente, se atendieron conforme al protocolo establecido aplicando una bacterina contra clostridiasis, pasteurelosis y mannhemia y una vacuna contra rabia paralitica bovina; además, se desparasitaron contra vermes internos y se aplicaron baños garrapaticidas. Los animales estaban oficialmente libres de brucelosis y tuberculosis. El manejo reproductivo consistió en la detección de estros de manera visual, inseminación artificial, monitoreo reproductivo mediante palpaciones rectales útero-ováricas y tratamientos en caso de ser necesarios.

Toma de muestras de sangre y excreciones naturales

Para el diagnóstico de anticuerpos en suero sanguíneo y antígenos del virus en sangre, se tomaron dos muestras de sangre de la vena coccígea con agujas vacutainer. Una muestra de sangre fue para la obtención de suero, que se tomó con un tubo vacutainer sin anticoagulante; la otra muestra fue para la conservación de sangre completa, que se tomó con un tubo vacutainer con anticoagulante EDTA. Las muestras se conservaron en una hielera de poliuretano con abundante hielo hasta llegar al laboratorio. Las muestras de sangre para obtención del suero se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 minutos y el suero obtenido se conservó en viales de 5 ml de poliuretano con tapón y se mantuvieron en congelación (-20°C) hasta su análisis. Las muestras de sangre completa con anticoagulante se pasaron a viales de

5 ml y también se mantuvieron en congelación (-20°C) hasta su análisis. Adicionalmente, se tomaron muestras de excreciones corporales: moco lacrimal nasal y cérvico-vaginal con hisopos comerciales. Los hisopos se conservaron en una caja de poliuretano con hielo hasta llegar al laboratorio, para después mantenerse en congelación (-20°C) hasta su análisis.

Diagnóstico de laboratorio

Las muestras de suero sanguíneo para la detección de anticuerpos IgG, se procesaron por medio del análisis inmunoenzimático de adsorción (ELISA) y las muestras de sangre completa y de excreciones corporales para la detección viral, se analizaron por medio de la reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa (RT-PCR).

Análisis estadístico

Las cinco variables (frecuencias) analizadas se registraron en forma binaria. Si la prueba de ELISA indicó que una hembra resultó seropositiva a anticuerpos contra el virus de la diarrea viral bovina, la variable se codifico como 1; en caso contrario (seronegativa), se codificó como 0; si la prueba de RT-PCR indicó que una hembra resultó positiva al antígeno del virus (sangre, moco lacrimal, moco nasal y moco cérvico-vaginal), la variable se codifico como 1; en caso contrario, se codificó como 0. Los análisis se realizaron con el procedimiento GENMOD del programa SAS, aplicando la función liga logit para la distribución binomial. El modelo estadístico utilizado fue de regresión logística e incluyó los efectos de estatus (vaca o vaquilla) y grupo racial de la hembra (Holstein, Suizo Americano y sus cruzas recíprocas). El criterio de convergencia aplicado en cada análisis estadístico fue 10^{-8}.

Resultados y Discusión

Resultados

En el Cuadro 1 se muestran los valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico, estatus de la hembra y grupo racial, para analizar la frecuencia de anticuerpos en suero contra el virus de la diarrea viral bovina, frecuencia de antígenos en sangre, moco lacrimal, moco nasal y moco cérvico-vaginal, siendo significativos ($P<0.05$) solo para el estatus de la hembra en el moco cérvico-vaginal.

Cuadro 1. Valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico para analizar frecuencia de anticuerpos en suero contra el virus de la diarrea viral bovina (SUE), y frecuencia de antígenos en sangre (SAN), moco lacrimal (LAC), moco nasal (NAS) y moco cérvico vaginal (VAG).

	SUE	SAN	LAC	NAS	VAG
Estatus de la hembra					
Chi-cuadrada	0.07	0.88	0.02	0.02	6.49
Probabilidad	0.7856	0.3471	0.8856	0.8856	0.0108
Grupo racial					
Chi-cuadrada	0.38	1.51	0.69	0.69	0.52
Probabilidad	0.8288	0.4700	0.7069	0.7069	0.7727

En el Cuadro 2 se muestran las medias y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%), para la frecuencia de anticuerpos séricos contra el virus de la diarrea viral bovina, por estatus de la hembra y grupo racial, siendo en promedio de 7.98%, lo que indica que los animales han estado expuestos a la enfermedad.

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) de anticuerpos séricos contra el virus de la diarrea viral bovina.

Efecto/Clase*	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Estatus de la hembra			
Vaca	8.9 ± 3.7	3.8	19.4
Vaquilla	6.8 ± 6.9	0.9	38.0
Grupo racial			
Cruzada	8.3 ± 4.5	2.7	22.5
Holstein	10.6 ± 8.3	2.1	39.8
Suizo Americano	5.3 ± 5.6	0.6	33.6

*No hubo diferencias en estatus de la hembra y grupo (P>0.05).

En el Cuadro 3 se muestran las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) de antígenos en sangre del virus de la diarrea viral bovina, por estatus de la hembra y grupo racial, siendo en promedio de 6.38%, lo que indica presencia de animales persistentemente infectados.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) de antígenos en sangre del virus de la diarrea viral bovina.

Efecto/Clase*	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Estatus de la hembra			
Vaca	2.9 ± 2.0	0.7	10.8
Vaquilla	9.9 ± 9.5	1.3	46.9
Grupo racial			
Cruzada	2.1 ± 2.1	0.3	13.6
Holstein	8.5 ± 8.4	1.1	43.7
Suizo Americano	8.5 ± 8.4	1.1	43.7

*No hubo diferencias en estatus de la hembra y grupo racial (P>0.05).

En cuanto a la eliminación de los virus en excreciones corporales, las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) del antígeno del virus en moco lacrimal y nasal, fue en promedio de 8.56% (Cuadros 4 y 5); sin embargo, la eliminación del virus en moco vaginal fue mayor (P<0.05) en vaquillas (29.0%) que en vacas (3.0%), siendo el promedio de 12.74% (Cuadro 6).

Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) de antígenos del virus de la diarrea viral bovina en excreción lacrimal.

Efecto/Clase*	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Estatus de la hembra			
Vaca	7.7 ± 3.4	3.1	17.6
Vaquilla	8.9 ± 8.9	1.1	45.5
Grupo racial			
Cruzada	6.7 ± 3.9	2.0	19.9
Holstein	13.3 ± 10.4	2.6	47.3
Suizo Americano	6.2 ± 6.5	0.7	37.0

*No hubo diferencias en estatus de la hembra y grupo racial (P>0.05).

Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) de antígenos del virus de la diarrea viral bovina en excreción nasal.

Efecto/Clase*	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Estatus de la hembra			
Vaca	7.7 ± 3.4	3.1	17.6
Vaquilla	8.9 ± 8.9	1.1	45.5
Genotipo			
Cruzada	6.7 ± 3.9	2.0	19.9
Holstein	13.3 ± 10.4	2.6	47.3
Suizo Americano	6.2 ± 6.5	0.7	37.0

*No hubo diferencia entre estatus de la hembra y genotipo (P>0.05).

Cuadro 6. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para frecuencia (%) de antígenos del virus de la diarrea viral bovina en excreción cérvico-vaginal.

Efecto/Clase	Media ± EE	IC95%	
		Límite inferior	Límite superior
Estatus de la hembra			
Vaca	3.0 ± 2.2a	0.7	11.7
Vaquilla	29.0 ± 15.9[b]	8.3	64.9
Grupo racial			
Cruzada	6.5 ± 3.8	2.0	19.4
Holstein	14.4 ± 13.8	1.8	60.2
Suizo Americano	10.8 ± 10.8	1.3	52.1

[a,b] Medias con diferente literal, son diferentes (P<0.05).

Discusión

La frecuencia de animales seropositivos a anticuerpos contra el virus de la diarrea viral bovina, que en promedio fue de 7.98%, nos indica que el hato ha estado expuesto a la enfermedad y que se deben tomar medidas de control como se ha recomendado en otros estudios (Gorgoza *et al*., 2001; Meléndez *et al*., 2010; Zarate *et al*., 2013; Rosete *et al*., 2021). En consecuencia,

por ser un hato con animales persistentemente infectados, lo que se demostró por los detectados que en promedio fueron el 6.38%, denota que el hato está en riesgo y los animales persistentemente infectados deberían ser eliminados paulatinamente, ya que este tipo de animales son el principal factor para la diseminación de la enfermedad (Reinhardt *et al*., 2002; Jayashi *et al*., 2005), pues la vacuna solo protege de problemas neumónicos y reproductivos (Rosete *et al*., 2021) y el virus permanece circulando en el hato, eliminándose en las secreciones corporales, como se ha demostrado en este estudio (Cuadros 4 al 6), lo que indica que el virus está presente, circulando y contagiando de esta forma a animales susceptibles.

Por otro lado, debido a que la erradicación de esta enfermedad requiere de acciones determinantes como la "identificación y eliminación de animales persistentemente infectados", como se ha recomendado en otros estudios (Jayashi *et al*., 2005), es razonable pensar que esta acción causaría resistencia para su realización en nuestras condiciones ganaderas nacionales, por lo que es prácticamente recomendable aplicar un programa permanente de vacunación y control de animales que ingresen al hato, como se ha logrado en un hato de ganado de Lidia que tuvo una fertilidad de 28.6% en animales no vacunados contra el 71.1% en vacunados (Pacheco-Lima *et al*., 2019) o de 51.6% de gestación en vacas lecheras no vacunadas, contra 72.9% en vacunadas (Rosete *et al*., 2021).

Conclusiones

El hato se considera infectado por el promedio de 7.98% de animales seropositivos a anticuerpos contra el virus de la diarrea viral bovina y por el promedio el 6.38% de animales persistentemente infectados, por lo que se debe proceder a la vacunación.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo en recursos materiales y financieros para la realización de este proyecto en beneficio de la salud animal de hatos en clima tropical.

Literatura Citada

Abad-Zavaleta, J., Á. Ríos U., J.V. Rosete F., A. García C. y J.P. Zárate M. 2016. Prevalencia de rinotraqueitis infecciosa bovina y diarrea viral bovina en hembras en tres épocas del año en la zona centro de Veracruz. Electrónica Nova Scientia. 8(16):213-227.

Gorgoza, L.M., E. Morán P., L. Larghi J., A. Igesias M. y A. Pérez. 2001. Vacunación contra la diarrea viral bovina; fortalezas y limitaciones. Taurus. 3(11):4-15. Enfermedades de la reproducción. www.produccion-aniaml.com.ar [Consultado el 25/04/2022].

Jayashi, F.C., C. Gavidia C., M. Arainga R., A. Manchego S. y H. Rivera G. 2005. Dinámica de seroconversión en hembras bovinas post eliminación de animales portadores del virus de la diarrea viral bovina. Revista de Investigación Veterinaria Perú. 16(1):56-64.

Lertora, W.J. 2003. Diarrea viral bovina: Actualización. Revista Veterinaria F.C.V. UNNE. 14(1):1-11.

Meléndez, S.R.M., A.G. Valdivia F., E.J. Rangel M., E. Díaz A., C.J. Segura-Correa y A.L. Guerrero B. 2010. Factores de riesgo asociados a la presencia de aborto y desempeño reproductivo en ganado lechero de Aguascalientes, México. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 1(4):391-401.

Pacheco-Lima, J., H. Silva, J.P. Campillo B., D. Fernandes da S. y F. Moreira da S. 2019. Effect of vaccination against IBR/BVD on the reproductive performances of Brava Dos Acores-A bovine Lidia breed. Am. J. Biomed. Sci. Res. 266-272.

Reinhardt, G., S. Riedemann y N. Tadich. 2002.Muestreo predial pequeño para predecir una infección activa por el virus diarrea viral bovina (VDVB) en planteles lecheros de la X Región de Chile. Arch. Med. Vet. 34(1).

Rosete, F.J.V., A. Fragoso I., G.A. Socci E. y Á. Ríos U. 2021.Gestación posvacunación contra diarrea viral bovina, rinotraqueitis infecciosa bovina y leptospirosis en vacas lecheras en pastoreo. Ciencia y Tecnología para El Campo Mexicano: Retos y oportunidades. 894-903.

Rosete, F.J.V., L. Granados Z., J.P. Zárate M., Á Ríos U., V.M. Banda R., G.A. Socci E. *et al*. 2015. Prevalencia e incidencia a diarrea viral bovina en vacas de doble propósito en pastoreo en trópico húmedo. VII Reunión Científica Tecnológica. Forestal y Agropecuaria Tabasco y IV Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Tabasco, México. 246-251.

Souto, L.A., M. Maturana F., M. Lemes K., D. Torres F. y H. Madureira E. 2016. Vacunación estratégica contra diarrea viral bovina (BVD), rinotraqueitis infecciosa bovina (IBR) y leptospirosis mejora la tasa de preñez en protocolos de IATF en vacas Nelore. Biogenesis Bago. http://www.biogenesisbago.com/do/nota-tecnica/116/ [Consultado el 25/04/2022].

Vargas, D.S., J. Jaime y J. Vera V. 2009. Perspectivas para el control del virus de la diarrea viral bovina (BVDV). Rev. Col. Cienc. Pecu. 22:677-688. http://rccp.udea.edu.co [Consultado el 25/04/2022].

Waldner, C.L. 2005. Serological status for *N. caninum*, bovine viral diarrhea virus and infectious bovine rhinotracheitis virus at pregnancy testing and reproductive performance in beef herds. Anim. Reprod. Sci. 90(3-4):219-242.

Zárate, M.J.P., J.V. Rosete F., Á. Ríos U., F.T. Barradas P., R. López E., S. Olazarán J. *et al*. 2013. Estado reproductivo y prevalencia de IBR y DVB en hembras bovinas en tres épocas del año en la zona centro de Veracruz. XXXVIII Congreso Nacional de Buiatría. Acapulco, Guerrero, México. 759-766.

DETERMINACIÓN DE LOS LINAJES GENÉTICOS DE *Toxoplasma gondii* EN CARNE DE CERDO EN VERACRUZ-CENTRO

Julia Juneht Alavez Chávez[1*], Mariel Aguilar Domínguez[1], Daniel Sokani Sánchez Montes[2], Dora Romero Salas[1] y Manuel Barrientos Morales[3]

Resumen

Toxoplasma gondii es un parásito zoonótico. En el ser humano, una de las principales fuentes de infección es consumir carne de cerdo con cocción insuficiente y que tenga quistes tisulares. Este patógeno se ha subdivido en tres linajes genéticos: tipo I, II y III, en el que el tipo I es el linaje virulento, que ocasiona abortos y toxoplasmosis congénita. El objetivo de la investigación fue conocer los linajes que se encuentran presentes en la carne de cerdo destinada para consumo humano en la zona centro del estado de Veracruz. Se recolectaron 39 muestras de lomo y 28 muestras de lengua de cerdos de la zona central del estado de Veracruz. Se realizaron 12 pools para las 67 muestras y 3 de estos resultaron positivos, para la amplificación de los fragmentos de los genes 18S ribosomal y B1. Se secuenciaron los pools positivos y al comparar las secuencias en el GenBank, mostraron similitud del 100% para la cepa *Toxoplasma gondii* ME49 que ha sido reportada para el linaje de tipo II. Existe la presencia del *Toxoplasma gondii* en muestras de carne de cerdo de la zona centro de Veracruz, específicamente el linaje genético tipo II.

Palabras clave: toxoplasmosis, PCR, zoonosis

[1] Laboratorio de Parasitología, Rancho "Torreón del Molino", Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Carretera 140 Veracruz- Xalapa, Km 14.5, Veracruz, Ver. E-mail: *yuliialavez@gmail.com
[2] Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias región Tuxpan, Universidad Veracruzana, Carretera Tuxpan Tampico Kilómetro 7.5, Universitaria, 92870 Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver.
[3] Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Circunvalación y Yáñez s/n, C.P. 91710, Veracruz, México.

Introducción

Toxoplasma gondii es un parásito zoonótico, una de las principales fuentes de infección en el ser humano, es el consumo de carne de cerdo con cocción insuficiente que contenga quistes tisulares de este parásito. En México, se estima que el consumo de carne de cerdo per cápita por año es de 18.6 kg, así mismo, en el estado de Veracruz se ha reportado seroprevalencias para este parásito de 45.3% en cerdos (Alvarado-Esquivel *et al.,* 2014). Existen tres linajes genéticos de *T. gondii*: tipo I, II y III; el tipo I es el linaje virulento, está asociado con abortos y toxoplasmosis congénita, el tipo II con mayor frecuencia en pacientes inmunocomprometidos y el tipo III se encuentra en animales de vida silvestre (Gallego *et al.,* 2004).

Los cerdos adquieren el parásito por ingesta de alimentos contaminados con ooquistes provenientes de heces de gatos infectados. En México, más del 75% de los pequeños productores rurales crían animales de traspatio (Jiménez-Coello *et al*., 2013) para autoconsumo o para venta local y cuando su crianza ocurre en condiciones deficientes de higiene se predispone a mayor posibilidad de infección por patógenos.

La toxoplasmosis es una enfermedad clínicamente asintomática; sin embargo, la primoinfección durante la gestación tanto en humanos como animales puede causar abortos, anormalidades en el feto o muerte perinatal. Cuando el parásito se encuentra en el sistema nervioso central, puede causar hidrocefalia o crisis convulsivas. (Cook *et al.,* 2000).

Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue determinar los linajes genéticos de *Toxoplasma gondii* presentes en carne de cerdo de la zona Centro de Veracruz.

Material y métodos

El estudio se realizó en la zona centro del estado de Veracruz, fue de tipo observacional transversal con un muestreo a conveniencia en 7 municipios de la zona centro del estado de Veracruz. Se calculó un tamaño de muestra para detectar enfermedad mediante el programa Epimuestra (Segura-Correa *et al.,* 2008), obteniendo un número total de 62 muestras.

Las muestras de tejido, 28 de lengua y 39 de lomo fueron obtenidas después del sacrificio de dichos animales que eran destinado al consumo humano en carnicerías locales y de cerdos

de traspatio, de cada muestra se colectaron 50 g que fueron identificadas y empacadas individualmente. Con ayuda de nitrógeno líquido se maceraron los tejidos para realizar la extracción del ADN con la resina Chelex-100 sodium (Sigma®) y mediante la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) se amplificaron fragmentos de los genes B1 y 18S de *Toxoplasma gondii*, los pools positivos fueron secuenciados y dichas secuencias se compararon con las registradas en el GenBank con ayuda de la herramienta Blast N, por último, mediante el software MEGA 6.0® se realizó la reconstrucción filogenética para observar la similitud o diferencia con otras cepas o aislados de *Toxoplasma gondii.*

Resultados y Discusión

Se realizaron 12 pools de las 67 muestras, donde tres pools resultaron positivos. Al comparar las secuencias positivas en el GenBank, mostraron similitud del 100% para la cepa *Toxoplasma gondii* ME49 (XR_001974394.1) que ha sido reportada para el linaje de tipo II. Howe y Sibley (1995) mencionan que existe una alta prevalencia de este linaje en animales domésticos de producción como cerdos y cabras, esto podría deberse principalmente al tipo de alimentación al que son sometidos, basado en el consumo de materia vegetal.

Por otra parte, se han obtenido resultados diferentes a los reportados por Galván-Ramírez *et al*. (2010) en Ocotlán, Jalisco, donde analizaron mediante PCR 49 muestras de tejidos (lomo y pierna) procedentes de carnicerías y no se encontraron muestras positivas. Las diferencias encontradas se pueden atribuir al tejido que se utilizó, ya que son tejidos donde no hay tanta posibilidad de encontrar al parásito o también a la procedencia de las muestras, es decir, pueden provenir de lugares donde se tengan a los cerdos en condiciones adecuadas en cuanto a higiene y alimentación.

Al realizar el análisis filogenético, se encontró que las secuencias mostraban similitud del 99.7 al 99.25% con cepas y aislados particularmente de China y Australia (Figura 1). Este sería el primer reporte en el estado de Veracruz para la detección, mediante bilogía molecular de *Toxoplasma* gondii en carne de cerdo destinada para consumo humano.

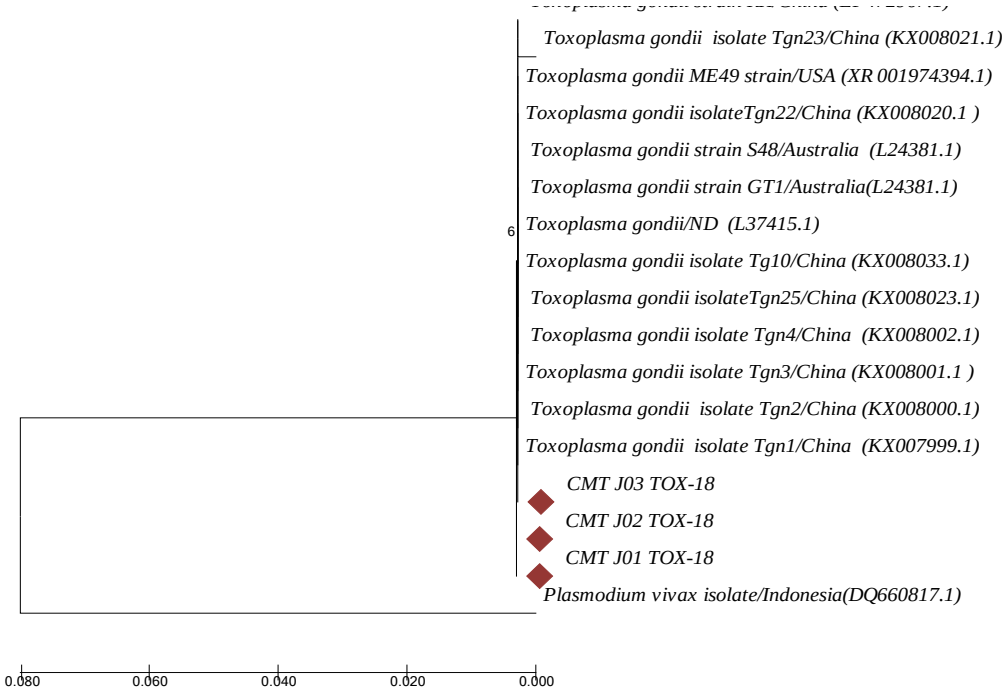


Figura 1. Análisis filogenético de los pools positivos.

Conclusiones

Existe la presencia de *Toxoplasma gondii* en muestras de carne de cerdo en municipios muestreados de la zona centro del estado de Veracruz y por la similitud al comparar las secuencias en el GenBank podría deberse al linaje genético de tipo II. La presencia de este linaje en la carne de cerdo que es consumida sin una cocción adecuada puede causar complicaciones, específicamente neurológicas en personas que estén cursando por alguna enfermedad que debilite su sistema inmune. Así mismo, es necesario realizar más estudios con un número mayor de muestras y que estas sean de diferentes lugares de procedencia para tener un mayor panorama de la situación actual de este parásito en la carne de cerdo.

Agradecimientos y fuente financiera

Los resultados son parte del proyecto de investigación de Julia Juneht Alavez Chávez como parte de sus estudios de maestría con número de becario CONACYT 745137.

Literatura Citada

Alvarado-Esquivel C., D. Romero-Salas, Z. García-Vázquez, M. Crivell-Díaz, M. Barrientos-Morales, L. Lopez-de-Buen. *et al.* 2014. Seroprevalence and correlates of *Toxoplasma gondii* infection in domestic pigs in Veracruz State, Mexico. *Trop Anim Health Prod*. 46: 705-709.

Cook, A. J. C., R. E. Gilbert, W. Buffolano, J. Zufferey, E. Peterson, P. A. Jenum. *et al.* 2000. Sources of toxoplasma infection in pregnant woman: European multicentre case-control study. *BMJ.* 321, 142-147.

Gallego C., J. C. Castaño, A. Giraldo, D. Ajzenberg, M. L. Darde y J. E. Gómez. 2004. Caracterización bilógica y molecular del aislamiento CIBMUQ/HDC, una cepa colombiana de referencia para *Toxoplasma gondii.* Biomédica, 24(3): 282-290.

Galván-Ramírez M I., A. L. Madriz, C. P. Rico, H. Luna-Pastén, L. R. Rodríguez, A. R. Rincón-Sánchez. *et al.* 2010. Frequency of Toxoplasma gondii in pork meat in Ocotlán, Jalisco, México. *Journal of Food Protection*. 73(6): 1121-1123.

Howe, D. K., and L. D. Sibley. 1995. Toxoplasma gondii comprises three clonal lineages: correlation of parasite genotype with human disease. Journal of infectious diseases, 172(6), 1561-1566.

Jiménez-Coello M., K. Y. Acosta-Viana, E. Guzmán-Marin, E. J. Gutiérrez-Ruiz, R. I. Rodríguez-Vivas, M. E. Bolio-González. *et al*. 2013. Presencia de anticuerpos de *Toxoplasma gondii* en cerdos y gatos de traspatio en una región endémica tropical de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16. 89-92.

Segura-Correa, J. C., J. G. Magaña y R. J. Estrada-León. 2008. Parámetros genéticos para caracteres reproductivos de vacas Brahman en un hato del sureste de México. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 8(3), 259-263.

IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE MOSQUITOS COLECTADOS EN CASAS DONDE HABITAN PERROS INFECTADOS CON *Dirofilaria immitis*

Maritza Zaragoza Vera[1], Claudia Virginia Zaragoza Vera[1], Guadalupe Arjona Jiménez[1] y Oswaldo Margarito Torres Chable[1*]

Resumen

El objetivo del presente estudio fue identificar las especies de mosquitos presentes en casas, donde viven perros infectados con *Dirofilaria immitis.* Se realizó un muestreo por conveniencia, muestreando al azar y se identificaron 10 casas con al menos un perro infectado y con microfilaremia activa, se identificó por microscopia la presencia del parásito y posteriormente se realizó la identificación molecular mediante PCR. Las aspiraciones se realizaron una vez dentro y fuera de la casa buscando mosquitos en sitios de reposo o en vuelo. Los mosquitos fueron sometidos a eutanasia mediante hipotermia para posteriormente llevar a cabo su identificación mediante el uso de claves taxonómicas, se realizó su cuantificación y determinación de sexo. El estado de alimentación se determinó mediante la observación directa del abdomen de cada mosquito y de forma práctica se clasificó como alimentado o no alimentado. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva. Un total de 1265 mosquitos fueron capturados en las casas muestreadas. La identificación taxonómica de los mosquitos reveló que estos pertenecen a 4 géneros, 7 subgéneros y 13 diferentes especies. El número de machos capturados fue de 228 especímenes, 156 hembras no alimentadas y 881 hembras alimentadas. Con respecto al lugar de colección, 430 especímenes hembras fueron capturadas en el interior de las casas y 607 especímenes hembras se capturaron en los patios adyacentes a las casas. Las especies con mayor abundancia fueron: *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus* (25%), *Culex* (*Culex*) *interrogator* (16.67%), *Culex* (*Melanoconion*) *nigripalpus* (16.67%), *Anopheles* (*Anopheles*) *quadrimaculatus* (11.54%), *Mansonia* (*Mansonia*) *titillans* (9.56%), *Aedes* (*Stegomya*) *aegypti* (8.37%) y *Culex* (*Culex*)

[1] Division Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 25, Carretera Villahermosa-Teapa, R/a La Huasteca 2ª. Sección, C.P. 86298 Villahermosa, Tabasco, México. E-mail: oswaldo.torres@ujat.mx

quinquefasciatus (8.3%). Las hembras que con mayor frecuencia se encontraron alimentadas fueron: *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus* (92.11%), *Culex* (*Melanoconion*) *nigripalpus* (82.46%), *Mansonia* (*Mansonia*) *titillans* (80.99%), *Culex* (*Culex*) *interrogator* (76.77%), *Culex* (*Culex*) *quinquefasciatus* (76.19%) y *Aedes* (*Stegomya*) *aegypti* (49%). En conclusión, trece diferentes especies de mosquitos fueron encontradas en las casas donde viven perros infectados con *D. immitis. Aedes (Ochlerotatus) taeniorhynchus, Anopheles quadrimaculatus y Culex quinquefasciatus* fueron las especies que podrían jugar un papel como vectores del nemátodo en la zona estudiada.

Palabras clave: filariasis, PCR, caninos infectados

Introducción

Dirofilaria immitis es un nematodo transmitido por diversas especies de mosquitos, afecta principalmente a caninos, causa la enfermedad comúnmente llamada “gusano del corazón del perro”, en menor medida también afecta a felinos, otras especies animales y al hombre (Lee y Atkins, 2010., Lu *et al.*, 2017., Zumaquero *et al*., 2020).

La distribución de *D. immitis* es considerada cosmopolita, aunque es más frecuente encontrarla en climas cálidos (Labarthe y Guerrero, 2005., Genchi *et al.*, 2009). En América ha sido reportada en perros de países como Argentina, Brasil, Colombia, Estados Unidos, México y Venezuela (Labarthe y Guerrero, 2005; Bowman *et al.*, 2009).

Una gran variedad de especies de mosquitos, ha sido considerada hospedadores intermediarios y vectores de *D. immitis*. Sin embargo, pocas especies han sido evaluadas en relación a su capacidad infectiva y vectorial. En la actualidad se sabe por diversos estudios que la familia de mosquitos *Culicidae*, son considerados los hospedadores intermediarios del nematodo. Alrededor de 3500 especies de mosquitos conforman esta familia y se encuentran distribuidas de manera cosmopolita (Morchón *et al*., 2012; Ferreira *et al*., 2015).

La mayoría de los trabajos de campo realizados, para identificar a los hospedadores intermediarios de *D. immitis* se han empleado trampas y regularmente un perro, como cebo para la captura de los mosquitos. Este tipo de estudios han sido realizados principalmente en

Estados Unidos, Italia y Brasil, países con amplias áreas endémicas. Como posibles hospedadores se han identificado: *Culex erraticus*, *Culex modestus*, *Culex nigripalpus*, *Culex pipiens*, *Culex quinquefasciatus*, *Aedes canadensis*, *Aedes caspius*, *Aedes excrucians*, *Aedes scapularis*, *Aedes sierrensis*, *Aedes sollicitans*, *Aedes stimulans*, *Aedes taeniorhynchus*, *Aedes trivittatus*, *Aedes vexans* y *Anopheles maculipennis* (Latrofa *et al.*, 2012; Morchón *et al.*, 2012). Otras especies como: *Aedes cantans*, *Aedes cinereus*, *Aedes geniculatus*, *Anopheles claviger, Coquilletidia richiardii*, *Culex declarator*, *Culex restuans*, *Culex sultanensis*, *Culex territans* y *Culex annulata* tienden a alimentarse con menor frecuencia de perros y gatos, por lo que son de menor interés en la transmisión del parásito (Torres-Chable *et al.*, 2018).

En el estado de Tabasco, se ha reportado una elevada prevalencia de dirofilariasis canina, en localidades cercanas a la costa del Golfo de México, principalmente en los municipios de Comalcalco, Paraíso y Centla; se cuenta con evidencia molecular que el mosquito *Culex* (*Culex*) *quinquefasciatus* es un vector de *D. immitis* en el estado (Torres-Chable *et al*., 2018). Sin embargo, existen otras especies de mosquitos que pudieran estar jugando un papel en la transmisión del nematodo y que aún no han sido reportadas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue identificar las especies de mosquitos presentes en casas donde viven perros infectados con *Dirofilaria immitis*, identificar taxonómicamente las especies de mosquitos colectados en casas donde habitan perros positivos a *Dirofilaria immitis* y determinar su potencial como vector del nemátodo de acuerdo a literatura ya existente.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo entre marzo de 2020 y marzo de 2021 en la ciudad de Paraíso (cabecera municipal) del municipio de Paraíso, Tabasco, el cual se encuentra ubicado entre las coordenadas 18° 24' 00" LN y entre 93° 13' 59" LO (INEGI, 2020).

Tipo de muestreo y técnica de colección de mosquitos

Se realizó un muestreo por conveniencia. Primero se realizó un muestreo al azar para identificar 10 casas que tengan al menos un perro infectado con *D. immitis* y que presente microfilaremia. Inicialmente se realizó la identificación por microscopía y posteriormente se

realizó la identificación molecular mediante PCR siguiendo la metodología de extracción de ADN y reacción de PCR descrita por Torres-Chable *et al*. (2018). Una vez identificadas las casas con los perros positivos a la infección, se realizaron capturas de mosquitos semanalmente, empleando mochilas entomológicas tipo Back Pack CDC®. Las aspiraciones se realizaron dentro y fuera de la casa (patios y zonas adyacentes a la casa), buscando mosquitos en sitios de reposo o en vuelo. Las aspiraciones fueron realizadas una sola vez en cada casa. El tiempo de aspiración empleado en cada casa fue de aproximadamente 15 minutos. Los mosquitos capturados fueron mantenidos vivos en los contenedores plásticos de la máquina aspiradora y transportados, al laboratorio para llevar a cabo su identificación taxonómica.

Identificación y clasificación de los mosquitos capturados

En el laboratorio, los mosquitos fueron sometidos a eutanasia mediante hipotermia, para posteriormente llevar a cabo su identificación mediante el uso de claves taxonómicas (Carpenter y LaCasse, 1955; Darsie Jr y Ward, 1981). Además, se realizó su cuantificación y determinación de sexo. El estado de alimentación se determinó mediante la observación directa del abdomen de cada mosquito y de forma práctica se clasificó como alimentado o no alimentado.

Análisis de los datos

Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva. Se cuantificaron las poblaciones de mosquitos capturados y se esquematizaron mediante gráficos, que mostraron los porcentajes de las especies capturadas. Además, se realizó un análisis comparativo, para clasificar a las especies de mosquitos como “vectores” o “no vectores” de *D. immitis* de acuerdo a lo reportado en literatura científica.

Resultados y Discusión

Se colectaron muestras de sangre entera de perros domésticos, en la cabecera municipal de Paraíso, Tabasco con la finalidad de realizar un muestreo exploratorio, en búsqueda de perros microfilarémicos, empleando la técnica de frotis de gota gruesa. Una vez ubicados diez perros de diferentes casas, se procedieron a la identificación de la especie mediante la técnica de

PCR. Como resultado se obtuvo que, *D. immitis* es la especie de filaria que se encontraba infectando a los perros estudiados (Figura 1).

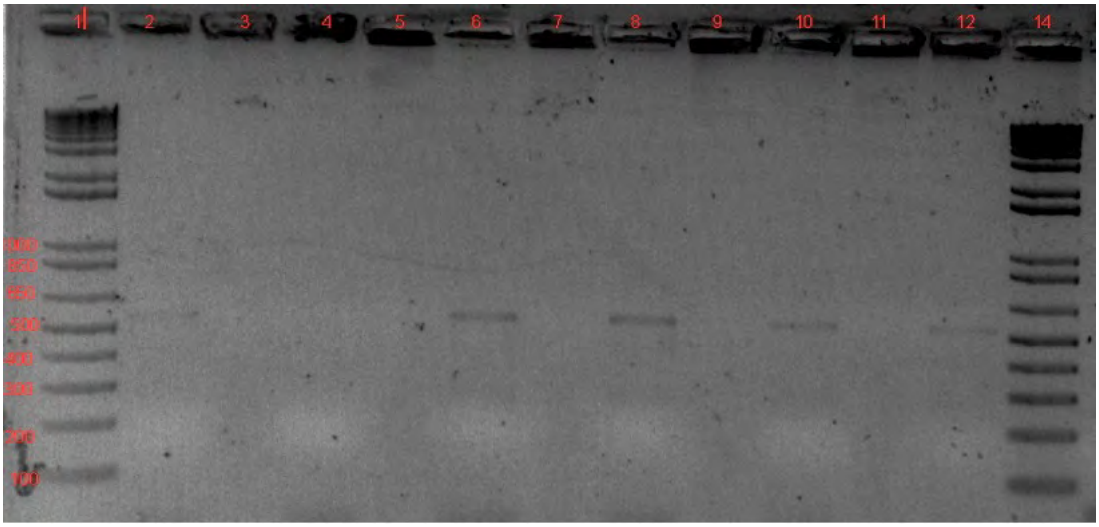


Figura 1. Resultado de los PCR para identificar perros positivos a *D. immitis.* Carriles 1 y 14: marcador molecular, carriles 2-12 muestras evaluadas.

Las casas donde habitaban los perros positivos a *D. immitis*, fueron consideradas como unidades de muestreo para el presente estudio. Un total de 1265 mosquitos fueron capturados en las casas muestreadas. La identificación taxonómica de los mosquitos, reveló que estos pertenecen a 4 géneros, 7 subgéneros y 13 diferentes especies, como puede ser observado en el Cuadro 1. El número de machos capturados fue de 228 especímenes, 156 hembras no alimentadas y 881 hembras alimentadas. Con respecto al lugar de colección, 430 especímenes hembras fueron capturadas en el interior de las casas y 607 especímenes hembras se capturaron en los patios adyacentes a las casas (Cuadro 2).

Las especies con mayor abundancia fueron: *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus* (25%), *Culex* (*Culex*) *interrogator* (16.67%), *Culex* (*Melanoconion*) *nigripalpus* (16.67%), *Anopheles* (*Anopheles*) *quadrimaculatus* (11.54%), *Mansonia* (*Mansonia*) *titillans* (9.56%), *Aedes* (*Stegomya*) *aegypti* (8.37%) y *Culex* (*Culex*) *quinquefasciatus* (8.3%).

Las hembras que con mayor frecuencia se encontraron alimentadas fueron: *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus* (92.11%), *Culex* (*Melanoconion*) *nigripalpus* (82.46%), *Mansonia* (*Mansonia*) *titillans* (80.99%), *Culex* (*Culex*) *interrogator* (76.77%), *Culex* (*Culex*) *quinquefasciatus* (76.19%) y *Aedes* (*Stegomya*) *aegypti* (49%).

Considerando a todas las especies capturadas en el presente estudio, se realizó una búsqueda bibliográfica, para conocer si alguna de las especies encontradas, ha sido previamente reportada como vector de *D. immitis* (Cuadro 2).

Como resultado de la búsqueda bibliográfica, se encontró que, las especies *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus*, *Culex* (*Culex*) *quinquefasciatus*, Culex (Culex) *interrogator* y *Anopheles* (*Anopheles*) *quadrimaculatus*, habían sido previamente reportadas como vectores de *D. immitis.*

Cuadro 1. Lista de mosquitos capturados en patios y casas donde viven perros infectados con *Dirofilaria immitis.*

Taxón	M	HNA	HA	Total
I.- *Aedes* (*Stegomya*)				
1.- *aegypti* (*Linnaeus*)	51	3	52	106
II.-*Aedes* (*Ochlerotatus*)				
2.- *angustivittatus* (Dyar y Knab, 1907)	0	0	4	4
3.- *taeniorhynchus* (Wiedemann)	21	4	292	317
III.- *Anopheles* (*Nyssorhynchus*)				
4.- *albimanus* (Wiedemann)	2	20	0	22
IV.-*Anopheles* (*Anopheles*)				
5.- *quadrimaculatus* (Say, 1824)	114	29	3	146
6.- *Walkeri* (Theobald, 1901)	1	0	1	2
V.- *Culex* (*Culex*)				
7.- *Coronator* (Dyar y Knab, 1906)	1	4	7	12
8.- *educator* (Dyar y Knab, 1906).	0	0	7	7
9.- *interrogator* (Dyar y Knab, 1906).	19	30	162	211
10.- *lactator* (Dyar y Knab, 1906).	0	0	1	1
11.- *quinquefasciatus* (Say, 1823).	5	20	80	105
VI.- *Culex* (*Melanoconion*)				
12.- *nigripalpus* (Theobald, 1901).	7	30	174	211
VII.- *Mansonia* (*Mansonia*)				
13.- *titillans* (Walker, 1848)	7	16	98	121
Total	228	156	881	1265

M: Macho. HNA: Hembra no alimentada. HA: Hembra alimentada.

Cuadro 2. Análisis comparativo de la capacidad vectorial de las especies de mosquitos capturadas (hembras) en casas donde viven perros infectados con *Dirofilaria immitis.*

Taxón	Interior	Exterior	Capacidad vectorial para filarias.
1.- *Aedes aegypti*	40	15	*Dirofilaria repens* (Talluri *et al.*, 1993). *D. immitis* experimentalmente (Brito *et al.*, 1999).
2.- *Aedes angustivittatus*	2	2	No reportada
3.- *Aedes taeniorhynchus*	36	260	*D. immitis*, incriminado como vector natural (Manrique-Saide *et al*., 2010).
4.- *Anopheles albimanus*	8	12	No reportada.
5.-*Anopheles quadrimaculatus*	16	16	*D. immitis*, alcanza todos sus estadios de desarrollo (Kutz y Dobson, 1974).
6.- *Anopheles walkeri*	0	1	No registrada
7.- *Culex coronator*	1	10	No registrada
8.- *Culex educator*	0	7	No registrada
9.- *Culex interrogator*	153	39	*D. immitis* (Manrique-Saide *et al.*, 2008)
10.- *Culex lactator*	0	1	No registrada
11.- *Culex quinquefasciatus*	20	80	*D. immitis* (Brito *et al.*, 1999), (Torres-Chable *et al*., 2018).
12.- *Culex nigripalpus*	135	69	No registrada
13.- *Mansonia titillans*	19	95	No registrada
Total	430	607	

Interior: Dentro de la casa. Exterior: Fuera de la casa.

El nematodo filaroideo *D. immitis*, es transmitido por algunas especies de mosquitos, que pueden alimentarse de caninos, felinos y ocasionalmente, de personas. Por lo tanto, conocer las especies involucradas en la transmisión del nematodo, es de importancia para implementar medidas de control integrales, que conduzcan a disminuir o evitar las infecciones tanto en perros domésticos como en personas. En el presente estudio, se realizaron colectas de mosquitos, exclusivamente en casas en donde viven perros positivos a *D. immitis*. A pesar de haber encontrado 13 especies diferentes de mosquitos coexistiendo en los sitios de muestreo, solamente 4 de estas especies han sido previamente reportadas como vectores de *D. immitis. Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus* fue la especie más abundante en las casas y más del 90% de las hembras se encontraron alimentadas, lo cual indica que en el ambiente doméstico o peri-doméstico, están encontrando su fuente de alimento (perros o humanos). Lo anterior cobra relevancia, debido a que esta especie ha sido incriminada como el principal vector de *D. immitis* en zonas costeras de Yucatán (Manrique-Saide *et al.*, 2008; 2010) Los mosquitos

Aedes (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus*, tienen alta afinidad para alimentarse de perros y se han encontrado todos los estadios (L_1, L_2 y L_3) en intestino, tórax y cabeza, respectivamente. Estas condiciones, lo han convertido en una especie reconocida como vector de *D. immitis* (Manrique-Saide *et al*., 2008). En la región de la Chontalpa y especialmente, en el municipio de Paraíso, Tabasco, se ha publicado previamente una alta prevalencia de *D. immitis* (focos de hasta 50%) en perros domésticos (Torres-Chable *et al*., 2018). Estos resultados sugieren que *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus* es el principal vector del nematodo en la zona estudiada. Resultados similares fueron también publicados en una zona de alta prevalencia en Brasil, en donde *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus*, *Culex quinquefasciatus* y *Aedes* (*Ochlerotatus*) *scapularis,* son considerados los vectores del nemátodo (Bendas *et al.*, 2019). El rango de infección calculado para *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus*, en los estudios llevados a cabo en México es de 10.3 y 6.2%, respectivamente (Manrique-Saide *et al.*, 2010), lo cual se considera un rango mínimo de infección (RMI) elevado.

Anopheles quadrimaculatus, ha sido considerado un hospedador de *D. immitis* desde hace mucho tiempo (Kutz y Dobson, 1974; Bradley y Nayar, 1987). Sin embargo, en un estudio reciente se reportó la ausencia de infecciones en esta especie, en una zona aparentemente endémica en donde se consideraba que *Anopheles quadrimaculatus*, era el principal vector. Lo anterior, deja dudas sobre la incriminación de esta especie como vector de *D. immitis*, por lo que estudios recientes empleando técnicas moleculares, deberán ser enfocadas en elucidar el papel de esta especie en la transmisión del nematodo.

Culex interrogator fue capturado en una buena cantidad en el presente estudio. Además, 162 hembras fueron encontradas alimentadas, indicando que está encontrando su fuente de alimento y sugiere que su fuente de alimento podrían ser tanto perros como personas. Sin embargo, en estudios previos no se han encontrado L_3 de *D. immitis* en tórax o cabeza de los mosquitos, por lo que se considera que el nematodo no completa su desarrollo en esta especie (Manrique-Saide *et al.*, 2008; 2010).

Aunque este estudio sugiere que *Aedes* (*Ochlerotatus*) *taeniorhynchus*, *Anopheles quadrimaculatus* y *Culex quinquefasciatus* son las especies vectores de *D. immitis* en la zona estudiada, basándose en reportes previos, estudios de biología molecular deberán llevarse a cabo en las especies de mosquitos capturadas, preferentemente diseccionando abdomen,

tórax y cabeza de los especímenes, con la finalidad de elucidar el desarrollo del nematodo en el mosquito y conocer las especies que juegan un verdadero papel como vectores del parásito.

Conclusiones

Trece diferentes especies de mosquitos fueron encontradas en las casas donde viven perros infectados con *D. immitis. Aedes (Ochlerotatus) taeniorhynchus, Anopheles quadrimaculatus y Culex quinquefasciatus*, son las especies que podrían jugar un papel como vectores del nemátodo en la zona estudiada. Se sugiere la identificación molecular de ADN del nemátodo en diferentes zonas anatómicas de los mosquitos, a fin de constatar su papel vectorial.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del Laboratorio de Enfermedades Tropicales y Transmitidas por vectores DACA-UJAT, por su apoyo en el trabajo de campo y de laboratorio.

Literatura Citada

Bendas, A.J.R., A.S. Branco, B.R.S.A. da Silva, J.P. Paiva, M.G.N. de Mirya, F. Mendes-de-Almeida. *et al.* 2019. Mosquito abundance in a *Dirofilaria immitis* hotspot in the eastern state of Rio de Janeiro, Brazil. Veterinary Parasitology: Regional Studies y Reports, 18, 100320.

Bowman, D., S.E. Little, L. Lorentzen, J. Shields, M.P. Sullivan and E.P. Carlin. 2009. Prevalence y geographic distribution of *Dirofilaria immitis*, *Borrelia burgdorferi*, *Ehrlichia canis*, y *Anaplasma phagocytophilum* in dogs in the United States: Results of a national clinic-based serologic survey. Veterinary Parasitology, 160, 138–148.

Bradley, T.J. and J.K. Nayar. 1987. An ultrastructural study of *Dirofilaria immitis* infection in the Malpighian tubules of *Anopheles quadrimaculatus.* The Journal of Parasitology, 73, 1035–1043.

Carpenter, J. and J. LaCasse. 1955. Mosquitoes of North America (North of Mexico). University of California Press, 1974. 360p.

Darsie Jr, R.F. and R.A. Ward. 1981. Identification and geographical distribution of the mosquitoes of North America, north of Mexico. Walter Reed Army Inst of Research Washington DC.

Ferreira, C.A.C., V. de Pinho Mixão, M.T.L.M. Novo, M.M.P. Calado, L.A.P. Gonçalves, S.M.D. Belo. *et al.* 2015. First molecular identification of mosquito vectors of *Dirofilaria immitis* in continental Portugal. Parasites & Vectors, 8, 139.

Genchi, C., L. Rinaldi, M. Mortarino, M. Genchi and G. Cringoli. 2009. Climate y *Dirofilaria* infection in Europe. Veterinary Parasitology, 163, 286–292.

INEGI, 2020. Instituto Nacional de Estadistica y Geografía-INEGI, Mexico.

Kutz, F.W. and R.C. Dobson. 1974. Effects of temperature on the development of *Dirofilaria immitis* (Leidy) in *Anopheles quadrimaculatus* Say[1] y on vector mortality resulting from this development[2,3]. Annals of the Entomological Society of America, 67, 325–331.

Labarthe, N. and J. Guerrero. 2005. Epidemiology of heartworm: What is happening in South America y Mexico?. Veterinary Parasitology, 133, 149–156.

Latrofa, M.S., F. Montarsi, S. Ciocchetta, G. Annoscia, F. Dantas-Torres, S. Ravagnan. *et al*. 2012. Molecular xenomonitoring of *Dirofilaria immitis* y *Dirofilaria repens* in mosquitoes from north-eastern Italy by real-time PCR coupled with melting curve analysis. Parasites & Vectors, 5, 76.

Lee, A.C.Y. and C.E. Atkins. 2010. Understying feline heartworm infection: disease, diagnosis, y treatment. Topics in Companion Animal Medicine, 25, 224–230.

Lu, T.-L., J.-Y. Wong, T.-L. Tan and Y.-W. Hung. 2017. Prevalence y epidemiology of canine y feline heartworm infection in Taiwan. Parasites & Vectors, 10, 484.

Manrique-Saide, P., M. Bolio-González, C. Sauri-Arceo, S. Dzib-Florez and A. Zapata-Peniche. 2008. *Ochlerotatus taeniorhynchu*s: A probable vector of *Dirofilaria immitis* in coastal areas of Yucatan, Mexico. Journal of Medical Entomology, 45, 169–171.

Manrique-Saide, P., J. Escobedo-Ortegón, M. Bolio-González, C. Sauri-Arceo, S. Dzib-Florez, G. Guillermo-May. *et al.* 2010. Incrimination of the mosquito, *Aedes taeniorhynchus*, as the primary vector of heartworm, *Dirofilaria immitis*, in coastal Yucatan, Mexico. Medical and Veterinary Entomology, 24, 456–460.

Morchón, R., E. Carretón, J. González Miguel and I. Mellado Hernández. 2012. Heartworm disease (*Dirofilaria immitis*) and their vectors in Europe – New Distribution Trends. Frontiers in Physiology, 3:196.

Torres-Chable, O., C. Baak-Baak, N. Cigarroa-Toledo, B. Blitvich, L. Brito-Argaez, Y. Alvarado-Kantun. *et al. 2*018. Molecular detection of *Dirofilaria immitis* in dogs y mosquitoes in Tabasco, Mexico. Journal of Vector Borne Diseases, 55, 151–158.

Zumaquero, J.L., F. Simón, E. Carretón, I. Hernández, C. Syoval Ruiz and R. Morchón García. 2020. Prevalence of canine y human dirofilariosis in Puebla, Mexico. Veterinary Parasitology. 282, 109098.

RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS DE BACTERIAS PRESENTES EN SEMEN POST CONGELADO DE GANADO BOVINO

Gema Zaharina Vidaca Valdez[1], Miguel Ángel Rodríguez Gaxiola[1], Soila Maribel Gaxiola Camacho[1], Higinio Cepeda Quintero[1], Claudia Leonor Barraza Tizoc[1], Octavio Maldonado Egure[1], Sonia Soto Rodríguez[2], Nohemí Castro del Campo[1], Jesús Daniel Solís Carrasco[1] e Idalia Enríquez Verdugo[1]*

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue identificar la resistencia a antibióticos de las bacterias presentes en el semen post congelado de bovinos, fue un estudio de tipo observacional, descriptivo, transversal y por conveniencia. Se obtuvieron 18 muestras de semen congelado de diferentes sementales de ganado bovino de los estados de Sinaloa y Durango. Se aislaron cepas bacterianas a partir de dichas muestras, se observó morfología macroscópica colonial, se les realizó tinción Gram y pruebas bioquímicas para su identificación y se detectó la resistencia a antimicrobianos utilizando el método de Kirby-Bauer de difusión en disco. Se aislaron 36 cepas bacterianas, estas se agruparon en 15, de las cuales 6 fueron Gram positivas, donde se identificaron a *Enterococcus* spp., *Bacillus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus* spp., *Aerococcus* spp., *Micrococcus* spp. y 9 fueron Gram negativas, las cuales se identificaron como *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Pseudomona* spp, *Acinetobacter* spp., *Serratia* spp., *Citrobacter* spp., *Proteus* spp., *Escherichia coli* y un cocobacilo Gram negativo. Tanto de las cepas Gram negativas como Gram positivas, 9 mostraron multirresistencia a más del 50% de los antibióticos probados (netilmicina, nitrofurantoina, penicilina, ampicilina, ceftriaxona, amikacina, gentamicina y dicloxacilina). La presencia de bacterias multirresistentes en semen post congelado indica una contaminación en el fluido y posibles implicaciones sanitarias en la reproducción bovina.

Palabras claves: reproducción, manejo sanitario, agentes contaminantes

[1] Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
[2] Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Mazatlán.

Introducción

En los últimos años, la práctica de inseminación artificial en bovinos ha ido en aumento, es por esto que la identificación y control de agentes bacterianos contaminantes del semen bovino, así como las técnicas de dilución y preservación de este, han sido objeto de numerosas investigaciones (Santos y Silva, 2020). La recolección de semen en especies de animales de granja no es un procedimiento estéril; en condiciones normales, no hay microorganismos en el semen, pero los contaminantes pueden ser introducidos al semen a través de la recolección, por una vagina, lubricante no estéril, etc (Hidalgo, 2015; Santos y Silva, 2020). Actualmente, se busca mejorar la calidad del semen congelado; un punto importante para incrementar este aspecto es la determinación de la cantidad de bacterias, género y especies ya que es conocido que al incrementarse la cantidad de UFC/ml la motilidad del espermatozoide tiende a disminuir y los microorganismos aislados del semen compiten con los espermatozoides por los nutrientes, además de producir sustancias metabólicas que tienen efectos adversos sobre la viabilidad de los espermatozoides (Morrell y Mayer, 2017). Aunado a esto, la resistencia a antimicrobianos es una situación preocupante ya que de acuerdo a la OIE (2016) este es un problema de alcance mundial que afecta tanto a la salud humana como a la sanidad animal y está influido por el uso desmedido de agentes antimicrobianos tanto en medicina humana como en veterinaria y en el ámbito fitosanitario. Existen diversos métodos para tratar de contrarrestar el desarrollo de microorganismos patógenos en el semen como el agregar antimicrobianos a los diluyentes seminales, pero este método se ha mostrado ineficaz para erradicar la carga bacteriana ya que diversos autores han reportado la presencia de estos agentes patógenos multirresistentes en el semen post congelación (Santos y Silva, 2020), como Andrabi *et al*. (2016) quienes encontraron *Staphylococcus aureus, Staphylococcus intermedius, Staphylococcus* coagulasa-negativa, *Staphylococcus epidermis, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa Pseudomonas putida, Pseudomonas testosteroni, Micrococcus* sp.*, Proteus mirabilis y Bacillus* sp.*,* dichos aislados mostraron resistencia a gentamicina, tilosina, lincomicina, espectinomicina y estreptomicina. Morales *et al*. (2013) reportaron presencia de *Pseudomonas* sp., *Micrococcus* sp., *Bacillus* no fermentadores, *Staphylococcus* sp., *Pasteurella* sp. en 34 pajillas de toros nuevos. Najee *et al*. (2012) aislaron *Stenotrophomonas maltophilia* y *Pseudomona aeroginosa*, a partir de 100 pajillas congeladas importadas, mientras

que Silveira y Machado (2005) reportaron presencia *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus coagulasa* negativa en semen congelado de 10 toros de la raza Holstein. Trujillo y Rivera (2002) aislaron *Escherichia coli*, *Proteus* spp. y *Klebsiella* spp., a partir de semen fresco, semen precongelado y post congelado de 2 toros. Hernández *et al*. (2002) aislaron *Staphylococcus epidermidis, Staphylococcus aureus, Serratia liquefaciens, Enterobacter hafniae y Proteus mirabilis*, a partir de 64 muestras de semen post congelado provenientes de 4 empresas dedicadas a la venta de semen y dichos aislados mostraron multirresistencia a la pefloxacina, ampicilina, cefotaxima y trimetoprim/sulfametoxazol. El objetivo del presente trabajo fue identificar la resistencia a antibióticos de las bacterias presentes en el semen post congelado de bovinos.

Materiales y Métodos

El presente es un estudio observacional, descriptivo, transversal y por conveniencia, se llevó a cabo en el municipio de Culiacán, Sinaloa. Se colectaron muestras de semen de 18 bovinos sementales de diversas razas provenientes de los estados de Sinaloa y Durango. El procesamiento de la muestra se llevó a cabo en el Laboratorio de Bacteriología y Micología, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

La metodología se dividió en dos etapas:

Etapa 1: Aislamiento de bacterias e identificación por pruebas bioquímicas. Para la identificación fenotípica colonial de la bacteria se tomó en cuenta el tamaño, textura, borde y color de la colonia; a partir de colonias macroscópicamente distintas se realizó tinción Gram y se observó al microscopio con el objetivo de 100 X para identificar la morfología microscópica (Bou *et al*., 2011). Las pruebas bioquímicas utilizadas para la identificación bacteriana fueron: agar de hierro y triple azúcar (TSI), agar de hierro y lisina (LIA), agar citrato de Simmons y sulfuro indol motilidad (SIM), prueba de oxidasa, catalasa, coagulasa y fermentación de manitol (Kaiser, 2017).

Etapa 2: Pruebas de inhibición *in vitro* utilizando el método de Kirby-Bauer de difusión en disco. Para la identificación de resistencia a antibióticos de las bacterias presentes en el semen de

ganado bovino, se realizaron los antibiogramas, para esto se sembró un inóculo en caldo de soya tripticaseína, después de 1 h de incubación a 37°C, se realizó la lectura en un espectrofotómetro para estimar el crecimiento bacteriano a una densidad óptica de 600 nm (0.08 a 0.1) hasta un patrón de 0.5 McFarland (1.5×108 UFC/ml); con un hisopo impregnado de la bacteria, se inoculó en agar Müeller-Hinton y se sembró mediante la técnica de esparcido en placa descrita por Ramírez *et al*. (2017). Después, se colocaron los discos con antibiótico (multibac ID) para Gram positivos y Gram negativos combinados y por último se incubó por 24 h a 37°C y los halos de inhibición se midieron con regla métrica en mm. La clasificación de cepas resistentes (R), resistentes intermedios (I), sensibles (S), se realizó con lineamientos del fabricante (Casillas *et al*., 2020; ID, 2020).

Resultados y Discusión

De las 18 muestras de semen post congelado de bovinos, 4 muestras estuvieron 100% libres de patógenos, mientras que, de las 14 muestras de semen restantes, se aislaron 36 cepas bacterianas; de las cuales 22 fueron aisladas de las muestras del estado de Sinaloa (cuadro 1) y 14 de las muestras provenientes del estado de Durango (Cuadro 2). Se agruparon en 15 cepas con base en las características morfológicas coloniales. Lo cual concuerda con Hernández *et al*. (2002) quienes llevaron a cabo la tinción de Gram para la identificación de bacterias aisladas a partir de 64 muestras de semen postcongelado provenientes de 4 empresas dedicadas a la venta de semen congelado mostrando cocos Gram positivos de tamaño uniforme en forma de racimos lo cual concuerda con la cepa 36 (cuadro 1) y bacilos Gram negativos lo que coincide con las cepas 3, 4, 6, 8,12, 13, 14, 16, 19, 28, 30 y 32 (cuadros 1 y 2), y con Goularte *et al*. (2020) quienes realizaron la tinción de Gram a 147 colonias distintas morfológicamente en las cuales observaron cocos Gram positivos lo cual concuerda con las cepas 5, 9, 17, 20, 25 (cuadro 1 y 2) y bacilos Gram negativos concordando así con las cepas 31 y 33 (cuadro 2).

Cuadro 1. Observación macroscópica, microscópica y reacción a la tinción Gram de las cepas aisladas a partir de semen postcongelado de bovinos del Estado de Sinaloa.

Muestra	Cepa	Características macroscópicas	Características microscópicas	Tinción Gram
1	1	Betahemolítica, grisácea verdosa, borde liso, redonda puntiforme	Bacilos	-
	2	Gama hemolítica apariencia seca blanquecina redonda puntiforme	Cocos	+
2	3	Betahemolítica apariencia mucosa grisácea	Bacilos	-
3	4	Amarillenta mucosa redonda borde liso	Bacilos	-
	5	Gama hemolítica blanquecina rosácea mucosa, ondulada fusiforme	Cocos	+
	6	Amarillenta mucosa redonda borde liso	Bacilos	-
	7	Grisácea crema consistencia mucosa	Bacilos	-
	8	Betahemolíticas verdosa opaca	Bacilos	-
	9	Rosácea mucosa	Cocos	+
	10	Grisácea mucosa crema	Bacilos	+
	13	Betahemolítica verdosa grisácea mucosa	Bacilos	-
4	11	Betahemolítica grisácea verdosa 2-3 mm redonda convexa	Bacilos	-
	12	Betahemolítica verdosa grisácea mucosa	Bacilos	-
8	18	Puntiforme rosácea crema redonda	Bacilos	-
	19	Betahemolítica pálida verdosa amarilla	Bacilos	-
	20	Redonda amarillenta cremosa borde definido	Cocos	+
	21	Gama hemolítica plana lobulado blanco lechosa	Bacilos	-
9	22	Blanquecino borde lisa plana	Cocos	+
	23	Puntiforme blanquecina plana	Cocos	+
10	24	Blanquecino borde liso plana	Cocos	+
	25	Blanquecina rosácea mucosa ondulada	Cocos	+
	26	Betahemolítica grisácea verdosa 2-3 mm redonda convexa	Bacilos	-

Cuadro 2. Observación macroscópica, microscópica y reacción a la tinción Gram de las cepas aisladas a partir de semen postcongelado de bovinos del Estado de Durango.

Muestra	Cepa	Características macroscópicas	Características microscópicas	Tinción Gram
5	14	Grisácea plana ondulada	Bacilos	-
	15	Plana lobulada blanca lechosa	Bacilos	+
6	16	Betahemolítica verdosa redonda	Bacilos	-
	17	Betahemolítica amarillenta verdosa	Cocos	+
14	27	Puntiforme amarillenta cremosa	Bacilos	-
	28	Betahemolítica verdosa oscura	Bacilos	-
15	29	Puntiforme menos de 1 mm de diametro transparente	Cocos	+
	30	Betahemolítica verdosa oscura	Bacilos	-
	31	Puntiforme redonda convexa amarillo vivo	Bacilos	-
16	32	Puntiforme blanquecina grisácea convexa redonda	Bacilos	-
	33	Puntiforme redonda convexa amarillo vivo	Bacilos	-
17	34	Betahemolítica grisácea verdosa 2-3 mm redonda convexa	Bacilos	-
	35	Gama hemolítica puntiforme redonda transparente menos de 1 mm de diámetro	Cocobacilos	-
	36	Puntiforme convexa menos de 1 mm de diametro	Cocos	+

Las cepas aisladas se identificaron con base a las pruebas bioquímicas donde las cepas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 pertenecen a Gram positivos y a los géneros *Enterococcus* spp, *Bacillus* spp., *Staphylococcus aureus, Aerococcus* spp., *Staphylococcus* spp. y *Micrococcus* spp., mientras que a las cepas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se detectaron como Gram negativas y se clasificaron como *Enterobacter* spp., *Pseudomona* spp., *Acinetobacter* spp., *Serratia* spp., *Citrobacter* spp., *Proteus* spp., *Klebsiella* spp., *Escherichia coli* y un cocobacilo Gram negativo, respectivamente (Cuadros 3 y 4). La presencia de bacterias en semen post congelado concuerda con Goularte *et al*. (2020) quienes aislaron *Aeromonas* spp., *Enterobacter* spp., *Enterococcus* spp., *Escherichia coli*, *Staphylococcus* sp., *Aerococcus*, spp *Pseudomonas* spp. y *Rhizobium* spp., a partir de 35 pajillas, donde identificaron a los aislados, utilizando el sistema automatizado compacto Vitek 2 (BioMérieux®), siguiendo las instrucciones del fabricante al igual que concuerda con Panchal *et al.* (2012), los cuales, realizó la identificación bacteriana a partir de muestras de semen de toro fresco y post congelado, a través de pruebas bioquímicas

como TSI, rojo de metilo, prueba de Voges-Proskauer, producción de indol, utilización de citrato como única fuente de carbono, ureasa y catalasa, estas bacterias fueron identificadas como *Micrococcus luteus*, *Pseudomona aeroginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris* y *Enterobacter* spp y con Patel *et al*. (2011) quienes aislaron *Staphylococcus aureus*, *Pseudomona aeruginosa* y *Proteus vulgaris* en un trabajo donde se detectó la carga bacteriana a partir de 20 pajillas de semen post congeladas, tipo francesas, dichas muestras fueron tomadas al azar de un banco de semen, la identificación se llevó a cabo mediante pruebas bioquímicas como TSI, rojo de metilo, prueba de Voges-Proskauer, producción de indol, utilización de citrato como única fuente de carbono, ureasa y catalasa.

Cuadro 3. Identificación de bacterias Gram positivas aisladas de semen postcongelado de bovinos por pruebas bioquímicas.

Prueba bioquímica	1	2	3	4	5	6
	***Enterococcus* spp.**	***Bacillus* spp.**	***Staphylococcus aureus***	***Aerococcus* spp.**	***Staphylococcus* spp.**	***Micrococcus* spp.**
Catalasa	+	+	+	+	+	+
Sulfuro	-					-
Indol	-					-
Motilidad	+					+
Citrato de Simmons	-					-
Agar Triple Azúcar	K/N					K/N
Agar Hierro Lisina	N/N					N/N
Gelatina Nutritiva	+					+
Sal y manitol	-	-	+	+	-	-

K-Alcalino. A-Ácido. N-Neutro. + Positivo - Negativo.

Salud Animal, Diagnóstico, Control y Epidemiología

Cuadro 4. Identificación de bacterias Gram negativas aisladas de semen postcongelado de bovinos por pruebas bioquímicas.

Prueba bioquímica	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Enterobacter spp.	*Pseudomona* spp.	*Acinetobacter* spp.	*Serratia* spp.	*Citrobacter* spp.	*Proteus* spp.	Klebsiella spp.	Escherichia coli	Cocobacilos
Catalasa	+	-	-	-	-	+	-	+	+
Sulfuro	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Indol	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Motilidad	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Citrato de Simmons	-	-	+	+	+	-	+	-	-
Agar Triple Azúcar	K/N	N/N	K/N	K/N	K/N	A/A	K/N	A/A	N/N
Agar Hierro Lisina	N/N	N/N	N/A	N/N	N/N	A/N	N/N	K/N	K/N
Gelatina Nutritiva	+	-	+	+	+	+	-	-	+

K-Alcalino. A-Ácido. N-Neutro. + Positivo - Negativo.

Además de las pruebas bioquímicas, se corroboró la identificación de las cepas mediante el software ABIS online – Bacterial identification.

La cepa 1 identificada como *Enterococcus* spp mostró multirresistencia a netilmicina, gentamicina, amikacina, penicilina, ampicilina, dicloxacilina, nitrofurantoina, cefotaxima, cefalotina y ceftriaxona, la cepa 2 identificada como *Bacillus* spp, mostró multirresistencia a netilmicina, gentamicina, nitrofurantoina, penicilina, ampicilina, dicloxacilina y ceftriaxona, mientras que la cepa 3 identificada como *Staphylococcus aureus* mostró multirresistencia a penicilina, ampicilina, dicloxacilina, ceftriaxona y cefalotina y la cepa 4 identificada como *Aerococcus* spp. mostró multirresistencia a netilmicina, gentamicina, penicilina, ampicilina, dicloxacilina, cefotaxima, cefalotina, ceftriaxona y sulfametoxazol. Por otro lado, la cepa 5 identificada como *Staphylococcus* spp. demostró multirresistencia a netilmicina, amikacina, gentamicina, nitrofurantoina, penicilina, ampicilina, dicloxacilina, ceftriaxona, cefotaxima, y sulfametoxazol, la cepa 6 identificada como *Micrococcus* spp. mostró resistencia a netilmicina, amikacina, gentamicina, sulfametoxazol, ampicilina y dicloxacilina, la cepa 7 identificada como *Enterobacter* spp. presentó sensibilidad al 100% de los antibióticos probados, mientras que la

cepa 8 identificada como *Pseudomona* spp. mostró multirresistencia a netilmicina, amikacina, cloranfenicol, penicilina, ampicilina, dicloxacilina, cefalotina y cefotaxima y la cepa 9 identificada como *Acinetobacter* spp penicilina, ampicilina, dicloxacilina y cefalotina. La cepa 10 identificada bioquímicamente como *Serratia* spp., mostró multirresistencia a netilmicina, gentamicina, nitrofurantoina, penicilina, cefalotina y ceftriaxona, la cepa 11 identificada como *Citrobacter* spp. mostró multirresistencia a netilmicina, amikacina, gentamicina, nitrofurantoina, cloranfenicol, ampicilina y cefalotina, la cepa 12 identificada como *Proteus* spp. al igual que la cepa 7, mostró sensibilidad al 100% de los antibióticos probados, la cepa 13 identificada como *Klebsiella* spp presentó multirresistencia a netilmicina, amikacina, gentamicina, nitrofurantoina, penicilina, ampicilina, dicloxacilina cefotaxima, ceftriaxona y cefalotina, la cepa 14 identificada bioquímicamente como *Escherichia coli* mostró multirresistencia a netilmicina, amikacina, gentamicina, cefalotina y dicloxacilina, por último la cepa 15, cocobacilos Gram negativos, presentó sensibilidad a nitrofurantoina, cloranfenicol, cefotaxima, ceftriaxona, amikacina, gentamicina y sulfametoxazol, sensibilidad intermedia a netilmicina y resistencia a penicilina, ampicilina, cefalotina y dicloxacilina (cuadro 5). Lo cual concuerda con Goularte *et al*. (2020) los cuales aislaron *Aeromonas* spp., *Enterobacter* spp., *Enterococcus* spp., *Escherichia coli*, *Staphylococcus* sp., *Aerococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Rhizobium* spp., a partir de 35 pajillas, dichos aislados mostraron resistencia a penicilina, y sensibilidad a gentamicina y estreptomicina/lincomicina. Andrabi *et al*. (2016), quienes encontraron *Staphylococcus aureus, Staphylococcus intermedius, Staphylococcus* coagulasa-negativa, *Staphylococcus epidermis, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas putida, Pseudomonas testosteroni, Micrococcus* sp., *Proteus mirabilis y Bacillus* sp., dichos aislados mostraron resistencia a gentamicina, tilosina, lincomicina, espectinomicina y estreptomicina. Por otro lado concuerda con lo reportado por Chipana (2014) donde encontraron la misma resistencia a gentamicina por parte de aislados de *Pseudomona* aeruginosa, difiriendo con el presente trabajo pues se presentó sensibilidad a dicho antimicrobiano, mientras que concuerda parcialmente con Hernández *et al*. (2002) los cuales aislaron *Serratia* spp. y *Staphylococcus aureus*, dichos aislados fueron resistentes a la pefloxacina, ampicilina, cefotaxima y trimetoprim/sulfametoxazol, mientras que demostraron sensibilidad a la cefuroxima y amikacina y con Trujillo y Rivera (2002) quienes aislaron *Proteus* spp., *Klebsiella* spp. y dichos aislado presentaron sensibilidad a gentamicina, tilosina y lincomicina.

Cuadro 5. Resistencia antimicrobiana de cepas aisladas de semen post congelado de bovinos.

Ant	Conc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NET	30 µg	R	R	S	S	R	R	S	R	S	R	R	S	R	R	I
NF	30 µg	R	R	S	S	R	S	S	S	S	R	R	S	R	S	S
PE	10 U	S	R	S	R	R	S	S	R	S	R	S	S	R	S	R
CL	30 µg	R	S	S	S	S	S	S	R	S	S	R	S	S	S	S
AM	10 µg	R	R	S	R	R	R	S	R	R	S	R	S	R	S	R
CFX	30 µg	R	R	S	R	S	S	S	R	R	I	S	S	R	S	S
CF	30 µg	R	R	S	R	R	S	S	R	R	R	R	S	R	R	R
CTX	30 µg	R	R	S	S	R	S	S	S	S	R	S	S	R	S	S
AK	30 µg	R	R	S	S	R	R	S	R	S	S	R	S	R	R	S
GE	10 µg	R	R	S	S	R	R	S	S	S	R	R	S	R	R	S
STX	25 µg	S	R	S	S	R	R	S	S	S	S	S	S	S	I	S
DC	1 µg	R	R	S	R	R	R	S	R	S	S	S	S	R	R	R

Net: Netilmicina, N: Nitrofurantoina, PE: Penicilina, CL: Cloranfenicol, AM: Ampicilina, CFX: Cefotaxima, CF: Cefalotina, CTX: Ceftriaxona, AK: Amikacina, GE: Gentamicina, STX: Sulfametoxazol, DC: Dicloxacilina. R: Resistente <12 mm, I: Intermedio 13-16 mm, S: Sensible >30 mm.

Conclusiones

Las bacterias patógenas y comensales aisladas e identificadas bioquímicamente de semen postcongelado de bovinos de Sinaloa y Durango, está representada por 15 grupos de cepas bacterianos, donde las bacterias Gram positivas fueron *Enterococcus* spp., *Bacillus* spp., *Staphylococcus aureus, Aerococcus* spp., *Staphylococcus* spp. y *Micrococcus* spp. y por Gram negativas *Enterobacter* spp., *Pseudomona* spp., *Acinetobacter* spp., *Serratia* spp., *Citrobacter* spp., *Proteus* spp., *Klebsiella* spp., *Escherichia coli* y un cocobacilo Gram negativo. Esto indica una contaminación en el fluido y puede ser debido una contaminación en su recolección por el mal manejo del semen en el proceso de congelación o bien, los sementales presentan enfermedades asintomáticas causadas por bacterias. La presencia de multirresistencia a antibióticos observada en la mayoría de las cepas conlleva a un problema con la administración de los antibióticos probablemente indiscriminada en las explotaciones, implicándose posiblemente en enfermedades en la reproducción bovina de tipo sanitario, por lo cual es necesario explorar alternativas al uso de los antibióticos.

Agradecimientos

A Conacyt por el financiamiento para la realización del trabajo anteriormente descrito, al Colegio de Ciencias Agropecurias y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) Unidad Mazatlán, Sinaloa.

Literatura Citada

Andrabi, S. M. H., L.A. Khan. and M. Shahab. 2016. Isolation of bacteria in semen and evaluation of antibiotics in extender for cryopreservation of buffalo (*Bubalus bubalis*) bull spermatozoa. Andrologia 48(10):1166–1174. Doi:10.1111/and.12555

Bou G., A. Fernández O., C. García., J.A. Sáez N. y S. Valdezate. 2011. Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología. Enferm Infec Microbiol Clin. 29:601-608. http://doi.10.1016/j.eimc.2011.03.012

Casillas, N., S. Mendoza. y A. Flores. 2020. Procedimientos de Microbiología Médica Diagnóstica (1.a ed.). McGraw-Hill.

Goularte, K. L., F. L. S. Voloski., J.F. M. Redú., C.E.R. Ferreira., A.D. Vieira., E.H. Duval. *et al*. 2020. Antibiotic resistance in microorganisms isolated in a bull semen stud. Reproduction in Domestic Animals 55(3):318–324. Doi:10.1111/rda.13621

Hernández, P. J. E., R.F. Fernández., C.C. González. y R.Y. Gutiérrez. 2002. Estudio bacteriológico y antibiograma de semen descongelado de bovino. Revista de Salud Animal 24(3):191.

Hidalgo, G. C. 2015. Reproducción de animales domésticos (3.a ed.). LIMUSA.

I.D Multibac. 2020. Investigación Diagnóstica.

Kaiser G.E. Microbiology Laboratory Manual. 2017. The Community College of Baltimore County, Catonsville Campus. UK. http://faculty.ccbcmd.edu/~gkaiser/

Morales, S., C. D.G. Pantoja. y N. Solís. 2013. Evaluación de la carga bacteriana en pajillas de semen congelado de toros del banco nacional de semen. Científica 120(1):28–36.

Morrell J.M. and I. Mayer. 2017. Reproduction biotechnologies in germplasm banking of livestock species: a review. Zygote 25(5):545-57. Doi:10.1017/S0967199417000442. PMid:28835292.

Najee, H., A. Al-Shawii., and L. al Rahman. 2012. Bacterial Contamination of Imported Bulls Frozen Semen. Al-Anbar Journal of Veterinary Sciences *5*(1):54–62.

OIE. 2016. Estrategia de la OIE sobre la resistencia a los agentes antimicrobianos y su uso prudente.https://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Media_Center/docs/pdf/PortalAMR/ES_OIE-AMRstrategy.pdf

Panchal, S., V. Pathak. and R. Patel. 2012. Estimation of microbial load and their biochemical properties in frozen semen of murrah buffalo bulls (*bubalus bubalis*). Wayamba Journal of Animal Science 3(2):63–74.

Patel, H., R. Patel., and J. Chauhan. 2011. Biochemical properties of microbial load in frozen semen of cattle. Wayamba Journal of Animal Science 6(2)1:42–48.

Ramírez S, J. A., V. J. A. Parra., J. A. y A. Alvarez A. 2017. Análisis de técnicas de recuento de Microorganismos. Mente Joven 6:01–08. Doi:10.18041/2323-0312/mente_joven.0.2017.3665.

Santos, C. S. and A.R. Silva. (2020). Current and alternative trends in antibacterial agents used in mammalian semen technology. Animal Reproduction *17*(1):1-17. https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar2019-0111

Silveira, E. y R. Machado, R. 2005. Flora bacteriana del semen de toro antes y después de la congelación. REDVET VI(10):1-9.

Trujillo, L. y M. Rivera. 2002. Estudio comparativo de dos tratamientos con antibióticos sobre la calidad bacteriológica y espermática del semen bovino. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 55(1):1457–1472.

FACTORES EPIDEMIOLÓGICOS ASOCIADOS A INFECCIONES CAUSADAS POR *Anaplasma phagocytophilum* EN PERROS DE TABASCO, MEXICO

Maritza Zaragoza Vera[1], Oswaldo Margarito Torres Chable[1], Guadalupe Arjona Jiménez[1] y Claudia Virginia Zaragoza Vera[1*]

Resumen

Anaplasma phagocytophilum es una bacteria que infecta a una amplia variedad de animales entre los que destaca el perro doméstico y ocasionalmente, el ser humano. El objetivo del presente estudio fue demostrar la presencia y calcular la prevalencia de *A. phagocytophilum* en sangre de perros domésticos de la subregión Centro del estado de Tabasco. Un total de 207 muestras de sangre de perros fueron procesadas para la extracción de ADN mediante la técnica de salting-out y posteriormente, evaluados mediante los cebadores E1 y E2 que amplifican un producto de 262pb del gen 16 s rRNA en todas las especies de *Anaplasma* y los cebadores específicos MSP465f y MSP 980r del gen MSP2 que amplifica un producto de 550 pb de *A. phagocytophilum.* No se encontraron resultados positivos a la infección de *A. phagocytophilum* en las muestras de sangre de perros domésticos colectados en la subregión Centro del estado de Tabasco. Por tal motivo, no fue posible establecer la prevalencia y los factores de riesgo asociados a la infección. En futuros estudios deberán considerarse otras regiones del Estado, incrementar el número de animales muestreados o probablemente estudiar perros sin dueño o en situación de calle que pudieran estar más expuestos a la infección.

Palabras clave: vectores, enfermedades tropicales, garrapatas

[1] Division Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 25, Carretera Villahermosa-Teapa, R/a La Huasteca 2ª. Sección, C.P. 86298 Villahermosa, Tabasco, México. *claudia.zaragoza@ujat.mx

Introducción

En la última década se ha reportado la aparición y reaparición de enfermedades rickettsiales trasmitidas por garrapatas (TBD por sus siglas en ingles). Estas se consideran infecciones zoonóticas causadas por géneros del orden Rickettsiaceae, principalmente: *Anaplasma phagocytophilum*, *Rickettsia rickettsii, Ehrlichia chaffeensis* y *Ehrlichia canis* convirtiéndose en un problema en la salud pública y veterinaria (Sosa *et al*., 2014).

Anaplasma phagocytophilum es una bacteria gram-negativa, intracelular obligada, pleomórfica perteneciente a la familia *Anaplasmataceae* que invade principalmente neutrófilos y eosinófilos de hospederos mamíferos incluido el perro y el hombre, ocasiona una enfermedad aguda y febril (Carrade *et al*., 2009; Seo *et al.*, 2018). Este organismo mantiene un ciclo biológico que involucra mamíferos silvestres y domésticos que actúan como reservorios (Chapman *et al*., 2006). La epidemiologia de esta enfermedad refleja una distribución directamente relacionada con la distribución de las garrapatas duras del género *Ixodes,* consideradas su principal vector (Dantas *et al.*, 2012; Chirek *et al*., 2017). Sin embargo, se ha reportado que puede infectar otras especies de garrapatas (Sosa *et al.,* 2016). Los signos clínicos en los perros incluyen fiebre, letargo e hiporexia, así como claudicación, polidipsia, anemia, vómito, diarrea, hemorragias, esplenomegalia y linfoadenomegalia. Los cuadros clínicos se presentan de leves a severos (Carrade *et al.*, 2009; Lee *et al*., 2017).

A. phagocytophilum era conocida anteriormente como *Ehrlichia equi* o *Ehrlichia phagocytophila.* Fue identificada por primera vez como agente infeccioso en caninos de California en 1982 (Madewell y Gribble, 1982). Posteriormente, se reportó Anaplasmosis Granulocítica en Humanos (AGH) en los Estados Unidos de América en 1993 (Chen *et al*., 1994; Carrade *et al.*, 2009). Desde entonces ha sido reportada en todo el mundo (Stuen *et al.*, 2013). En Europa, se han reportado casos de Anaplasmosis Granulocítica Canina (AGC) en Francia, Alemania, Austria, Italia, España y Portugal (Chirek *et al.*, 2017). En Asia varios estudios informaron la presencia de *A. phagocytophilum* en Corea (Han *et al.*, 2018), China (Cui *et al.*, 2017) y Japón (Ybañez y Inokuma, 2016). La infección se ha reportado con menor frecuencia en América del sur en países como Colombia, Venezuela, Paraguay, Argentina y Costa Rica (Dumler, 2013).

En los Estados Unidos de Norteamérica (EUA) se considera un problema de salud reemergente debido a que fueron reportados 1761 casos de AGH en el 2010 (Seo *et al*., 2018). En México ha sido también reportada la presencia de la bacteria. Sosa *et al* (2016) reportaron la presencia de *A. phagocytophilum* en garrapatas recolectadas de bosques, parques ecoturísticos y hospedadores (incluidas personas). Otros estudios en México también han reportado la presencia de anticuerpos contra *A. phagocytophilum* en perros del estado de Nuevo León (Salinas *et al*., 2014) y evidencia molecular de su presencia fue reportada en zarigüeyas y perros muestreados en el estado de Campeche con prevalencias de 3 y 27%, respectivamente (Rojero *et al.*, 2017).

Un estudio retrospectivo realizado en 2015 reportó una incidencia de 26% de AGH en 150 muestras de pacientes pediátricos identificadas por PCR. Los datos reportaron una estrecha asociación entre las infecciones y el contacto cercano con perros, destacando así el riesgo potencial para la salud de los humanos (Ogaz, 2015).

A pesar de que los datos indican que la incidencia y prevalencia de la AGC se ha incrementado en los últimos años, la información de este patógeno en México es escasa. Probablemente, debido a diagnósticos erróneos, y a que la infección por *A. phagocytophilum* presenta signos clínicos generales, que la asemeja con otras enfermedades febriles o bien pudiera pasar como una infección subclínica. La estrecha relación de los perros con la población humana representa un factor de riesgo, debido a que pueden infectarse de forma subclínica y actuar como reservorios (Movilla *et al.*, 2016).

En el estado de Tabasco no se ha realizado ningún estudio sobre la prevalencia de *A. phagocytophilum* en la población canina. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la prevalencia de *A. phagocytophilum* en caninos de la subregión Centro del estado de Tabasco, así como identificar los factores de riesgo que favorecen la presencia de este patógeno en los perros.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Subregión Centro del estado de Tabasco, ubicada a 17°99' latitud Norte y 92°95' longitud oeste. En la Subregión Centro se incluye la ciudad de Villahermosa capital del estado de Tabasco, en el sureste de México. La temperatura anual promedio es de 26°C y presenta precipitación pluvial todo el año (INEGI, 2020).

Tamaño de muestra y diseño de muestreo

Para el desarrollo del presente estudio se muestrearon perros pertenecientes a la Subregión Centro del Estado. Dos criterios de inclusión fueron tomados en cuenta en el estudio: 1) Se muestrearon únicamente perros con dueño (con la finalidad de recabar los datos que serán utilizados para determinar los factores de riesgo), y 2) El consentimiento de los dueños de las mascotas para colaborar con la donación de muestras de sangre de sus perros. Las especificaciones con respecto al desarrollo del estudio fueron notificadas previamente a los dueños de los perros mediante una carta de consentimiento informado.

El tipo de muestreo a emplear fue un muestreo estratificado con asignación proporcional. Para determinar el tamaño de muestra de la población canina se utilizó el Censo Canino 2014 (único disponible en la Secretaría de Salud del estado de Tabasco) en el cual se indica una población total 261,930 perros. Se utilizó una prevalencia esperada del 50%, debido que se desconoce este dato en el lugar de estudio y este valor se considera el más conservador. Se utilizó la fórmula para determinación del tamaño de muestra en poblaciones finitas y conocidas de acuerdo a Murray y Larry, (2020). Sustituyendo los valores obtenemos una población de 1,302 perros para todo el Estado. Mediante una asignación proporcional se obtuvo que para la subregión del Centro se requirió muestrear un total de 332 perros.

Determinaciones a realizar en los perros

Toma de muestra de sangre para la identificación de *A. phagocytophilum* en perros. Las muestras de sangre de los perros se obtuvieron de la vena cefálica, con aguja Vacutainer® y fueron depositadas en tubos de 4 ml con EDTA. Posteriormente, las muestras fueron identificadas utilizando números consecutivos y conservadas en refrigeración durante su transporte al Laboratorio de Enfermedades Tropicales y Transmitidas por Vectores de la

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en donde serán almacenadas a -20ºC hasta su procesamiento.

Extracción de ADN genómico para la identificación de *A. phagocytophilum*. Para llevar a cabo la extracción 100 µl de sangre anti-coagulada se resuspendieron en 180 µl de solución de lisis de eritrocitos (Tris-HCl 10 mM pH 8,0, Triton X - 100 al 1% y sacarosa al 11%), la mezcla se incubó cinco minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, la mezcla fue centrifugada a 18,000 x g durante cinco minutos y se decantó el sobrenadante, este paso fue repetido tres veces para lisar por completo células sanguíneas y eliminar la hemoglobina.

Después, 60 µl de solución de lisis de leucocitos (Tris-HCl 10 mM pH 8.0, NaCl 400 mM y EDTA 2 mM), 10 µl de solución de proteinasa K (proteinasa K 1 mg / ml, SDS al 1% y EDTA 2 mM) y 2 µl de SDS al 20% fueron añadidos a la muestra. La mezcla se incubó a 65°C por una hora. Posteriormente, se le adicionaron 30 µl de acetato de potasio y la muestra se incubó en hielo húmedo durante 30 minutos. Terminada la incubación, la mezcla fue centrifugada a 18,000 x g durante quince minutos y el sobrenadante se recuperó y fue colocado en un nuevo tubo de serología (Eppendorf® de 1.5ml). Posteriormente, se agregaron 200 µl de isopropanol absoluto y se dejó precipitar el ADN durante toda la noche.

Al día siguiente, la muestra fue centrifugada a 18,000 x g durante 15 minutos y se decantó el isopropanol sobrenadante. Después se adicionaron 200 µl de etanol al 70% y posteriormente, la muestra fue centrifugada a 18,000 x g durante 15 minutos y el etanol fue desechado. El ADN obtenido se secó durante 30 minutos y posteriormente fue resuspendido, usó 50 µl de solución de TE (10 mM Tris-HCl, EDTA 1 mM, pH 8.0) este método de extracción fue estandarizado y tomó como base diferentes literaturas basadas en extracción de ADN mediante la técnica de Salting-out (Howly, 1996; Sambrook y Russel, 2001; Nasiri *et al.*, 2005).

Cebadores y reacción de PCR para identificar *Anaplasma phagocytophilum* en ADN genómico procedente de sangre de perros. Se utilizaron dos diferentes pares de cebadores uno para la identificación de género (E1, E2) creados partir de una región conservada del gen 16 s rRNA y el segundo par de cebadores para la identificación de especie (MSP465f y MSP980r) originado de una región conservada del gen Msp2. En el Cuadro 1 se observan los cebadores utilizados, el gen de origen, la secuencia de cada cebador, el microorganismo del cual fue obtenida la secuencia y el tamaño del amplicón esperado.

Cuadro 1. Cebadores utilizados durante el estudio.

Gen	Primer	Secuencia	Microorganismo	Amplicón
16 s rRNA	E1	GGC ATG TAG GCG GTT CGG TAA GTT-	*Phagocitophylla* genogroup	262pb
	E2	CCC CAC ATT CAG CAC TCA TCG TTT A-		
Msp2	MSP465f	Forward: 5′ TGATGTTGTTACTGGACAGA 3′	*Anaplasma phagocytophillum*	550pb
	MSP980r	Reverse: 5′ CACCTAACCTTCATAAGAA 3′		

(Caspersen *et al*., 2002).

La reacción de PCR se llevó a cabo utilizó las siguientes condiciones: 94°C durante 2 min, 2 ciclos de 94°C durante 30 s, 62°C durante 30 s y 72°C durante 30 s, 2 ciclos de 94°C durante 30 s, 60°C durante 30 s y 72°C durante 30 s, 2 ciclos de 94°C durante 30 s, 58°C durante 30 s y 72°C durante 30 s, 2 ciclos de 94°C durante 30 s, 56°C durante 30 s y 72°C durante 30 s, 26 ciclos de 94°C durante 30 s, 54°C durante 30 s y 72°C durante 30 s y finalmente 72°C durante 5 min. Se realizaron electroforesis en gel de agarosa y se tiñeron con Saber safe® para asegurar la visualización de un fragmento de ADN de aproximadamente 550 pb.

Determinación de la prevalencia de *A. phagocytophilum* en los perros muestreados

Para determinar la prevalencia de perros infectados se aplicó la fórmula general de prevalencia:

$$P_t = \frac{C_t}{N_t}$$

Donde: P_t es la prevalencia estimada en el tiempo justo que se realizó el estudio, C_t es el número total de casos que resultaron positivos durante ese período y N_t es el número total de individuos estudiados durante ese período de tiempo (Mateu y Casal, 2003).

Determinación de factores asociados a la infección de *A. phagocytophilum* en perros

Para determinar los factores asociados a las infecciones de *A. phagocytophilum* en los perros se realizó una encuesta a los dueños, con el fin de obtener datos relacionados con sus mascotas. Los datos fueron capturados inicialmente mediante la hoja de encuesta y posteriormente digitalizados en una hoja de cálculo de Excel para su análisis estadístico.

Análisis estadístico para identificar factores asociados a la infección de *A. phagocytophilum* en los perros muestreados. Los análisis estadísticos fueron planteados para calcularse con el programa IBM SPSS versión 22® (IBM Corporation, Armonk, NY). Con las variables consideradas posibles factores asociados a la infección de *A. phagocytophilum* en perros, se realizaría un modelo de regresión logística binomial, para explicar la presencia o ausencia de perros infectados. Para seleccionar las variables a incluir en el modelo, inicialmente se realizó un análisis de regresión logística univariado, para explorar la posible asociación entre cada una de las variables independientes y la presencia o ausencia de infecciones en los perros. Se consideraron significativas aquellas con valor de $P< 0.05$.

Una vez seleccionadas las variables independientes se realizaron diversos ensayos para elegir el método de entrada al programa estadístico (IBM SPSS versión 22) que más se adecuo. El nivel de confianza fue de 95%, se calcularon los Odds Ratio y se consideraron significativos los valores de $P< 0.05$

Resultados y Discusión

Se tomaron un total de 207 muestras de sangre de perros colectadas al azar en la subregión Centro del estado de Tabasco. A pesar de no haber alcanzado el número total de muestras planteado se decidió finalizar con la etapa de muestreos al inicio de la pandemia con la finalidad de evitar la exposición del personal de trabajo de campo. Se realizó la extracción de ADN de las muestras obtenidas y se cuantificó la cantidad y calidad del mismo empleando un Nanodrop® (Thermo Fisher Scientific, USA, Massachusetts).

Se procedió a la realización de las PCRs empleando primero el cebador para identificar el género *Phagocitophylla.* Sin embargo, ninguna de las muestras amplificó (Figura 1).

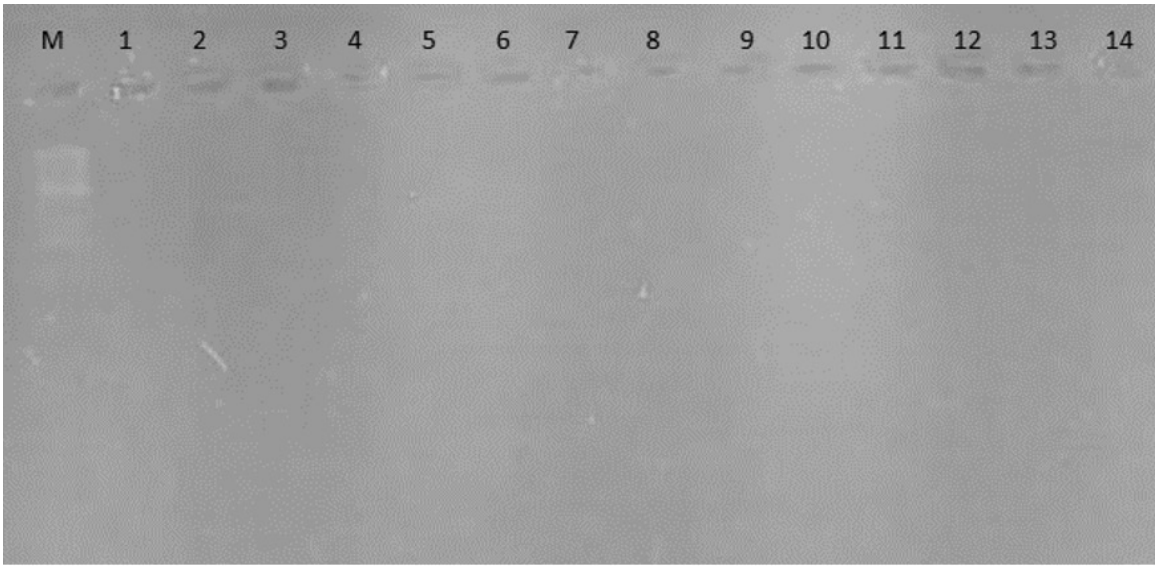


Figura 1.- Resultados de las PCRs realizadas para la identificación de *A. phagocytophilum* en muestras de sangre de perros de la Subregión Centro, del estado de Tabasco. M: Marcador molecular. 1-14: Muestras.

No obstante, se decidió realizar también el empleo del cebador específico para *Anaplasma phagocytophilum.* Sin embargo, ninguna de las muestras obtenidas amplificó, por lo que la prevalencia de *A. phagocytophillum* fue de 0%. Debido a la usencia de la infección en la población estudiada no fue factible realizar las demás determinaciones establecidas en el presente estudio

En la práctica de la clínica de pequeñas especies es común encontrar casos de *A. phagocytophilum* diagnosticados mediante kits serológicos, especialmente el SNAP 4dx (IDEXX® Laboratories, Inc., Westbrook, ME); los estudios han reportado que en la zona sureste del país (Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo) se presenta una seroprevalencia de 11% de *Anaplasma spp* (Movilla *et al.*, 2016; Liu *et al.,* 2018). Sin embargo, estudios moleculares han demostrado la ausencia de esta infección en perros de Tamaulipas (Merino *et al.*, 2021), similar a lo encontrado en el presente estudio. Así también, un estudio reciente llevado a cabo en Yucatán reportó que perros y garrapatas de los géneros *Amblyomma mixtum*, *Amblyomma parvum, Ixodes affinis*, *Rhipicephalus microplus* y *A. c.f. oblongoguttatum* fueron negativos a *E. chaffeensis*, *E. ewingii*, *A. phagocytophilum*, y *R. rickettsii* y solo presentaron positividad a *E. canis* (Ojeda *et al*., 2019). Por el contrario, en el estado de Campeche fue diagnosticada la infección mediante PCR en zarigüeyas y perros de

ese Estado (Rojero *et al*., 2017). A pesar de su aparente baja prevalencia el monitoreo de estas infecciones cobra relevancia debido a su capacidad zoonótica; ya que en México se ha detectado 8.38% de seroprevalencia mediante inmunofluorescencia en personas y la evidencia molecular de infección en una persona (Sosa *et al*., 2021).

Es probable que la discrepancia entre los estudios moleculares y los serológicos se deba a una respuesta inmunológica cruzada con otras especies de *Anaplasma* como se ha reportado con *A. marginale* y *A. phagocytophilum* (Dreher *et al*., 2005). Al respecto un estudio reportó que animales infectados experimentalmente con *A. phagocytophilum* produjeron falsos positivos para *E. platys* (ELISA), *E. canis* (IFA) y *E. chaffeensis* IFA (Qurollo *et al*., 2021). Por lo que los estudios de identificaciones moleculares de este patógeno serán de mucha importancia en el futuro para determinar su presencia en perros o garrapatas vectores en el país y el estado de Tabasco.

El hecho de no haber encontrado perros positivos a *Anaplasma spp* o *A. marginale* en el presente estudio no necesariamente implica que el microorganismo no se encuentre en la subregión Centro, o el estado de Tabasco. Por lo cual, deberán llevarse a cabo estudios en otras regiones del estado, incrementar el número de animales muestreados o probablemente estudiar perros sin dueño o en situación de calle que pudieran estar más expuestos a la infección

Conclusiones

No se encontraron resultados positivos a la infección de *A. phagocytophilum* en las muestras de sangre de perros domésticos colectados en la subregión Centro del estado de Tabasco. Por tal motivo, no fue posible establecer la prevalencia y los factores de riesgo asociados a la infección. En futuros estudios deberán considerarse otras regiones del estado, incrementar el número de animales muestreados o probablemente estudiar perros sin dueño o en situación de calle que pudieran estar más expuestos a la infección.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del Laboratorio de Enfermedades Tropicales y Transmitidas por vectores DACA-UJAT, por su apoyo en el trabajo de campo y de laboratorio.

Literatura Citada

Carrade, D.D., J.E. Foley., D.L. Borjesson. and J.E. Sykes. 2009. Canine Granulocytic Anaplasmosis: A Review. Journal of Veterinary Internal Medicine 23:1129–1141.

Caspersen, K., J.H. Park., S. Patil. and J.S. Dumler. 2002. Genetic variability y stability of Anaplasma phagocytophila msp2 (p44). Infection y Immunity 70:1230–1234.

Chapman, A.S., J. S. Bakken., S.M. Folk.,C.D. Paddock., K.C. Bloch., A. Krusell. *et al*. 2006. Diagnosis y management of tickborne rickettsial diseases: Rocky Mountain spotted fever, ehrlichioses, y anaplasmosis--United States: a practical guide for physicians y other health-care y public health professionals. MMWR. Recommendations y reports : Morbidity y mortality weekly report. Recommendations y reports, 55, 1–27.

Chen, S.M., J.S. Dumler., J.S. Bakken. and D.H Walker. 1994. Identification of a granulocytotropic Ehrlichia species as the etiologic agent of human disease. Journal of Clinical Microbiology 32:589–595.

Chirek, A., C. Silaghi., K. Pfister. and B. Kohn. 2017. Granulocytic anaplasmosis in 63 dogs: clinical signs, laboratory results, therapy y course of disease. Journal of Small Animal Practice 59:112–120.

Cui, Y., Y. Yan., X. Wang., S. Cao., Y. Zhang., F. Jian. *et al*. 2017. First molecular evidence of mixed infections of Anaplasma species in dogs in Henan, China. Ticks y Tick-borne Diseases 8:283–289

Dantas, T.F., B.B. Chomel. and D. Otranto. 2012. Ticks y tick-borne diseases: a One Health perspective. Trends in parasitology 28:437–446.

Dreher, U.M., J. de la Fuente., R. Hofmann L., M.L. Meli., N. Pusterla., K.M. Kocan. *et al*. 2005. Serologic cross-reactivity between Anaplasma marginale y Anaplasma phagocytophilum. Clinical y Diagnostic Laboratory Immunology 12:1177–1183 (American Society for Microbiology)

Dumler, J.S., 2013. Conferencias Magistrales Ehrlichiosis y anaplasmosis humanas en América (Human Ehrlichiosis y Anaplasmosis in America). Acta Médica Costarricense 55: 29–33.

Han, D.G., J.H. Ryu., J.B. Chae., D.W. Kim., C.H. Kwon. and K.S. Choi. 2018. First report of Anaplasma phagocytophilum infection in Holstein cattle in the Republic of Korea. Acta Tropica 183:110–113.

Howly, J.L., 1996. Short protocols in molecular biology, third edition. Biochemical Education P 836 p.

INEGI, 2020. Instituto Nacional de Estadistica y Geografía-INEGI, Mexico. disponible en: http://www.inegi.org.mx (Accesado en mayo 21, 2020).

Lee, S.H., N. Kim., and D. Kwak. 2017. First clinical case of canine granulocytic anaplasmosis in Korea y genotypic analyses of Anaplasma phagocytophilum. Ticks y Tick-borne Diseases 8:462–465.

Liu, J., J. Drexel., B. Yrews., M. Eberts., E. Breitschwerdt. and R. Chyrashekar. 2018. Comparative evaluation of 2 in-clinic assays for vector-borne disease testing in dogs. Topics in Companion Animal Medicine 33:114–118.

Madewell, B. and D. Gribble. 1982. Infection in two dogs with an agent resembling Ehrlichia equi. Journal of Americane Veterinary Med ical Association 180:512–514.

Mateu, E. y Casal, J., 2003. Tamaño de la muestra. Rev Epidemiol Med Prev 8–14

Merino, Ch.O., V. Badillo M., J. Loredo O., H. Barrios G., y V. Carvajal de la F. 2021. Detección molecular de Ehrlichia canis y Anaplasma phagocytophilum y alteraciones hematológicas de perros infectados. Abanico veterinario 11:1-16.

Movilla, R., C. Garcia., S. Siebert. and X. Roura. 2016. Countrywide serological evaluation of canine prevalence for Anaplasma spp., Borrelia burgdorferi (sensu lato), Dirofilaria immitis y Ehrlichia canis in Mexico. Parasites & vectors 9:1-12.

Murray, R.S. y J.S. Larry, 2020. Estadística. Mc Graw- Hill: México, D. F. 579p.

Nasiri, H., M. Forouzyeh., M.J. Rasaee., and F. Rahbarizadeh. 2005. Modified salting-out method: high-yield, high-quality genomic DNA extraction from whole blood using laundry detergent. Journal of Clinical Laboratory Analysis 19:229–232.

Ogaz, C.A.C., 2015. Frecuencia de Ehrlichiosis Monocítica y Anaplasmosis Granulocitica Humana y sus características clínico-epidemiológicas en pacientes pediátricos atendidos en el IMSS del 2010 a 2014 (Universidad Nacional Autonoma de Mexico), 45p.

Ojeda, Ch.M.M., R.I. Rodriguez V., M.D. Esteve G., A.A. Pérez de L., J.J. Modarelli. and S.L. Villegas P. 2019. Ticks infesting dogs in rural communities of Yucatan, Mexico y molecular diagnosis of rickettsial infection. Transboundary y Emerging Diseases 66:102–110.

Qurollo, B.A., B.A. Stillman., M.J. Beall., P. Foster., B.C. Hegarty., E.B. Breitschwerdt. and R. Chyrashekar. 2021. Comparison of Anaplasma y Ehrlichia species–specific peptide ELISAs with whole organism–based immunofluorescent assays for serologic diagnosis of anaplasmosis y ehrlichiosis in dogs. American Journal of Veterinary Research 82:71–80.

Rojero,V. E., G. Gordillo P., and M. Weber, 2017. Infection of Anaplasma phagocytophilum y Ehrlichia spp. in Opossums y Dogs in Campeche, Mexico: The Role of Tick Infestation Frontiers in Ecology y Evolution 5:1–9

Salinas, M.J.A., R. Villavicencio P., B.V Tamez H., J.J. Hernández E., R. Avalos R., J.J. Zarate R. *et al*. 2014. Prevalence of anti-Anaplasma phagocytophilum antibodies among dogs from Monterrey, Mexico. African Journal of Microbiology Research 8:825–829.

Seo, M.G., I.O. Ouh., O.D. Kwon. and D. Kwak. 2018. Molecular detection of Anaplasma phagocytophilum-like Anaplasma spp. y pathogenic A. Phagocytophilum in cattle from South Korea. Molecular Phylogenetics y Evolution 126:23–30 .

Sosa,G.C., M. Vargas., J. Torres., and G. Gordillo P. 2014. Tick-borne rickettsial pathogens in rodents from Mexico. Journal of Biomedical Science y Engineering 7:884–889.

Sosa,G.C.G., M.A.Cervantes C., R.Laguna G., L.Y. Lopez E., D. Ojeda R. and M. Oyervides. 2021. Serological y molecular evidence of patients infected with Anaplasma phagocytophilum in Mexico. Diseases 9:1-8.

Sosa,G.C.G., M.Vargas S., J.Torres. and G. Gordillo P. 2016. Tick-borne rickettsial pathogens in questing ticks, removed from humans y animals in Mexico. Journal of Veterinary Science 17:353–360.

Stuen, S., E.G. Granquist., and C.Silaghi. 2013. Anaplasma phagocytophilum—a widespread multi-host pathogen with highly adaptive strategies. Frontiers in Cellular y Infection Microbiology 3(31):1-22.

Ybañez, P.A. and H. Inokuma. 2016. Anaplasma species of veterinary importance in Japan. Veterinary World 9(11):1190-1196.

INMUNOGLOBULINAS ALCANZADAS AL NACIMIENTO SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS EN VACAS PRODUCTORAS DE LECHE

Marco Antonio Alarcón Zapata[1*], Josefa Zavaleta Cruz[1], Abigail Tabarez Rojas[1], Dora Romero Salas[2], Anabel Cruz Romero[2], Diana Laura Díaz Inocencio[1], Melina Ojeda Chi[1] y Carlos David Pérez Brigido[1]

Resumen

El presente trabajo consistió en determinar el impacto que tiene la concentración de inmunoglobulinas por la ingesta de calostro en becerras al nacimiento en cuanto a los parámetros productivos y reproductivos de adultas. Se utilizaron 158 vacas de segunda lactancia, en donde se analizó el historial que va desde la fecha de nacimiento hasta la etapa productiva y reproductiva. Se encontró diferencia ($p<0.05$) en la producción de leche (12526, 12357, 12376 litros para cantidad de inmunoglobulinas buenas, regulares y malas respectivamente) al final de la lactancia ajustada a los 305 días. Se encontró que las becerras con buenas y regulares concentraciones de inmunoglobulinas llegaron al parto a los 24 meses, en cambio las de malas concentraciones llegaron a los 25 meses de edad. No se encontraron diferencias en los litros ingeridos al nacimiento en cuanto a las concentraciones de inmunoglobulinas alcanzadas, altas, regulares y buenas, pero si en la calidad de acuerdo a las concentraciones alcanzadas de inmunoglobulinas (23, 63, 111 para la cantidad de inmunoglobulinas buenas, regulares y malas). Los animales con malas concentraciones de inmunoglobulinas tuvieron un mayor ($P<0.05$) porcentaje de desechos en comparación con los animales con buenas concentraciones (12%, 32%, 56%, buenas, regulares y malas respectivamente. Por lo tanto, se concluye que existe un impacto negativo de la mala concentración de inmunoglobulinas después de la ingesta de calostro sobre parámetros productivos, principalmente en el porcentaje de desechos.

[1] Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
[2] Rancho Torreón de Molino, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana, Veracruz, Veracruz, México *maralarcon@uv.mx

Palabras Clave: calostro, becerra, balud animal

Introducción

El calostro es la primera secreción láctea producida por la glándula mamaria que se sintetiza días antes del parto, es el único alimento de mayor importancia biológica, necesario para el ternero durante los primeros días de vida y se diferencia de la leche normal por sus propiedades físicas, composición y función (Bielmann *et al*., 2010).

Una adecuada administración en el manejo de la ingesta de un calostro de buena calidad y cantidad en el becerro recién nacido es de vital importancia para un buen desarrollo durante las primeras semanas de vida (Benavides *et al.*, 2013) La transferencia de inmunidad pasiva en becerros recién nacidos debe ocurrir por ingestión de calostro, ya que la placenta bovina previene la transferencia de inmunoglobulinas (Ig) de la madre al feto, puesto que el tipo de placenta de los bovinos es epiteliocorial. Por lo tanto, los becerros recién nacidos nacen agammaglobulinemicos, es decir sin inmunoglobulinas (Campos *et al.,* 2016).

Una inconveniente transferencia pasiva de anticuerpos refleja pérdidas económicas por mortalidad y enfermedad de los becerros recién nacidos. El suministro de calostro, por lo tanto, es esencial en las primeras horas de vida, pues el nivel de inmunoglobulinas séricas en el neonato es un factor que determina resistencia a enfermedades durante sus primeros días de vida (Barraza *et al*. 2002; Sánchez *et al.,* 2012).

La incidencia de enfermedades y mortalidad es afectada por la condición de inmunoglobulinas (Ig) ingeridas en los terneros inmediatamente después de nacer. Por lo tanto, el crecimiento, consumo de alimento y resistencia a enfermedades, se ve afectado por las condiciones alcanzadas por el sistema inmunológico en las primeras 24 horas de vida (Vargas *et al*., 2014).

Se puede estimar que una adecuada ingestión de calostro en el lapso adecuado, la cantidad necesaria y la calidad, son factores esenciales que no solo provén salud al ternero, sino que también influye en otros parámetros de gran importancia, como lo son; la parte productiva y reproductiva, en cuanto al desarrollo y producción a lo largo de vida del animal. (Furman *et al*., 2011; Vargas *et al*., 2014).

Material y Métodos

El estudio se realizó en una Unidad de Producción Pecuaria (UPP), ubicada en el altiplano mexicano a una altitud de 1980 metros, con un clima semi seco templado, con temperatura media de 14.5°C, temperatura (máxima de 24.4°C y temperatura mínima de 5.3°C).

El establo cuenta con 1100 vacas Holstein en ordeño y un promedio en línea de 36.5 ± 1.5 L. Las vacas se encuentran estabuladas y son ordeñadas tres veces al día.

Para dicho estudio se hizo un análisis retrospectivo en donde se recopiló la información a través del programa Dairy Comp 305 software administrativo para establos lecheros. Se determinó el impacto que tienen las concentraciones de inmunoglobulinas alcanzadas en cuanto a los parámetros productivos y reproductivos, con base a los datos obtenidos en los registros de varios años atrás. Se utilizaron 158 vacas de segunda lactancia, las cuales fueron divididas de acuerdo con la cantidad de inmunoglobulinas presentes en sangre posterior al calostrado inmediato al nacimiento. Se analizaron los datos de años atrás llegando hasta la fecha de nacimiento, contemplando el número de becerra, número de veces inseminadas, fecha de gestación, edad al primer parto, fecha de parto, producción de leche ajustada a los 305 días en su primera lactancia y días abiertos.

Con base a la relación que se obtuvo de cada becerra, se recaudaron también los datos de la madre, para determinar la calidad de calostro que tuvo al parto y fue consumido por la becerra al nacimiento, con el fin de verificar el impacto que tuvo el calostro ingerido al nacimiento con relación al desarrollo productivo y reproductivo de las vacas. El análisis estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS STATISTICS 22.0 utilizando el modelo ANOVA. Variables dependientes: parámetros productivos, parámetros reproductivos y salud. Variables independientes: concentración de inmunoglobulinas.

Resultados y Discusión

Se observó que la cantidad de inmunoglobulinas en las becerras recién nacidas tiene un impacto en la producción de leche de estas cuando son adultas ajustando la lactancia a 305 días, (12526, 12357, 12376 litros para cantidad de inmunoglobulinas buenas, regulares y

malas respectivamente; Figura 1). Denise *et al*., en 1989 demostraron que los niveles elevados de IgGs se correlacionan con una mayor producción de leche a futuro. Esto se debe a que altas concentraciones de inmunoglobulinas son determinantes para una buena protección a las becerras, no solo al nacimiento, sino también teniendo un impacto positivo en la productividad a largo plazo (Morril *et al.,* 2012; Campos *et al.,* 2016).

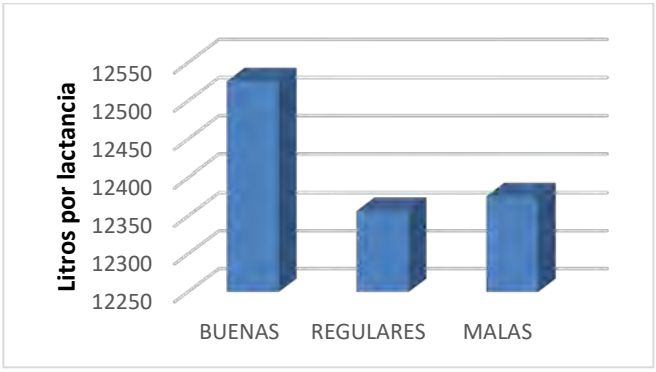


Figura 1. Lactancia ajustada a los 305 días.

No se encontraron diferencias entre las becerras que obtuvieron buenas y regulares concentraciones de inmunoglobulinas (24 *vs* 24 meses). En cambio, hubo diferencias notables con las becerras que tuvieron malas concentraciones de inmunoglobulinas presentes (25 meses), tomando en cuenta la cantidad de inmunoglobulinas, buenas, regulares y malas. esto puede deberse a que las becerras con bajas concentraciones de inmunoglobulinas, son becerras que están mayormente expuestas al medio, es decir, con una protección muy baja en cuanto a anticuerpos, por lo tanto son becerras que tienden a enfermarse más en comparación a las becerras con buenas y regulares concentraciones de inmunoglobulinas, dichas becerras al enfermarse bajan el rendimiento productivo y esto se ve reflejado en la etapa reproductiva afectando en si el desarrollo de las becerras y retardando el crecimiento. Lane *et al*., (2013), mencionan que la tasa de crecimiento y desarrollo influye en el primer parto con relación a la transferencia de inmunidad pasiva (Figura 2).

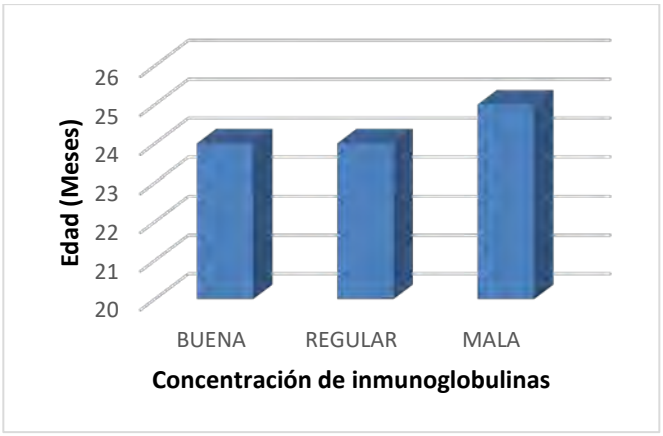


Figura 2. Edad al parto.

No se encontraron diferencias en cuanto a las concentraciones de inmunoglobulinas alcanzadas, altas, regulares y buenas. (3, 2.97, 2.96 L). Sin embargo, si se encontraron diferencias (P<0.05) en las concentraciones de inmunoglobulinas en las becerras de desecho (12%, 32%, 56% para la cantidad de inmunoglobulinas buenas, regulares y malas respectivamente; Figura 3).

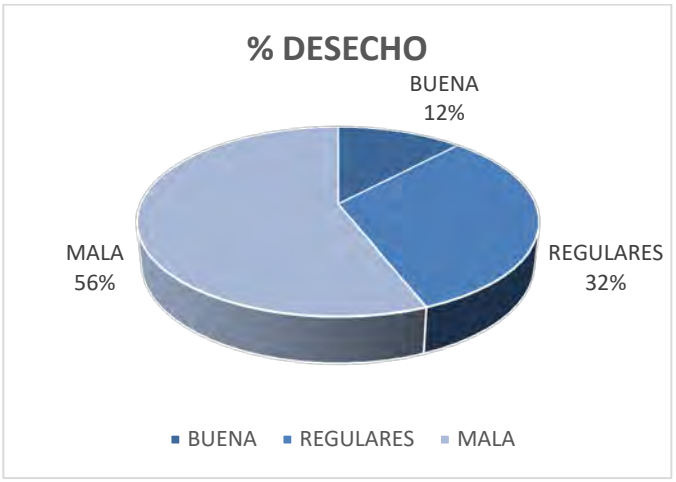


Figura 3. Desechos por concentraciones de inmunoglobulinas.

Godden *et al*., en el 2012 señalan que el calostro en cuanto a la transferencia de inmunidad pasiva es el factor principal en cuanto a salud en las becerras y la supervivencia, teniendo beneficios adicionales a largo plazo, logrando que las becerras produzcan más rápido y obtengan mejores parámetros productivos y reproductivos. Quigley en el 2010 menciona que

si las becerras no son bien calostradas al nacimiento son becerras que llegan a la etapa productiva con afecciones, poniendo en riesgo la etapa productiva a lo largo de toda su vida, ya que becerras con bajas concentraciones de IgG no tendrán un buen desarrollo productivo y reproductivo a largo plazo, ya que tienden a estar menos protegidas y a enfermarse más durante los primeros días de vida (Jarmuz *et al.,* 2001; Faber *et al.,* 2005).

Conclusiones

Las becerras con altas concentraciones de inmunoglobulinas tendrán un mejor desarrollo productivo y reproductivo a lo largo de su vida.

Las becerras con buenas concentraciones de inmunoglobulinas produjeron más leche ajustada a los 305 días por lactancia. También son becerras que llegaron antes al parto.

Becerras con malas concentraciones de inmunoglobulinas tendrán más probabilidades de desecho en comparación con becerras con buena concentración, debiendo a que son menos productivas y tienden a enfermarse más durante su desarrollo.

Literatura Citada

Benavides, D., J.A. Elizondo, y G. Gonzalez. 2013. Estado inmunológico de terneras y terneros de lechería en la región Huetar Norte de Costa Rica. Año II. Agron. Mesoam. 24:285-291.

Bielmann, V.; Gillan, J.; Perkins, NR.; Skidmore, A.L.; Godden, S.; Leslie, K.E. 2010. An evaluation of brix refractometry instruments for measurement of calostrum quality in dairy cattle. American Dairy Science Association. J. dairy sci. 93.

Campos, M., Chamorro, M.F., Haines, D.M. 2016. Efectos de la administración adecuada de calostro en la vida productiva de la ternera. Department of Veterinary Microbiology, Western College of Veterinary Medicine, University of Saskatchewan, Saskatchewan, Canada.

Denise, S.K., Robison, J.D., Stott, G.H. y Armstrong, D.V. 1989. Effects of passive immunity on subsequent production in dairy heifers. J. Dairy Sci. 7:552-554.

Furman, K; Stefaniak, T; Rzasa, A. 2011.The influence of calostral inmunoglobulin concentration in heifer calves serum on their health anda growth. J Dairy Sci. 2011 Nov;94(11):5536-43.

Godden, S.M., D.J. Smolenski, M. Donahue, J.M. Oakes, R. Bey, S. Wellsa, S. Sreevatsan, J. Stabel, y J. Fetrow. 2012. Heat-treated colostrum and reduced morbidity in preweaned dairy calves: Results of a randomized trial and examination of mechanisms of effectiveness. J. Dairy Sci. 95:4029-4040.

Jarmuz, W., Szelag, I. y Skrzypek, R. 2001. Relación entre la concentración de inmunoglobulinas en suero sanguíneo y la tasa de crecimiento en vaquillas lecheras. (En polaco) Pr. Estera. Zoot 2001; 59: 93-101.

Lane, E.A., M.A. Crowe, M.E. Beltman, and S.J. More. 2013. The influence of cow and management factor on reproductive performance of irish seasonal calving dairy cows. animal reproduction science 141:34-41.

Morrill, K.M., E. Conrad, A. Lago, J. Campbell, J. Quigley, y H. Tyler. 2012. Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States. J. Dairy Sci. 95:3977-4005.

Quigley, J. 2010. Simple Tool Can Measure Colostrum Quality. (On Line). World Dairy Diary. http://www.wdexpo.org/2010/10/10/simple-tool-can-measurecolostrum-quality/ (15 junio 2012).

Sánchez, J., J.A. Elizondo, y G. Arroyo. 2012. Estado inmunológico de terneras y terneros de lechería en la región Huetar Norte de Costa Rica. Año I. Agron.Mesoam. 23:321-327.

Vargas, O., J.A. Elizondo, y L. Noguera. 2014. Factores relacionados con la falla en la transferencia de inmunidad pasiva en terneras y terneros de lechería en la región Central Norte de Costa Rica. Nutr. Anim.Trop. 8:68-79

DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS DE LOS APICULTORES EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez[1*], Aixchel Maya Martínez[2], Alejandro de Jesús Cano González[3] y Manuel Lara del Río[2]

Resumen

La actividad apícola en México es de importancia socioeconómica, debido a que más de 43 mil productores dependen de ella, además exporta alrededor de 34,000 t con un ingreso promedio anual de 124 millones de dólares. Por ello, el objetivo de este trabajo consistió en analizar la distribución de los ingresos de los apicultores del centro y sur de la Región Península de Yucatán. El periodo de estudio comprendió de enero a junio de 2020 y, para ello, se realizaron 110 encuestas a productores de los municipios: Yaxcabá, Yucatán (56), Carmen (26) y Hopelchén (28) en Campeche y se aplicó el índice de Gini para determinar la distribución del ingreso entre los productores. En Yaxcabá el índice de Gini fue de 45.03%, en Carmen de 51.83% y en Hopelchén de 44.17%, con un ingreso mayor de frecuencia de $1,000.00 para los dos primeros municipios y de $12,000 y $30,000.00 para Hopelchén; mientras que el 59% de los productores de Yaxcabá acumulan 19% sus ingresos, en Carmen el 65.3% concentran el 27% y en Hopelchén 50% el 18% de los ingresos acumulados. En la curva de igualdad de Lorenz, el punto más alejado fue cuando el acumulado fue de 76.7% para Yaxcabá, 73% para Carmen y 71.4% para Hopelché, con 36.9%, 35.8% y 38.4% de acaparamiento del total de los ingresos, respectivamente. Los apicultores del municipio Yaxcabá y Carmen, tuvieron con mayor frecuencia ingresos bajos comparado con los apicultores del municipio de Hopelchén, Campeche.

Palabras clave: índice de Gini, apicultura, curva de igualdad de Lorenz

[1] Campo Experimental Mocochá-NIFAP. Km. 25 Antigua Carretera Mérida-Motul. Mocochá, Yucatán, México. C.P. 97454. mail: uzcanga.nelda@inifap.gob.mx*
[2] Campo Experimental Edzná-INIFAP. Km.15.5 Carretera Campeche-Pocyaxum, Campeche, México. C.P. 24520.
[3] Centro de Investigación Regional Sureste-INIFAP. Calle 6 No. 398 x13, Av. Correa Rachó. Col. Díaz Ordaz, Mérida Yucatán México. C.P. 97130.

Introducción

La apicultura es la actividad agropecuaria dedicada a la cría de abejas para la obtención de diversos productos y subproductos de la colmena, de los cuales la miel es el bien principal. En México, más de 43 mil productores dependen de esta actividad, por el cual está adquiere un importante valor socioeconómico en el País. Además, ocupa el tercer lugar, a nivel mundial, en cuanto a exportación de miel se refiere. En el período comprendido entre 2014 y 2018, se tuvo una producción nacional promedio anual de 57,995 toneladas y una exportación promedio anual de alrededor de 34,000 t, mismas que se vendieron principalmente a Estados Unidos, Alemania, Bélgica, Arabia Saudita y Reino Unido, con un ingreso promedio anual de 124 millones de dólares (INEGI, 2022).

Además de su importancia socioeconómica, la apicultura ofrece otros beneficios, como su aporte al equilibrio ecológico mundial, por su trascendental papel en la polinización de diversas especies vegetales de importancia social, económica y ambiental. Además, su principal producto, la miel, se le atribuyen funciones medicinales y nutritivas. De igual forma, la producción de otros productos de importancia como la cera, el propóleo y la jalea real; así como sus derivados, entre los que se pueden mencionar candelas, ungüentos y cerveza; incluso, esta actividad, tiene un valor cultural en diversos lugares, en los que algunos de sus productos y subproductos se utilizan en rituales de diversos tipos. Todos estos beneficios contribuyen a la disminución de la vulnerabilidad económica y a la generación de un entorno socioeconómico sustentable (INEGI, 2022).

Dada la diversidad climática, se han identificado en México cinco regiones productoras de miel, entre las que destaca la Región Península de Yucatán, misma que está conformada por los estados de Campeche con 6718.76 t promedio anual entre 2010 y 2019 (11.11%) promedio anual de la producción nacional en el mismo período, Yucatán con 9179.43 t (15.18%) y Quintana Roo 2962.66 t (4.90%), así como por parte de los estados de Chiapas y Tabasco; La Península, es la región más importante en la producción de miel a nivel nacional, al representar en promedio el 32.4% de esta producción; además de contar con un importante prestigio nacional e internacional, al provenir la miel de floraciones particulares como la de *Gymnopodium floribundum* Rolfe (Tzitzilche) y *Viguiera dentata* (Cav.) Spreng. (Tajonal). Sin embargo, a pesar de la importancia de esta región en la producción de miel, la actividad apícola

se enfrenta a diversos problemas, entre los que destacan los de tipo ambiental, como la presencia de fenómenos naturales (huracanes, tormentas tropicales, sequías) la reducción de las áreas forestales (deforestación, incendios, urbanización y cambio de uso de suelo); sanitarios, principalmente la presencia de plagas y enfermedades (ej. varroosis, parasitosis causada por el ácaro *Varroa destructor*); tecnológicos como el inadecuado uso de plaguicidas y pesticidas en los cultivos agrícolas; así como los socioeconómicos, entre los que destacan condiciones desfavorables del mercado (precios, intermediarios, normas, certificaciones, etc.), el insuficiente apoyo técnico y crediticio, así como el bajo nivel socioeconómico de la población dedicada a esta actividad, ha ocasionado la disminución de la producción hasta en un 12.9% entre 2012 y 2017 (Gërmes-Ricalde *et al.*, 2003; Martínez-Puc *et al*., 2018; Gutiérrez y Colli-Ucán, 1996).

Ante esta problemática se hace necesario desarrollar estrategias que permitan el desarrollo socioeconómico y sustentable de la activad apícola en la Región Península de Yucatán y, para ello, es necesario contar con una línea base de información que permita conocer el estado actual, en este caso, de las condiciones socioeconómicas en las que se desarrolla esta actividad, por lo antes señalado, el objetivo de este trabajo fue el de analizar la distribución de los ingresos de los apicultores del centro y sur de la Región Península de Yucatán.

Materiales y Métodos

Se elaboró la cedula de diagnóstico para aplicar una entrevista a productores del sistema de abejas-miel. Dicha cedula consto de cuatro apartados que comprendieron una batería de preguntas que permiten: 1).- realizar la caracterización de productores; 2).- obtener información específica de las Unidad de Producción Familiar (UPF); 3).- información con reactivos enfocados a la caracterización técnico-productiva de la UPF y 4).- reactivos que arrojen información de datos de la comercialización; además, cada cédula consto con una sección de restricciones, en la que se preguntó sobre la problemática que presentan los productores.

El periodo de estudio comprendió de enero a junio de 2020. El instrumento utilizado fue la cédula de diagnóstico inicial diseñada y adaptada a las condiciones de este trabajo. Para la

obtención de la información se levantaron 110 encuestas, mediante una entrevista dirigida cara a cara a productores y distribuidas de la siguiente manera: municipio de Yaxcabá, Yucatán (56) y los municipios de Carmen (26) y Hopelchén (28) en el estado de Campeche. Los datos obtenidos se analizaron mediante el coeficiente de Gini.

El cálculo del coeficiente de Gini se obtuvo con la ecuación propuesta por Ruiz-Ramírez *et al*. (2012):

$$G = \left|1 - \sum_{k=1}^{k=n-1} (X_{k+1} - X_k)\,(Y_{k+1} + Y_k)\right|$$

Dónde:

G=Coeficiente de Gini

X=Proporción acumulada de la variable población

Y=Proporción acumulada de la variable ingresos

Los valores de éste coeficiente son entre cero y uno y cuando el valor se acerca a cero indica que la distribución del ingreso es más equitativa y, por el contrario, mientras más se acerca a la unidad, indica mayor desigualdad o que el ingreso se concentra en unos pocos individuos. Finalmente, el resultado de este coeficiente se multiplicó *100 para convertirlo a índice.

Resultados y discusión

El índice de Gini calculado para los apicultores de Yaxcabá fue de 45.03%, el ingreso de mayor frecuencia fue de $1,000.00. Sin embargo, en el Cuadro 1, se aprecia que el 59% de los apicultores acumulan solo el 19% del total de los ingresos, equivalentes a un valor de producción de miel de $72,000.00.

Cuadro 1. Ingreso de los apicultores por la venta de miel en el municipio de Yaxcabá, Yucatán.

1. Ingreso	2. Población	3. Acumulado de la población	4. Producto entre ingresos y población	5. Acumulado del producto entre ingresos y la población	6. Valor de (p)	7. Valor de (q)	8. Diferencia entre p y q
$1,000.00	13	13	13,000.00	13,000.00	0.23	0.03	0.20
$2,000.00	7	20	14,000.00	27,000.00	0.36	0.07	0.29
$3,000.00	7	27	21,000.00	48,000.00	0.48	0.12	0.36
$4,000.00	6	33	24,000.00	72,000.00	0.59	0.19	0.40
$6,000.00	4	37	24,000.00	96,000.00	0.66	0.25	0.41
$7,000.00	2	39	14,000.00	110,000.00	0.70	0.28	0.41
$8,000.00	3	42	24,000.00	134,000.00	0.75	0.35	0.40
$9,000.00	1	43	9,000.00	143,000.00	0.77	0.37	0.40
$10,000.00	4	47	40,000.00	183,000.00	0.84	0.47	0.37

Continúa Cuadro 1…

1. Ingreso	2. Población	3. Acumulado de la población	4. Producto entre ingresos y población	5. Acumulado del producto entre ingresos y la población	6. Valor de (p)	7. Valor de (q)	8. Diferencia entre p y q
$11,000.00	2	49	22,000.00	205,000.00	0.88	0.53	0.35
$14,000.00	1	50	14,000.00	219,000.00	0.89	0.57	0.33
$19,000.00	2	52	38,000.00	257,000.00	0.93	0.66	0.26
$20,000.00	2	54	40,000.00	297,000.00	0.96	0.77	0.20
$30,000.00	1	55	30,000.00	327,000.00	0.98	0.84	0.14
$60,000.00	1	56	60,000.00	387,000.00	1.00	1.00	0.00

A continuación, se representa gráficamente la distribución de los ingresos a través de la curva de Lorenz (Figura 1) y se aprecia que el punto más alejado de la curva de la igualdad, se ubicó cuando el acumulado de la población fue igual a 76.7%, quienes acapararon el 36.9% del total de los ingresos equivalente a un valor de la producción de $143,0000.00.

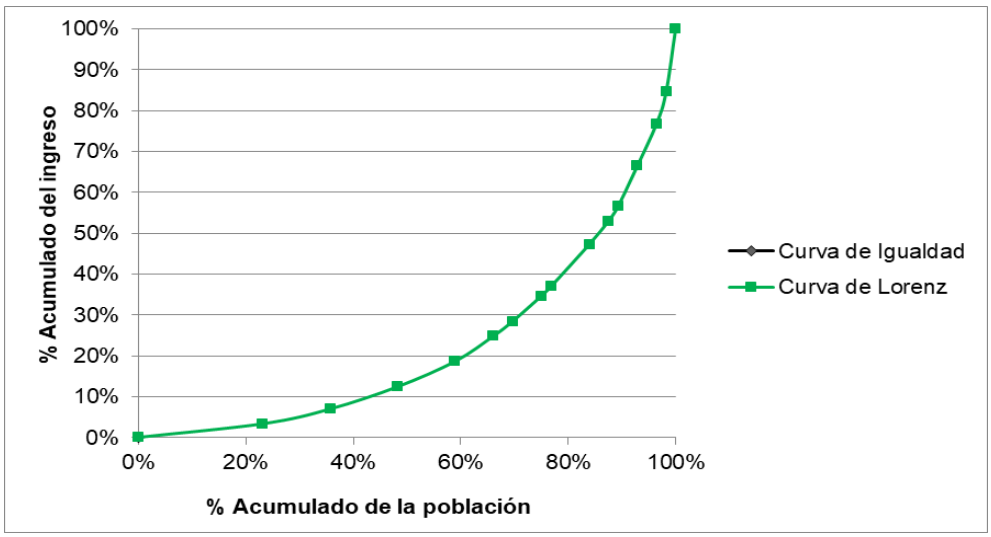


Figura 1. Curva de Lorenz para la distribución del ingreso de los apicultores de Yaxcabá, Yucatán.

El índice de Gini estimado para el municipio de Carmen fue 51.83%, mayor que el índice obtenido para los ingresos de Yaxcaba, Yuc. Sin embargo, el ingreso de mayor frecuencia fue igual a $1,000.00. En el Cuadro 2, donde se expresan los acumulados tanto del ingreso como de la población, se observa que el 65.3% de los apicultores concentran el 27% del total de ingresos equivalentes a un valor de la producción de miel $87,300.00.

Cuadro 2. Ingreso de los apicultores por la venta de miel en el municipio de Carmen, Campeche.

1. Ingreso	2. Población	3. Acumulado de la población	4. Producto entre ingresos y población	5. Acumulado del producto entre ingresos y la población	6. Valor de (p)	7. Valor de (q)	8. Diferencia entre p y q
$1,000.00	4	4	4,000.00	4,000.00	0.15	0.01	0.14
$1,300.00	1	5	1,300.00	5,300.00	0.19	0.02	0.18
$3,000.00	3	8	9,000.00	14,300.00	0.31	0.04	0.26
$5,000.00	3	11	15,000.00	29,300.00	0.42	0.09	0.33
$7,000.00	1	12	7,000.00	36,300.00	0.46	0.11	0.35
$9,000.00	2	14	18,000.00	54,300.00	0.54	0.17	0.37
$11,000.00	3	17	33,000.00	87,300.00	0.65	0.27	0.38
$13,000.00	1	18	13,000.00	100,300.00	0.69	0.31	0.38
$15,000.00	1	19	15,000.00	115,300.00	0.73	0.36	0.37
$17,000.00	1	20	17,000.00	132,300.00	0.77	0.41	0.36
$19,000.00	1	21	19,000.00	151,300.00	0.81	0.47	0.34
$20,000.00	2	23	40,000.00	191,300.00	0.88	0.60	0.29
$30,000.00	2	25	60,000.00	251,300.00	0.96	0.78	0.18
$70,000.00	1	26	70,000.00	321,300.00	1.00	1.00	0.00

Por otra parte, para el grupo de apicultores que perciben ingresos por la venta de miel de $1,000.00, tanto los de Yaxcabá, Yuc. como los de Carmen, Camp., no podrían satisfacer las necesidades de consumo familiar ya que, la línea de bienestar mínimo mensual para la población rural es de $$1,149.2 (CONEVAL, 2020).

La curva de Lorenz para los apicultores del municipio del Carmen, se representa gráficamente en la Figura 2. También, se observa que el punto más lejano a la curva de la igualdad, es aproximadamente cuando la población acumulada asciende al 73.0% con el 35.8% del total del ingreso acumulado $115,300.00.

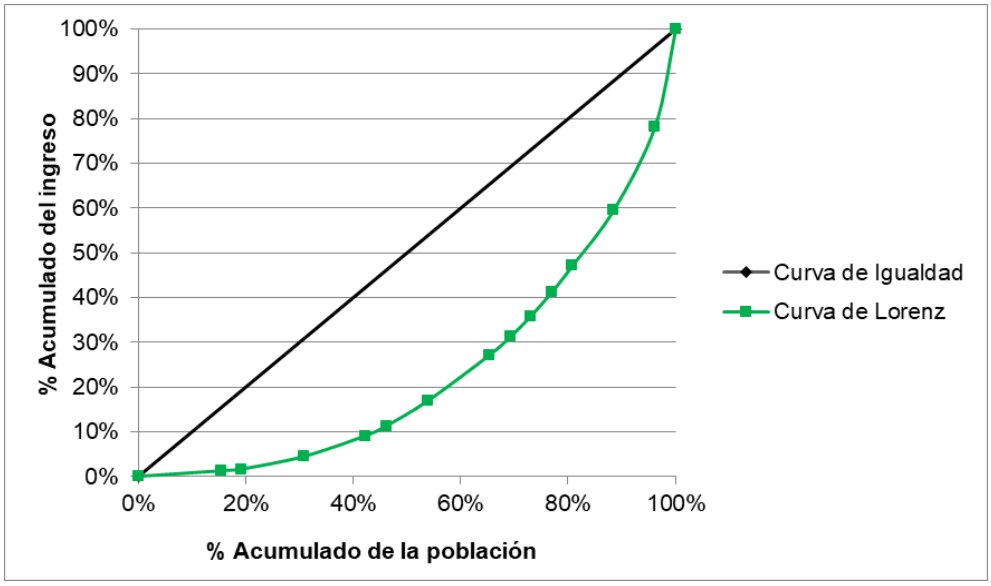


Figura 2. Curva de Lorenz para la distribución del ingreso de los apicultores de Carmen, Campeche.

Finalmente, el índice de Gini calculado para los ingresos de los apicultores de Hopelchén, Campeche fue de 44.17%, más bajo que en los otros dos municipios. Los ingresos de mayor frecuencia fueron $12,000.00 y $30,000.00. En el Cuadro 3, se observa que el 50.0% de los apicultores, concentran únicamente el 18% del total de los ingresos acumulados, representando un valor de la producción de miel de $91,000.00.

Estos resultados son coincidentes con Uzcanga *et al*. (2021) con respecto a los ingresos derivados de la venta de miel como proveedores de recursos económicos que financian otras actividades productivas dentro del medio rural.

En la Figura 3, sobre la curva de Lorenz, se representan los ingresos acumulados de los apicultores de Hopelchén. El punto más lejano a la curva de igualdad se identificó cuando el 71.4% de los apicultores acumularon el 38.4% del ingreso total, equivalente a un valor de la producción de $194,000.00.

Cuadro 3. Ingreso de los apicultores por la venta de miel en el municipio de Hopelchén, Campeche.

1. Ingreso	2. Población	3. Acumulado de la población	4. Producto entre ingresos y población	5. Acumulado del producto entre ingresos y la población	6. Valor de (p)	7. Valor de (q)	8. Diferencia entre p y q
$1,000.00	1	1	1,000.00	1,000.00	0.04	0.00	0.03
$3,000.00	4	5	12,000.00	13,000.00	0.18	0.03	0.15
$5,000.00	1	6	5,000.00	18,000.00	0.21	0.04	0.18
$6,000.00	1	7	6,000.00	24,000.00	0.25	0.05	0.20
$8,000.00	2	9	16,000.00	40,000.00	0.32	0.08	0.24
$9,000.00	2	11	18,000.00	58,000.00	0.39	0.12	0.28
$11,000.00	3	14	33,000.00	91,000.00	0.50	0.18	0.32
$13,000.00	1	15	13,000.00	104,000.00	0.54	0.21	0.33
$15,000.00	2	17	30,000.00	134,000.00	0.61	0.27	0.34
$20,000.00	3	20	60,000.00	194,000.00	0.71	0.38	0.33
$30,000.00	5	25	150,000.00	344,000.00	0.89	0.68	0.21
$40,000.00	1	26	40,000.00	384,000.00	0.93	0.76	0.17
$50,000.00	1	27	50,000.00	434,000.00	0.96	0.86	0.10
$70,000.00	1	28	70,000.00	504,000.00	1.00	1.00	0.00

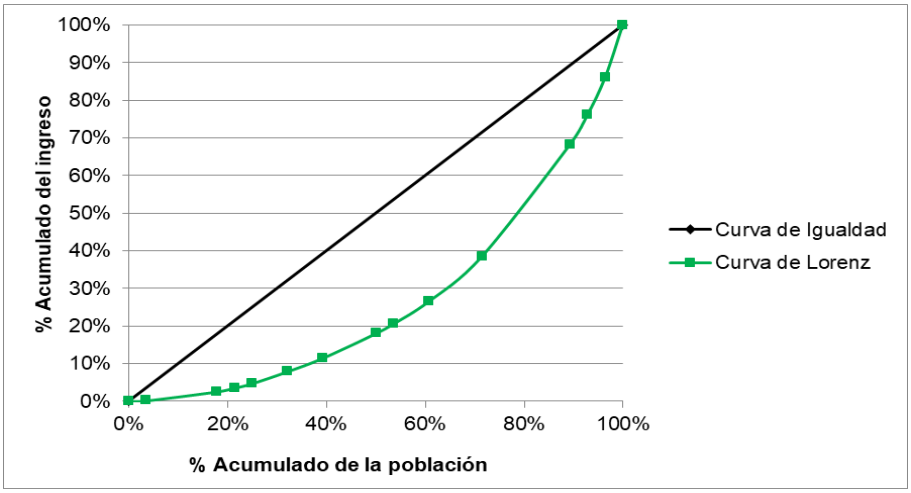


Figura 3. Curva de Lorenz para la distribución del ingreso de los apicultores de Hopelchén, Campeche.

Con los resultados de los índices de Gini, se puede apreciar que dentro de esta actividad existe desigualdad en los ingresos entre los apicultores pertenecientes a una misma región, Península de Yucatán. Esto es resultado de las diferentes condiciones en las que se desarrolla la actividad apícola, tradicional y de subsistencia, así como otras de tipo ambientales como

mencionan Güemes-Ricalde *et al*. (2003) y Martínez-Puc *et al*. (2018), las cuales afectan la productividad de la miel y también las mencionadas por Uzcanga *et al*. (2021) sobre la poca diversificación de productos y derivados de la colmena y, canales de comercialización y mercado.

Conclusión

Los apicultores que presentaron mayor desigualdad en sus ingresos provenientes por la venta de miel, fueron los productores del municipio del Carmen. Los apicultores del municipio Yaxcabá y Carmen, tuvieron con mayor frecuencia ingresos bajos comparado con los apicultores del municipio de Hopelchén, Camp.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Gobierno Federal a través de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), por el financiamiento otorgado para la realización del Diagnóstico, Transferencia de Tecnología y Soporte Técnico para atender necesidades de los PRODETER.

Literatura Citada

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2020). Líneas de Pobreza por Ingresos México (Valores mensuales por persona a precios corrientes de enero-1992 a junio 2020). https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx.

Güemes-Ricalde, F. J., C. Echazarreta-González, R. Villanueva-G, J. M. Pat-Fernández y R. Gómez-Álvarez. 2003. La apicultura en la península de Yucatán. Actividad de subsistencia en un entorno globalizado. Revista Mexicana del Caribe, 8 (16): 117-132.

Gutiérrez, R. V. y W. Collí-Ucán. 1996. La apicultura en la Península de Yucatán, México y sus perspectivas. Folia Entomológica Mexicana, 97: 55-70.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2022. Atlas Nacional de las Abejas y Derivados Apícolas. https://atlas-abejas.agricultura.gob.mx/. [Consultado el 24 de junio de 2022].

Martínez-Puc, J., C. W. etzal-Ix, N. González-Valdivia, F. Casanova-Lugo y B. Saikat-Kumar. 2018. Caracterización de la actividad apícola en los principales municipios productores de miel en Campeche, México. Journal of the Selva Andina Animal Science, 5 (1): 44-53.

Ruíz-Ramírez, J., L. Pensado y G. Hernández-Rodríguez. 2012. Desigualdad salarial de los economistas de la universidad Veracruzana. *Observatorio de la Economía Latinoamericana,* (162), 1-23. https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2012/rhr.html.

Uzcanga N., A. Cano and P. Cadena. 2021. Strategy to strengthen the traditional milpa family production systems. Agroproductividad 14: 119-125.

RESPUESTA REPRODUCTIVA EN HEMBRAS BEEFMASTER SOMETIDAS A SUPLEMENTACION DE VITAMINAS Y MINERALES EN CLIMA SUBTROPICAL HÚMEDO

René Carlos Calderón Robles[1]*, Ángel Ríos Utrera[2], René Calderón Chagoya[3] y Carlos Hernández López[3]

Resumen

En condiciones tropicales y sobre todo en el sistema vaca-cría, la elevada edad al primer parto y el prolongado anestro posparto han sido detrimentales ya que bajo esas condiciones buenos indicadores serían 30 meses de edad al primer parto y un intervalo entre partos entre 13 y 14 meses. Los protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) mejoran la eficiencia reproductiva, ya que pueden provocar cambios favorables ya sea disminuyendo la edad al inicio del manejo reproductivo o reduciendo el anestro posparto. La suplementación estratégica de vitaminas y minerales durante el periodo previo a la IATF se ha relacionado con una mejoría en el desempeño reproductivo de vacas de carne. El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos de la suplementación mineral (selenio, manganeso, zinc y cobre) y de vitaminas A y E sobre la respuesta reproductiva en un hato comercial. Se utilizaron 47 hembras Beefmaster, de las cuales 25 fueron multíparas (vaca) y 22 nulíparas (vaquillas). Los animales se distribuyeron al azar en 2 grupos tomando en cuenta: 1) su condición corporal, 2) ciclando o en anestro, y 3) vaquilla o vaca; esta última con o sin cría. Al grupo uno le fue administrado minerales y vitaminas; mientras que el grupo dos (control) tuvo el manejo de rutina. Todos los animales se sometieron a un protocolo de sincronización de la ovulación. El análisis de la tasa de celos, no detectó (P>0.05) efecto de tratamiento, estado de la hembra en relación a si era vaca o vaquilla, estado de ciclicidad ovárica (anestro o ciclando), ni efecto de la presencia o ausencia de manifestación de conducta estral. Sin embargo, se observó que la tasa de celo fue numéricamente superior en el grupo control (66.7 vs 60.0%). Por el contrario, en la tasa de

[1] Sitio Experimental Las Margaritas-Campo-Experimental San Martinito, CIR-Golfo Centro-INIFAP.
[2] Campo-Experimental La Posta, CIR-Golfo Centro-INIFAP.
[3] Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP *calderon.rene@inifap.gob.mx

gestación, aunque solo hubo diferencia (P<0.01) entre vacas y vaquillas (23.7 vs 77.7%), numéricamente el grupo tratado superó al control (64.0 vs 41.5%). En resumen, la suplementación estratégica con minerales y vitaminas es eficiente para lograr un porcentaje de gestación superior al 50%, mejorando numéricamente el resultado en un hato comercial de bovinos productores de carne.

Palabras clave: sincronización, IATF, trópico, bovinos

Introducción

En cualquier sistema de producción con bovinos, la reproducción es un factor determinante para que la rentabilidad del sistema sea de interés para los productores. Hay que destacar que, en condiciones tropicales, sobre todo en el sistema vaca-cría, la elevada edad al primer parto y el prolongado anestro posparto han sido detrimentales, ya que bajo esas condiciones buenos indicadores serían 30 meses de edad al primer parto y un intervalo entre partos entre 13 y 14 meses. Los protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) mejoran la eficiencia reproductiva, ya que pueden provocar cambios favorables, ya sea disminuyendo la edad al inicio del manejo reproductivo o reduciendo el anestro posparto. También se sabe que la progesterona es importante para que el reconocimiento materno tenga éxito, así como para el mantenimiento de la gestación (Mann y Lamming, 2001; Spencer *et al*., 2015), por lo que tanto el uso de estradiol (E_2) previo a la inseminación, como la aplicación de progesterona en el diestro temprano (3 a 7 días después del estro), se han utilizado para mejorar la fertilidad en protocolos de IATF (Mann y Lamming, 1999; Yan *et al*., 2016). Sin embargo, muchos estudios indican que su uso en ese periodo causa mayor incidencia (30-35%) de luteólisis temprana (día 14), lo que puede afectar el reconocimiento materno y mantener la gestación (O'Hara *et al*., 2014a; O'Hara *et al*., 2014b). Sin embargo, cabe resaltar que los resultados sobre la fertilidad son inconsistentes, ya que hay reportes de efecto positivo, efecto negativo y ausencia de efecto. La suplementación estratégica de vitaminas y minerales durante el periodo previo a la IATF se ha relacionado con una mejoría en el desempeño reproductivo de vacas de carne (Gonçalves *et al*., 2018); sin embargo, en México, sobre todo en las áreas tropicales, es común

la falta de micronutrientes como selenio, manganeso, zinc y cobre, así como vitaminas como retinol (A) y tocoferol (E). Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la suplementación mineral de selenio, manganeso, zinc y cobre, y de vitaminas A y E, sobre la respuesta reproductiva en un hato comercial, en condiciones tropicales bajo un sistema vaca-cría con hembras bovinas de la raza Beefmaster, comparado con el manejo rutinario del hato y utilizando un protocolo de IATF.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en el sistema de producción vaca-cría en la unidad de producción "San Rafael", localizada en el municipio de Hueytamalco, Pue., cuyo clima es subtropical húmedo Af(c) (García, 1988). La unidad de producción cuenta con potreros establecidos con pastos del género *Brachiaria*, en su mayoría *brizantha* (Insurgente). De un lote de 95 hembras bovinas de la raza Beefmaster, a una primera palpación transrectal, fueron seleccionados 62 animales, desechando 10 vacas que resultaron tener crías con menos de un mes de nacidas quedando 52 hembras, a las cuales se les retiró la presencia del semental; 35 días después se realizó a través de ultrasonografía (Ultrasonido Aloka 500 con transductor de 7.5 MHz) otra revisión transrectal, resultando 3 animales gestantes y 2 con problemas locomotores, por lo que los animales experimentales se redujeron a 47. De las 47 hembras bovinas restantes, 25 eran multíparas y 22 nulíparas (novillonas en inicio de manejo reproductivo). Al momento de la aplicación del tratamiento, 19 de las 25 vacas (multíparas) presentaban una condición corporal (CC) de 6 a 7.5 y tenían crías entre 3 y 7 meses de edad y seis con CC de 6.5 a 7.5 no tenían cría, 9 de estas vacas presentaban cuerpo lúteo detectado por ultrasonido y 10 no lo presentaron. De las 6 vacas sin cría solo una no presentó cuerpo lúteo. En el caso de las nulíparas (CC entre 7 y 7.5), 6 vaquillas tenían presencia de cuerpo lúteo y 16 no. De acuerdo al estado (CC, vaquilla o vaca, con cría o sin cría; y en anestro o ciclando) de los animales, estos fueron distribuidos aleatoriamente en uno de dos grupos: 1) Dos aplicaciones subcutáneas de minerales (50 mg de cobre; 200 mg de zinc; 50 mg de manganeso; 25 mg de selenio) y vitaminas (vitamina A, palmitato, 175 g; vitamina E, acetato, 250 mg); la primera aplicación fue 15 días previos a la inserción del dispositivo intravaginal (CIDR)

y la segunda al momento de la inserción; y 2) Manejo de rutina (aplicación intramuscular de 1.4 g de glicerofosfato de sodio, 2 g de fosfato monosódico, 40 mg de cloruro de cobre, 60 mg de cloruro de potasio, 250 mg de cloruro de magnesio y 24 mg de selenato de sodio, además de vitaminas A, D y E. El protocolo de sincronización consistió en la inserción, a cada una de las hembras bovinas en estudio, del CIDR con 1 g de progesterona considerando ese momento como día cero; al mismo tiempo, se aplicaron 2 mg de benzoato de estradiol. El CIDR fue retirado el día ocho y al mismo tiempo se aplicaron 150 µg de D-Cloprostenol a todos los animales, y gonadotropina coriónica equina (eCG) a vacas (400 U.I.) y vaquillas (300 U.I) que no mostraron actividad lútea (anestro) durante los 45 días previo a la inserción del CIDR, determinado por ultrasonografía. La IATF se realizó entre las 48 y 56 h después de retirado el CIDR, al mismo tiempo se aplicaron de 10.5 µg (animales con actividad lútea) y 16.8 µg (animales en anestro) de acetato de buserelina. La IATF fue realizada por un solo inseminador con semen de toros probados. El diagnóstico de gestación fue a los 28 días postservicio con equipo de ultrasonografía con transductor de 7.5 MHz. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar. Las variables analizadas fueron la tasa de celo y la tasa de gestación, que fueron consideradas como binarias y se registraron como 1 en los casos de éxito (manifestación de celo o gestante) y como 0 en los casos de fracaso (sin manifestación de celo o no gestante). Los análisis se realizaron con el procedimiento GENMOD del paquete SAS, aplicando un modelo que incluyó los efectos de tratamiento (control, minerales-vitaminas), estatus 1 (vaca o vaquilla), estatus 2 (anestro o ciclando), estatus 3 (celo manifiesto o no manifestó), excepto para la tasa de celo, y la condición corporal de la hembra como covariable. En la declaración del modelo se especificó una función liga logit para la distribución binomial. Las comparaciones entre medias se realizaron con la opción PDIFF de SAS (SAS Institute, 1999).

Resultados y Discusión

En el análisis de la tasa de celos, no se detectó efecto (P>0.05) de tratamiento, ni del estado de la hembra con relación a 1) si era multípara (vaca) o nulípara (vaquilla); 2) su estado de ciclicidad ovárica (anestro o ciclando); y 3) la presencia o ausencia de manifestación de

conducta estral (Cuadro 1). Algo similar ocurrió con la tasa de gestación, con la excepción de que si hubo diferencia (P<0.01) entre vacas y vaquillas.

Cuadro 1. Valores de Chi-cuadrada y probabilidad de los efectos incluidos en el modelo estadístico para analizar las tasas de manifestación de celo y de gestación.

Efecto	Tasa de celo		Tasa de gestación	
	Chi-cuadrada	P	Chi-cuadrada	P
Tratamiento	0.18	0.6226	1.37	0.2425
Estatus 1[a]	0.50	0.4776	7.39	0.0066
Estatus 2[b]	0.25	0.6143	2.62	0.1057
Estatus 3[c]	-	-	1.81	0.1780
Condición corporal	0.02	0.8755	2.94	0.0863

[a]Vaca o vaquilla; [b]en anestro o ciclando; [c]manifestó celo o no manifestó celo.

Derivado de lo anterior, se realizó un análisis que solo incluyó el efecto de tratamiento donde el valor de P fue igual a 0.20, obteniéndose los resultados mostrados en el Cuadro 2, observándose que la tasa de celo fue numéricamente inferior para el grupo tratado (60.0 vs 66.7%).

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para las tasas de manifestación de celo y de gestación, por tratamiento.

Tratamiento	Tasa de celo		Tasa de gestación	
	Media ± EE	IC95%	Media ± EE	IC95%
Control	66.67 ± 10.3	44.67-83.21	41.45 ± 10.6	26.47-65.86
Minerales y vitaminas	60.00 ± 9.8	40.26-76.95	64.00 ± 9.6	44.00-80.09

Por el contrario, la tasa de gestación fue inferior numéricamente en el grupo control (41.5 *vs* 64.0%). Lo anterior sigue la misma tendencia que los resultados informados por Gonçalves *et al*., (2018) en Sudamérica con hembras Nelore donde obtuvieron tasas de gestación del 58.7%en los animales tratados contra 46.5% en el grupo control, aunque ellos si encontraron diferencia estadística (P<0.05), muy probablemente por el número de animales utilizados que fue superior (1,232). Los resultados son consistentes con otros estudios realizados en Sudamérica, que aunque no utilizaron el mismo tratamiento si utilizaron protocolos de IATF,

que a diferencia del utilizado en el presente estudio, ellos aplicaron estrógenos después del retiro del CIDR (Cedeño *et al*., 2021), ya que mientras ellos tuvieron el 76.5% de animales con manifestación de conducta estral 48 horas posteriores al retiro del CIDR, en el presente estudio solo hubo 65.7%; lo anterior pudo deberse a efecto de los estrógenos aplicados en su estudio, previo a la IATF, lo cual se vio reflejado en el porcentaje de gestación que fue de 56.4% para ellos contra 67.5% del presente estudio mostrado en el Cuadro 3; sin embargo, la tasa de gestación en los animales que no presentaron celo, fue más parecida entre ambos trabajos 46.5 vs 44.4% en este estudio.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% (IC95%) para la tasa de gestación, por manifestación del celo.

Manifestó celo	Media ± EE	IC95%
No	34.30 ± 14.2	13.15-64.28
Si	67.52 ± 11.3	43.01-79.34

En el caso de la diferencia (P<0.01) encontrada en la tasa de gestación entre vacas y vaquillas, solo nos confirma que los índices de concepción son menores en vacas (50 a 60%) que en vaquillas (65 a 70%); para el presente trabajo fue de 23.7% para vacas y 77.7% para vaquillas, lo anterior a pesar de que las vacas tuvieron una mayor tasa de celos (70.7 vs 57.6%).

Cabe hacer mención que ni la tasa de celos (68.7 *vs* 59.9%) ni la de gestación (34.3 *vs* 67.5%) fueron diferentes (P>0.05) para los animales en anestro y ciclando, respectivamente; sin embargo, como era de esperarse, hubo una tendencia numérica marcada a favor de las hembras que se encontraban ciclando.

Conclusiones

La suplementación estratégica con minerales y vitaminas es eficiente para lograr un porcentaje de gestación superior al 50% utilizando protocolos de sincronización y/o inducción de estros y ovulación, con inseminación artificial a tiempo fijo, sin la necesidad de utilizar estrógenos al

momento del retiro del CIDR o un día después, mejorando numéricamente el resultado en un hato comercial de bovinos productores de carne.

Literatura Citada

Cedeño, A.V. R. Cuervo, A. Tríbulo, R. Tríbulo, S. Andrada, R. Mapletoft, *et al*., 2021. Effect of expression of estrus and treatment with GnRH on pregnancies per AI in beef cattle synchronized with an estradiol/progesterone-based protocol. Theriogenology Feb; 161:294-300. http://dx.doi.org10.1016/j.theriogenology.2020.12.014.

García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación climática de Koopen. 4th ed., Instituto de Geografía, UNAM, México, 194.

Gonçalves, RL, Maturana FM, Paulo Mendes LJP, Menegon LK, Santin T, Silva MA, *et al*. 2018. Avaliação da suplementação mineral e vitamínica njetável (Kit Adaptador® MIN e VIT, Biogénesis Bagó) na melhoria de parâmetros ovarianos e de fertilidade em vacas Nelore. Anais da XXXII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Tecnologia de Embriões Florianópolis. pp 66-67.

Mann GE, Lamming GE. 2001. Relationship between maternal endocrine environment, early embryo development and inhibition of the luteolytic mechanism in cows. Reproduction 121:175e80. http://dx.doi.org/10.1530/reprod/ 121.1.175.

Mann GE, Lamming GE. 1999. The influence of progesterone during early pregnancy in cattle. Reprod Domest Anim. 34:269e74. http://dx.doi.org/10.1111/ j.1439-0531.1999.tb01250.x.

O'Hara L, Forde N, Carter F, Rizos D, Maillo V, Ealy AD, *et al*. 2014a. Paradoxical effect of supplementary progesterone between day 3 and day 7 on corpus luteum function and conceptus development in cattle. Reprod Fertil Dev. 26: 328e36. http://dx.doi.org/10.1071/RD12370.

O'Hara L, Forde N, Duffy P, Randi F, Kelly AK, Valenza A, *et al* 2014b. Effect of combined exogenous progesterone with luteotrophic support via equine chorionic gonadotrophin (eCG) on corpus luteum development, circulating progesterone concentrations and embryo development in cattle. Reprod Fertil Dev. 269e77. http://dx.doi.org/10.1071/RD14019.

SAS Institute. 1999. SAS/STAT user´s guide. Versión 8.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Spencer TE, Forde N, Lonergan P. 2015. The role of progesterone and conceptusderived factors in uterine biology during early pregnancy in ruminants. J Dairy Sci. 99:1e10. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10070.

Yan L, Robinson R, Shi Z, Mann G. 2016. Efficacy of progesterone supplementation during early pregnancy in cows: a meta-analysis. Theriogenology 85: 1390e8. http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.12.027.

PRODUCCIÓN DE LECHE A PEQUEÑA ESCALA EN LA COSTA CENTRAL DE VERACRUZ

Jaime Rangel Quintos, Maribel Montero Lagunes, Ana Karen Pérez Godínez,
Francisco Indalecio Juárez Lagunes, Francisco Tobías Barradas Piña y Laura Hernández Andrade

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue describir la producción primaria de leche para identificar la problemática que limita la integración de Pequeños productores de leche tropical de la costa central de Veracruz a partir de la caracterización de aspectos socioeconómicos y de condiciones asociadas al proceso de ordeño y comercialización. El trabajo se realizó en tres municipios de la región del Estado: Tlalixcoyan, Cotaxtla y Medellín. La región es característica del trópico seco con clima cálido subhúmedo: precipitación y temperatura media anual de 1564 mm y 26°C respectivamente. Se identificaron 72 productores cooperantes de fincas proveedoras de las queserías artesanales distribuidos, en Cotaxtla 28 localidades, Medellín cinco y Tlalixcoyan 39. Los productores se eligieron por muestreo no probabilístico a partir del criterio de conveniencia, a quienes se les aplicó un cuestionario que incluía variables socioeconómicas, productivas, proceso de ordeña y comercialización de leche, que fueron analizadas con estadística descriptiva. Los resultados indicaron que la finca tipo principalmente, es familiar, el productor cuenta con un promedio de dos trabajadores fijos. La producción se realiza bajo el sistema doble propósito. El número promedio de vacas en el hato es de 30 de las cuales entre17 y 22 están en producción durante el año. El volumen de producción de leche estuvo relacionado con los periodos de sequía donde la producción fue menor que en la temporada de lluvias. El proceso de ordeño es predominantemente manual, y sin un área específica para realizar esta actividad de acuerdo a las “Buenas prácticas pecuarias, sistema de explotación extensivo y semi-extensivo de ganado bovino de doble propósito”. El mantenimiento de la calidad higiénico sanitaria de la leche, es un punto crítico detectado. Otras problemáticas expuestas por los productores fueron la mastitis, la posibilidad de que la leche se acidifique, la fauna nociva y la distancia y tiempo al sitio de venta de la

leche. Se detectó que prácticamente la venta de leche está asegurada a queseros de la región. Se concluye que esta actividad es de suma importancia en la generación de medios de vida rurales, además de aportar a la seguridad alimentaria. No obstante, se deben eficientizar los procesos de producción en este eslabón de la cadena mediante capacitación, investigación y financiamiento.

Palabras clave: bovinos doble propósito, lechería tropical, cadena de suministro

Introducción

La alimentación de la población cada vez está más globalizada poniendo en riesgo alcanzar la seguridad alimentaria, ante un mercado que requiere aceleración de cambio y necesidades de abasto, lo cual, genera una presión socioeconómica, ambiental, de políticas públicas, además de adaptar y generar prácticas técnico-productivas sostenibles sin afectar la rentabilidad de la cadena agroalimentaria (World Health Organization, 2020). Las cadenas de suministro de alimentos se enfrentan al reto de garantizar de forma viable, suficiente y nutritiva los alimentos, minimizando lo más posible impactos negativos en el ambiente, sin arriesgar el crecimiento económico y la igualdad social (La Gra *et al.,* 2016).

En la actualidad, hay una demanda insatisfecha por alimentos de origen animal y en especial por leche, por lo que el sector ganadero debe generar cambios estructurales en sus sistemas de producción que permitan garantizar el abasto. No obstante, las implicaciones sociales de estos cambios se definen en función a su aporte a la mitigación de la pobreza y asegurar la calidad de alimentación para todos, la cuestión es, si el desarrollo ganadero puede beneficiar a los pequeños productores o pueden incrementar su marginalización (OTTE y Feelis-Rota, 2018).

Ante esta situación, los pequeños productores ganaderos se encuentran en medio de una encrucijada, donde el crecimiento y desarrollo de la producción está cada vez más ligado a la intensificación y uso de los recursos disponibles, lo que tiende a disminuir sus oportunidades al limitar sus capacidades de abasto y de avances tecnológicos (Van´T, Hoof *et al.,* 2012).

La producción de leche a pequeña escala en el trópico, se fundamenta en la tierra y el forraje básico que se produce en la finca, rara vez se complementa con la compra de concentrado. Por lo general, es un sistema mixto clasificado como “doble propósito”, donde los animales utilizan tierras de pastoreo y residuos de la producción de cultivos para producir leche y becerros en pie para venta.

Los recursos forrajeros disponibles en la granja a menudo son de bajo o nulo costo, y además pueden aprovechar residuos de la industria, como la melaza, desechos de cervecerías, semillas oleaginosas entre otros (Rangel *et al.,* 2017 y Henriksen, 2009).

La producción de leche a pequeña escala es una importante actividad económica que puede reducir la pobreza y mejorar las estrategias de sobrevivencia de la población rural (FAO and GDP, 2018). El sistema de producción de doble propósito permite que el productor obtenga una venta diaria de leche y la venta estacional de becerros (García-Martínez *et al*., 2015). La incursión de la producción de leche en pequeña escala a la cadena láctea, genera aproximadamente 50 oportunidades adicionales de empleo asalariado a tiempo completo por cada 1 000 litros de leche producidos diariamente, además de crear otros puestos de trabajo indirectamente vinculados a la producción de leche, a través del suministro de insumos y servicios (Henriksen, 2009).

El costo de la producción de leche es bajo, sin embargo, la productividad es baja y la comercialización de la leche se lleva a cabo a nivel local, difícilmente en centros urbanos debido a la infraestructura deficiente y la falta de vínculos para su comercialización, además de que la producción de leche en pequeña escala se caracteriza por el pequeño volumen por productor, a menudo, de mala calidad higiénica.

El mercado de la leche es una mezcla compleja de actividades informales y formales con el fin de satisfacer las demandas de grupos con ingresos y preferencias muy diferentes de consumo. Las ventas a pie de granja es la forma más directa y económica de comercialización (Romero y Fuenmayor, 2017).

El estado de Veracruz es uno de los principales productores de leche en el país y el más importante bajo condiciones de trópico. No obstante, la mayor parte de la producción se realiza a baja escala y en sistemas de doble propósito, las fincas están ubicadas en zonas de alta vulnerabilidad tanto social como ambiental. La cadena de producción de lácteos a la que acceden, cuenta con puntos críticos que originan inestabilidad en la calidad final del producto

a conseguir a partir de la producción ´primaria, donde el productor cuenta con pocos animales, carencias tecnológicas, de conocimientos y complicaciones financieras, además de cada vez, más limitado acceso a mano de obra.

El objetivo del presente trabajo fue describir la producción primaria de leche para identificar la problemática que limita la integración de productores de leche tropical de la costa central de Veracruz a partir de la caracterización de aspectos socioeconómicos y de condiciones asociadas al proceso de ordeño y comercialización. Cabe destacar que este trabajo se presentan resultados preliminares de un estudio a nivel local sobre la caracterización de puntos críticos sanitarios para la trazabilidad de la leche y queso tropicales de bovinos doble propósito.

Materiales y Métodos

Localización: La zona de estudio fueron los municipios de Tlalixcoyan, Medellín de Bravo y Cotaxtla, pertenecientes a la costa Central del estado de Veracruz. El uso de suelo es principalmente para actividades agrícolas y ganaderas, la región cuenta con las cuencas hidrológicas del Río Jamapa y Papaloapan, así como diversas subcuencas.

La región es característica del trópico seco donde predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación media anual de 1564 mm, la cual se concentra en un 80% en los meses de junio a octubre. La temperatura media anual es de 26°C, alcanzándose hasta 44 grados en verano. La región es susceptible a fenómenos climáticos como sequias de hasta siete meses, vientos de norte con velocidades desde 45 km/h hasta llegar a los 120 km/h. La población de la región es de 814,494 habitantes (11.79%) de la población estatal, distribuidos en 1399 localidades, la mayor parte de ellas son clasificadas por CONAPO (2011) con Grados de Marginación de alta a muy alta.

Esta región produjo 69,862.67 litros de leche en el 2020, con un valor de la producción de 426,235.97 miles de pesos, lo que equivale al 9% de la producción del Estado. Los municipios de Manlio Fabio Altamirano, Tlalixcoyan, y Cotaxtla, los principales productores de la región (SIAP, 2021).

Recolección de la información. A partir del criterio de conveniencia se consultó a 72 productores cooperantes de leche proveedores de queserías de la región provenientes de 46

localidades distribuidos de la siguiente manera: 39 de Tlalixcoyan, 28 de Cotaxtla y 5 de Medellín de Bravo, a quienes se les aplicó un cuestionario de 67 preguntas estructuradas sobre aspectos del manejo de la ordeña, alimentación del ganado, sanidad y características socioeconómicas.

Las variables empleadas para la caracterización de la unidad productiva se engloban en aspectos socioeconómicos, proceso de la ordeña y comercialización de leche.

Para el análisis de la información se utilizó estadística descriptiva, la cadena se definirá por mapeo de procesos y la propuesta de trazabilidad se realizará a partir de los puntos críticos identificados en la cadena.

Resultados y Discusión

Los productores entrevistados viven en localidades rurales caracterizadas por ser de alta y muy alta marginación y con vulnerabilidad ambiental, dependen de sus actividades agropecuarias para asegurar sus ingresos y seguridad alimentaria de la familia. Los productores tuvieron un promedio de escolaridad de primaria (seis años), cuentan con una experiencia de más de 34 años como productores, la ganadería ha sido una de las actividades que aprendieron a desarrollar prácticamente desde niños. Los productores no desarrollan una sola actividad económica, ellos necesitan diversificar sus actividades. La ganadería forma parte de las actividades que generan ingresos a la familia e implica un bajo riesgo y bajo costo, pero también baja producción tal como lo menciona Herrero *et al*. (2013).

El 94% de los entrevistados consideran su finca de carácter familiar. Indicaron tener dos trabajadores fijos (incluyendo al propietario) con un máximo de 10, la cantidad depende del número de vacas en producción. No obstante, el promedio de personas involucradas específicamente en la ordeña es de 2.02 con un máximo de 4. El 91% indicó que el mismo jefe de familia ordeña, mientras que el 48% contratan personal para realizar la ordeña.

La distancia del rancho a la casa del productor es variable encontrándose una media de 3.2 km con un máximo de 50 km. No obstante, la distancia del rancho a la cabecera municipal es en promedio de 14.3 km +/- 8.6, con un máximo de hasta 40 km.

Los productores cuentan con un hato de 83 animales. El número de vacas adultas en promedio es de 30.46, de las cuales cuentan con 17.31 y 22 vacas en producción en época de sequía y lluvias, estos resultados se asemejan a los encontrados por Rangel *et. al*. (2017) donde ubican una media 29.58 vacas adultas para granjas doble propósito de tamaño mediano.

La producción de leche varia durante el año (Figura 1). La producción está íntimamente relacionada a la disposición de forrajes y estos en temporadas de secas (noviembre hasta mayo) y lluvias (mayo a septiembre).

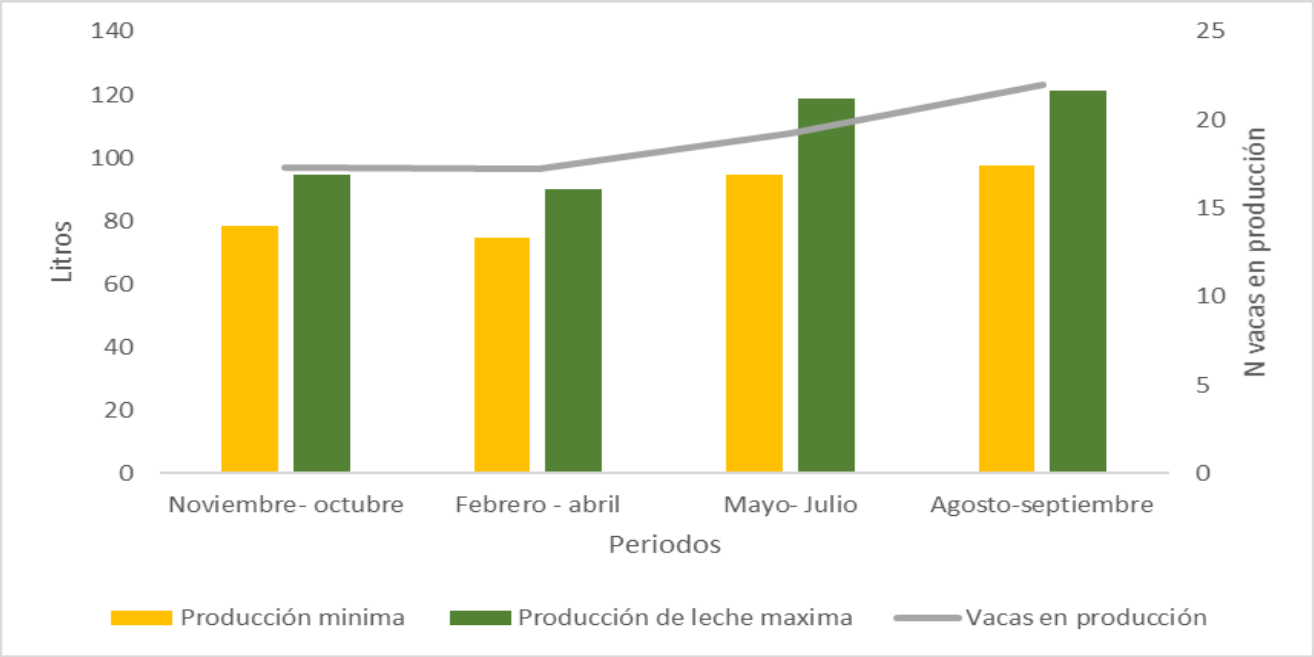


Figura 1. Distribución de la producción de leche por épocas del año.

El ordeño es predominantemente manual (94.4%) y solo el 5.6% realiza ordeño mecánico. En el caso de la ordeña manual, destaca que los productores no cuentan con una sala destinada para esta actividad, las vacas son ordeñadas en su mayoría (52.8%) en el corral de manejo o espacio para la ordeña. El 86.1% mencionó realizar el ordeño a puño cerrado. En los pocos casos de productores que contaban con ordeñadora mecánica, el 40% reportó contar con ordeñadora de gasolina y el otro 40% tiene a gasolina y electricidad.

En la mayoría de las fincas se realiza un ordeño al día por la mañana, el cual inicia a las 6:00±1.5 horas. En promedio el tiempo que dura la ordeña es de 4±.09 horas. El 72.2% mantiene a sus vacas de ordeño en hato separado, y un 69.4% manea a las vacas para la contención durante la ordeña.

Aun cuando la práctica de higiene es de suma importancia durante todo el proceso de la ordeña, se destacó que solo el 33% de los productores lava los pezones de las vacas antes del apoyo del becerro, solo el 20.8% realiza observación de ubre y muy pocos (8.3%) realizan prueba de California espontáneamente (Figura 2).

El 86.1% de la estimulación de la liberación de la leche se realizó con apoyo del becerro al pie de la vaca y el 27.8% reportó utilizar hormona (oxitocina), al finalizar el ordeño el becerro se quedó con la vaca. Destaca que solo el 34% comentó no realizar limpieza del espacio de ordeña.

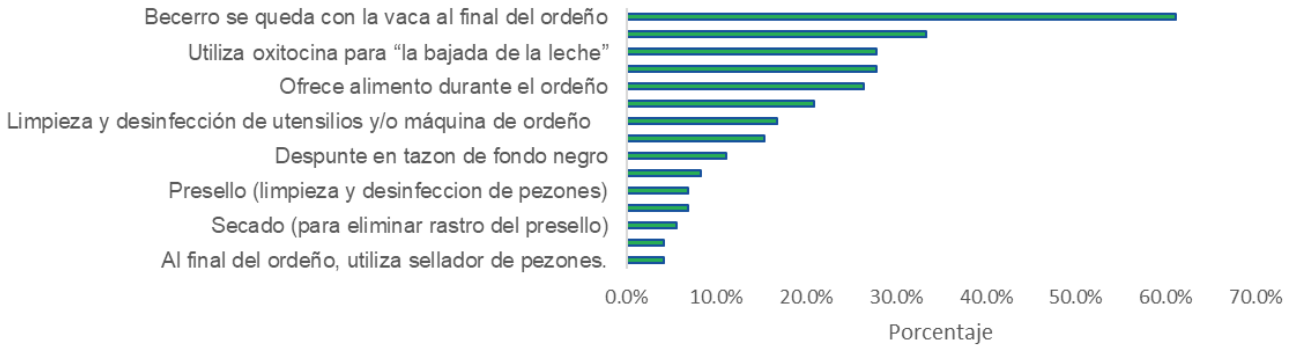


Figura 2. Prácticas higiénicas de ordeño.

La principal forma de abastecimiento de agua (91.1%) utilizada para el ordeño provino de pozos artesanales, muy pocos (4.2%) cuentan con agua potable. La leche producida es recolectada en cubetas de plástico (80.6%) o aluminio (20.9%). Para la limpieza de los contenedores se utilizaron principalmente detergente comercial (77.8%), cloro (59.7%), esponjas (40.3%), cepillos (18.1%).

La problemática que manifestaron los productores destacan que en el manejo del hato y ordeña fueron: fauna nociva (48.6%), falta de sala de ordeño (27.8) mastitis (18 %), distancia al sitio de venta de la leche (22%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales problemas de manejo que señalan los productores.

Problemas de manejo	Porcentaje (%)
No se dispone de sala de ordeño	27.8%
Mastitis	18.1%
La leche se echa a perder rápido	2.8%
Fauna nociva	48.6%
Distancia al sitio de venta de la leche	13.9%
Almacenamiento de leche	1.4%

Los resultados muestran que los meses de mayo-julio y agosto-septiembre en promedio se obtiene mínimo 6.13 y 6.19, máximo 8.67 y 8.69 litros diarios de leche ordeñada/vaca/época de año respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Promedio de litros de leche ordeñada por vaca/día/época*.

Meses	Mínimo	Máximo
Noviembre-Enero	5	7.3
Febrero-Abril	5.06	7.48
Mayo-Julio	6.13	8.67
Agosto-Octubre	6.19	8.98

*Noviembre-Enero = época de “nortes”; Febrero-Abril = época de secas; Mayo-Julio = Lluvias iniciales; Agosto-Octubre = lluvias tardías.

La venta de la leche se realizó por lo regular caliente (75%). El tiempo promedio que transcurre desde el término del ordeño de las vacas por los productores hasta la entrega de la leche es de aproximadamente de 1 horas y 28 minutos. Las principales formas de comercialización son; el quesero a través de su red de recolección (Figura 3) es el encargado de ir por la leche a la puerta del corral (77.8%), algunos productores llevan la leche a píe de carretera (9.7%) y muy pocos llevan la leche a centros de acopio (6.9%)

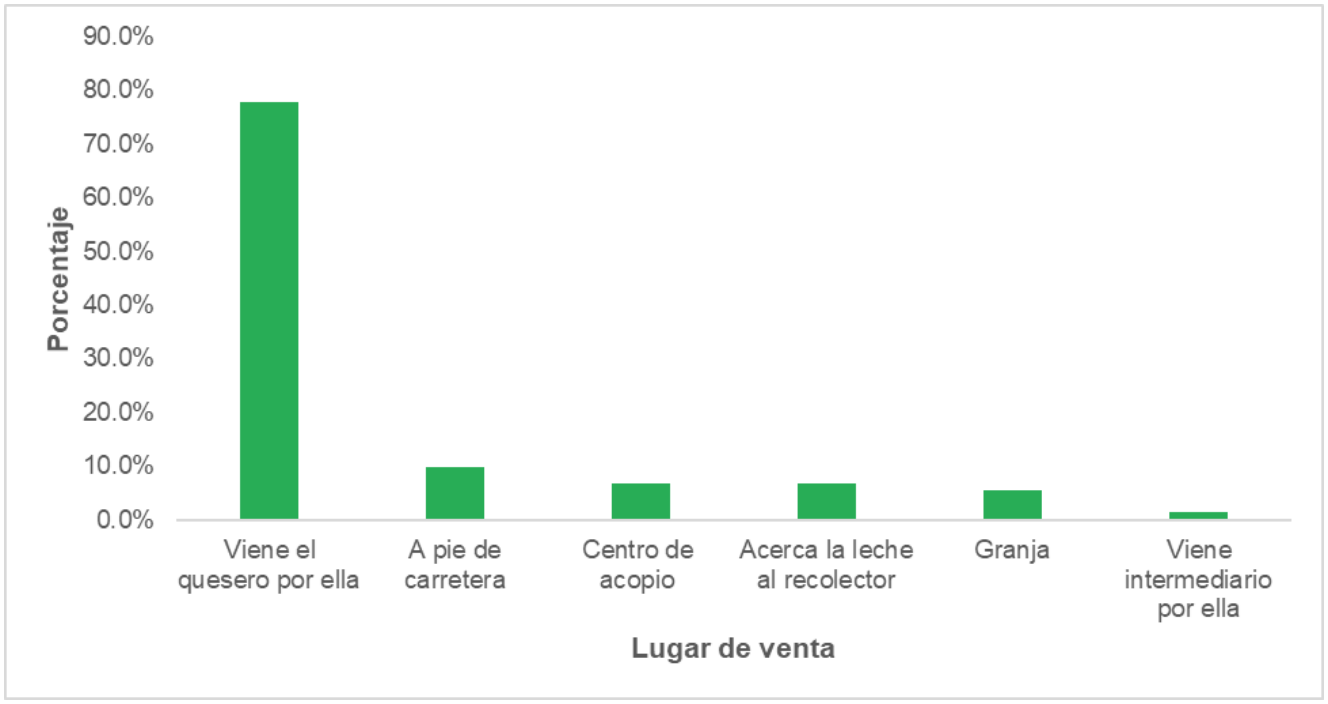


Figura 3. Lugar de comercialización de la leche.

La producción de leche se realizó prácticamente todos los días del año. El volumen total diario de leche para venta por rancho en el año 2021 fue de 88.18 litros con un precio promedio de $7.24 MXN. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Inventario por rancho para la comercialización de leche y becerros.

Tipo de animales para comercialización	Media	Desviación estándar
Número de vacas en ordeño el año pasado		
Volumen de producción de leche al día	88.18	57.17
Número de días que ordeño en el año	352.54	51.82
Precio de la leche por litro	7.24	0.61
Numero de becerros producidos en el año inmediato anterior	16.31	12.59
Número de becerros vendidos en el año anterior	9.85	9.99
Número de animales de deshecho vendidos el año anterior	7.19	7.50

Los problemas que afectaron la comercialización de leche de acuerdo a lo reportado por los productores fueron los factores ambientales (99%) destacando la sequía y los “nortes” son las afectaciones correspondientes a la disposición de alimento para los animales y la baja

producción de leche. El precio de venta de la leche (25%) fue también mencionado, especialmente en cuanto a las fluctuaciones de precios durante el año (Figura 4).

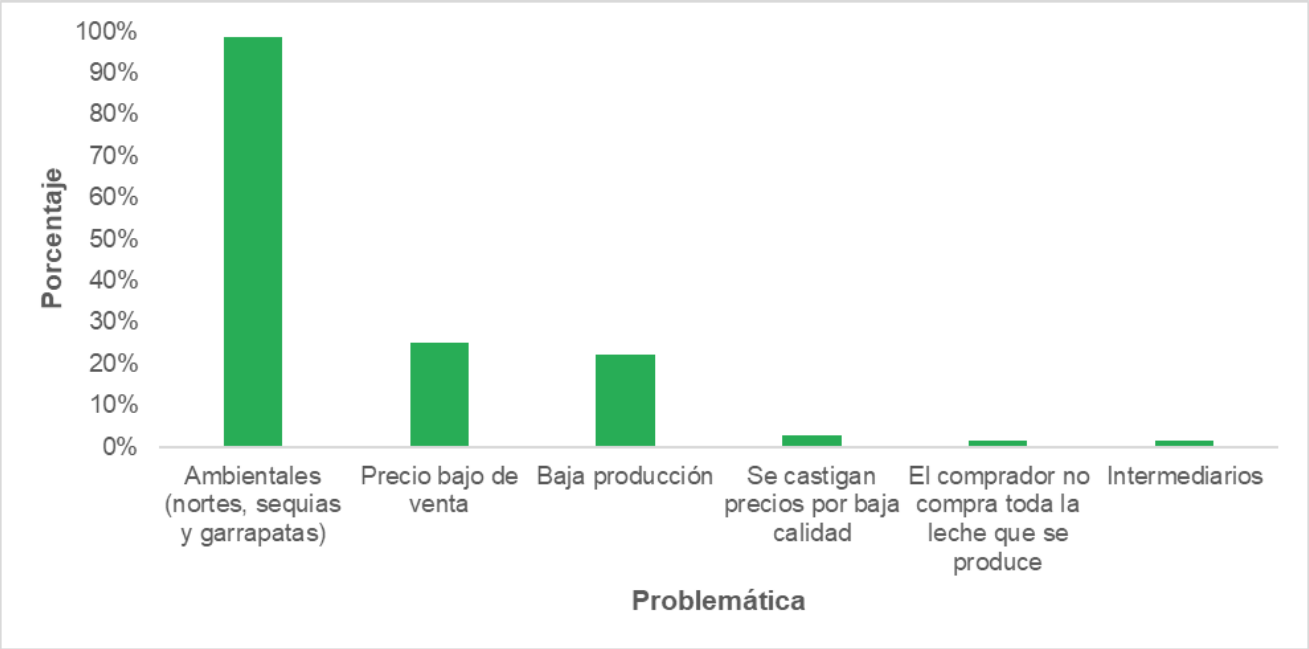


Figura 4. Principales problemas que aquejan en la comercialización de leche.

Los resultados de este trabajo indicaron que la venta de leche es distribuida a lo largo del año, de acuerdo con Otte y Feli-Rota (2018), esta situación crea oportunidades de ingreso y transfiere flujo de efectivo y capital más allá de la finca; esto contrasta con muchos cultivos comerciales que se cosechan y se vende una o dos veces al año. Si bien se encontró que la mayor parte de las fincas son de carácter familiar, el productor de leche en pequeña escala debe optimizar la utilización de los recursos disponibles como la mano de obra, la tierra, el agua y diversificar sus ingresos no solo a la comercialización de leche, carne, además como lo menciona (Vargas *et al.,* 2007), en algunos casos, estiércol, pieles y otros beneficios no comercializables como seguridad/ahorro y un medio para financiar gastos emergentes.

Si bien, se detectó que el productor prácticamente tiene asegurada la venta de toda la leche que produce durante el año, se destaca que su principal problemática es la constancia en la oferta derivada de los efectos climáticos que le generan vulnerabilidad e incertidumbre de su capacidad técnica y financiera para solventar esta situación. Un problema básico es que el productor no cuenta con un área de ordeño en condiciones mínimas para dar cumplimiento

básico en las normas señaladas en el Manual de buenas prácticas pecuarias. sistema de explotación extensivo y semi-extensivo de ganado bovino de doble propósito de SENASICA (2014), por ejemplo, se menciona que “Independientemente del tipo de ordeño que se realice, debe destinarse un área específica que cuente con piso de cemento y bretes para sujetar a las vacas”. Así también se pueden agregar la ubicación de áreas para eliminación de deshechos de almacén de alimentos y productos químicos.

Un aspecto importante que se detectó en esta investigación es que la leche se comercializa en su mayor parte a queseros, sin un estándar identificado en la calidad e inocuidad del producto final. Se visualizó como uno de los puntos críticos los tiempos y condiciones de entrega de leche. Lo que coincide con Romero y Fuenmayor (2017), las oportunidades de expansión son limitadas, ya que la leche cruda no puede viajar más allá del mercado local. Los compradores de leche son importantes en la etapa inicial de comercialización, entran en escena para vincular a los productores con un mayor mercado.

De acuerdo con Romero y Fuenmayor (2017), la leche ingresa a los mercados formales e informales, y el equilibrio entre los dos sistemas de comercialización es delicado y está lleno de intereses en conflicto entre los actores involucrados. Sin embargo, existen varios problemas en la integración de este eslabón de la cadena debido a que la leche es un producto perecedero en función a aspectos ligados a la conservación de la inocuidad y calidad alimenticia, con alto riesgo de crear adulteración y el manejo antihigiénico de la leche ante una infraestructura y un sistema de transporte deficientes en un entorno con una temperatura ambiente alta fácilmente da como resultado que la leche se acidifique antes de llegar a un mercado urbano distante o a una planta de procesamiento. Situación que pudiera mejorarse mediante la capacitación y la concesión de licencias a los vendedores de leche en función de las normas para la manipulación y comercialización higiénica de la leche de acuerdo a Henriksen, J. (2009).

Uno de los grandes retos de la producción de leche a pequeña escala es el desarrollar un sistema eficiente, factible y asequible para la recolección de leche, transporte, procesamiento y el marketing (Otte y Felis-Rota, 2018 y Conde Jerez, 2013). Existe un gran potencial para mejorar el sistema de producción aumentando la productividad, reduciendo las fluctuaciones estacionales y, lo más importante, reducir los costos de transacción a lo largo de la cadena desde la finca hasta el consumidor. (Henriksen, 2009). Lo que desarrolla también oportunidades para proveedores de servicios como herreros, transportistas, comerciantes,

farmacias, instituciones financieras, veterinarios, tiendas generales y servicios de asesoría. El desarrollo de los servicios de insumos y abastecimiento genera actividad económica y tiene un impacto positivo sobre los medios de vida rurales (Conde Jerez, 2013).

Los ganaderos necesitan servicios de asesoramiento técnico en alimentación animal, manejo, higiene de la leche, sanidad animal, cría de animales y economía pecuaria. La provisión de estos servicios, hasta hace poco tiempo, ha sido por lo general a través del gobierno, pero ahora se deposita una mayor confianza sobre los proveedores de servicios del sector privado.

Conclusiones

La producción de leche a pequeña escala forma parte de la diversificación productiva y tiene un impacto positivo sobre los medios de vida rurales al ofrecer ingresos y empleos, así como para el desarrollo de la cadena láctea genera actividad económica. Además de ser una actividad que aporta a la seguridad alimentaria de la población. La oferta continua y la garantía de la inocuidad de la leche producida son puntos críticos sobre los cuales se deben dirigir los procesos de capacitación e investigación.

Uno de los grandes retos de la producción de leche a pequeña escala es el desarrollar un sistema eficiente, factible y asequible para la recolección de leche, transporte, procesamiento y el marketing.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero con recursos fiscales del INIFAP como parte del proyecto de continuidad 850035068: Caracterización de puntos críticos sanitarios para la trazabilidad de la leche y quesos tropicales de bovinos doble propósito.

Literatura Citada

CONAPO, 2011. Indicadores socioeconómicos, índice y grado de marginación. Consejo Nacional de Población y Gobierno. Recuperdado 17 de abril de www.gob.mx/conapo.

Conde Jerez, L. M. 2013. Logística para el transporte de leche a los centros de acopio en el municipio de Sibaté.

FAO and GDP. 2018. Climate change and the global dairy cattle sector—the role of the dairy sector in a low-carbon future.

García-Martínez, A., Albarrán-Portillo, B. y F Avilés-Nova. 2015. Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. Agrociencia, 49(2), 125-139.

Henriksen, J. 2009. Milk for health and wealth. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Herrero, M., Grace, D., Njuki, J., Johnson, N., Enahoro, D., Silvestri, S and M.C. Rufino. 2013. The roles of livestock in developing countries. Animal, 7(s1), 3-18.

La Gra, J., Kitinoja, L. y K Alpízar. 2016. Metodología de evaluación de cadenas agroalimentarias para la identificación de problemas y proyectosun primer paso para la disminución de pérdidas de alimentos (No. IICA E10 1290). IICA, San José (Costa Rica).

Otte, M. J. and A. Felis-Rota. 2018. Dairy development's impact on poverty reduction. FAO, GDP and IFCN, Chicago, Illinois, USA. Licence: CC BY-NC-SA, 3.

Rangel, J., Espinosa, J. A., de Pablos-Heredero, C., Rivas, J., Perea, J., Angón, E. and A. García-Martínez. 2017. Is the increase of scale in the tropics a pathway to smallholders? Dimension and ecological zone effect on the mixed crop-livestock farms. Spanish Journal of Agricultural Research, 15(2), e0109-e0109.

Romero, R. M. and J.V. Fuenmayor. 2017. Proceso de comercialización de productos derivados de la ganadería bovina doble propósito. Negotium, 13(37), 47-61.

SENASICA, 2014. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias, Sistema de Explotación Extensivo y Semi-Extensivo de Ganado Bovino de Doble Propósito. Servicio de Sanidad, Inocuidad y Calidad, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Información Datos Abiertos.

Van´T, Hoof K., Wollen, T. S. and D.P. Bhandari 2012. Sustainable livestock management for poverty alleviation and food security. Cabi.

Vargas, A. C., Fernández, M. A., Valverde, B. R., Haro, J. G. H. and D.M. Carrera. 2007. Ganadería lechera familiar y producción de queso. Estudio en tres comunidades del municipio de Tetlatlahuca en el estado de Tlaxcala, México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 45(1), 61-76.

World Health Organization. 2020. The future of food safety: transforming knowledge into action for people, economies and the environment: technical summary by FAO and WHO.

DIAGNÓSTICO DE LAS NECESIDADES DE CAPACITACIÓN DE AGENTES DE CAMBIO PECUARIOS DEL ESTADO DE GUANAJUATO

América Alejandra Luna Estrada[1*], Karla Itzél Alcalá Escamilla[2] y Tomás Arturo González Orozco[3]

Resumen

El objetivo del estudio fue identificar las necesidades de capacitación de los agentes de cambio (AC) del estado de Guanajuato, que participaron en un programa estatal de apoyo a pequeños productores pecuarios en el periodo 2021, con el interés de que a corto plazo reciban ofertas de preparación profesional que les permitan efectuar su labor con mayor eficacia. Se analizó la información de 50 encuestas aplicadas a agentes de cambio de los sistemas producto caprinos, ovinos, porcinos, y bovinos productores de leche y carne; que trabajaron con el modelo GGAVATT. Con ayuda del programa GraphPad Prism 8.4® se calcularon frecuencias, promedios y porcentajes de la información obtenida, y se crearon las variables y sus componentes, sobre las demanda de capacitación. Los temas de interés fueron Administración (12.2%), Alimentación y Nutrición (11,8%), Reproducción (11.5%), Conservación y Uso de Forrajes (11.2%), Salud Animal (10.9%), Transformación de la Producción (9.4%), Conservación del Medio Ambiente (9.1%), Desarrollo Rural (8.6%), Genética y Selección (8.1%) y Manejo General (7.3%). Se concluyó, indirectamente, que los tópicos en los que los productores requieren mayor apoyo para la implementación de tecnologías en las unidades de producción, estuvieron relacionadas, con aquellas que mejoran la productividad e ingresos, a través de una instrucción dirigida a temas de administración. Asimismo, en los rubros que les generan más egresos como son la alimentación del ganado y problemas reproductivos que pueden afectar la producción de los hatos.

Palabras clave: asistencia técnica, tecnología, ganaderos, GGAVATT

[1] *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CENIDFyMA; luna.america@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CENIDFyMA.
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-C.E. Bajío.

Introducción

Los agentes de cambio (AC) agropecuarios, extensionistas o Prestadores de Servicios Profesionales (PSP), desempeñan un papel fundamental en el proceso de asistencia técnica (AT) y capacitación de los productores; tanto en la práctica privada o incorporados en programas gubernamentales de apoyo al campo. Ellos, tienen la importante tarea de difundir conocimientos entre los productores, propiciar el desarrollo de sus habilidades y concientizarlos sobre el uso e implementación de tecnologías en las unidades de producción (UP), para que los recursos de los que disponen se utilicen de manera eficiente y obtengan beneficios evidentes de su actividad productiva (Muñoz y Santoyo, 2010). Debido a la relevancia de su labor, es deseable que los AC cuenten con experiencia adecuada y continuamente fortalezcan sus competencias o adquieran nuevas, que les permitan enfrentar dificultades laborales, económicas y sociales en el desempeño profesional (Monsalvo *et al*., 2017). En el mismo contexto, Loaiza *et al.* (2018) refieren que la innovación y adopción de tecnología en el sector rural nacional requiere de conocimientos, no solo para el desarrollo de las capacidades de los AC, sino también para que tengan la habilidad de transmitir dichos conocimientos a los productores, y estos puedan implementar con mayor éxito las tecnologías en las UP. Por otro lado, Amaro y de Gortari (2016) mencionan que uno de los problemas que enfrentan los AC en el ejercicio de su trabajo, es la poca o nula actualización académica que reciben o la que acceden por iniciativa propia, y en el caso de que la tengan, frecuentemente es limitada o de calidad inadecuada. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue realizar un diagnóstico sobre las necesidades de capacitación de AC pecuarios de Guanajuato, que participaron en el programa estatal “Mi Ganado Productivo”, para que a corto plazo reciban ofertas de formación para el desarrollo de competencias y fortalecimiento en su ámbito laboral, y que, además, sean capaces de ofrecer servicios de mayor eficiencia

Materiales y Métodos

A través de la aplicación de una encuesta se realizó el diagnóstico sobre las necesidades de capacitación de 50 AC del estado de Guanajuato, que participaron en el programa estatal de

apoyo a pequeños productores “Mi Ganado Productivo”, de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Rural (SDAyR); en el componente de Capacitación, Asistencia Técnica y Administrativa. El periodo de AT tuvo una duración de seis meses (marzo-septiembre de 2021); durante el cual se atendieron a ganaderos de los sistemas producto caprinos, ovinos, porcinos, y bovinos productores de leche y carne. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) fue el responsable del seguimiento y evaluación del trabajo de los AC, quienes realizaron sus actividades utilizando el modelo GGAVATT como fundamento metodológico (Román *et al*., 2007). Se diseñó y aplicó (antes de iniciar el periodo de AT, vía correo electrónico) un cuestionario estructurado en 10 temas, relacionados con áreas de veterinaria y zootecnia, medio ambiente, administración, transformación de la producción y desarrollo rural; cada sección contó con opción de respuesta múltiple. Para definir las temáticas de mayor interés en la demanda de capacitación y sus componentes, se crearon las variables que se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de las variables de los temas de capacitación de interés, incluídos en las encuestas realizadas a AC pecuarios del estado de Guanajuato. Periodo 2021.

Variables	Componentes
1.- Administración **(Adm)**	1.1. Cálculo de costos de producción **(CaCosP)**
	1.2. Evaluación técnica y económica de la unidad de producción **(ETyEUP)**
	1.3. Producción con enfoque en la demanda del consumidor **(ProEDCon)**
	1.4. La mentalidad empresarial **(MEm)**
	1.5. Inducción del valor agregado a la actividad primaria **(InAAP)**
2.- Alimentación y nutrición **(AlimyNut)**	2.1. Balanceo de raciones **(BaRa)**
	2.2. Nutrición por etapa productiva **(NutEP)**
	2.3. Uso de ensilados **(UE)**
	2.4. Uso de sales minerales **(USM)**
3.- Reproducción **(Rep)**	3.1. Evaluación reproductiva de hembras y machos **(ERHyM)**
	3.2. Sincronización de estros **(SE)**
	3.3. Empadre controlado **(EC)**
	3.4. Diagnóstico de gestación **(DG)**
4.- Conservación y uso de forrajes **(ConyUFor)**	4.1. Elaboración de ensilados **(ElEn)**
	4.2. Métodos de henificación de forrajes **(MetHen)**
	4.3. Alternativas forrajeras **(AltFor)**
	4.4. Siembra de pastos de temporal **(SiPasT)**

Continúa Cuadro 1…

Variables	Componentes
5.- Salud animal **(SA)**	5.1. Diseño de un calendario sanitario **(DCSan)**
	5.2. Programa de bioseguridad **(PBio)**
	5.3. Diagnóstico, prevención y control de enfermedades parasitarias **(DPyCoEP)**
	5.4. Diagnóstico, prevención y control de clostridiasis **(DPyCoC)**
6.- Transformación de la producción **(TP)**	6.1. Métodos de pasteurización de la leche **(MePaLec)**
	6.2. Elaboración de subproductos de la leche **(ESubLec)**
	6.3. Elaboración de otros subproductos **(EOSub)**
7.- Conservación del medio ambiente **(CMA)**	7.1. Elaboración de composta y lombricomposta **(ComyLom)**
	7.2. Ensilaje de cerdaza para alimentación de rumiantes **(EnCer)**
	7.3. Uso de arbustivas **(UArb)**
8.- Desarrollo rural **(DR)**	8.1. Organización de los productores **(OrP)**
	8.2. Manejo de conflictos **(MaCon)**
	8.3. Trabajo con adultos mayores **(TAdMa)**
9.- Genética y selección (**GenySel)**	9.1. Selección de hembras y machos de reemplazo **(SeHyM)**
	9.2. Interpretación de catálogos para selección de sementales **(InCat)**
10.- Manejo general **(MG)**	10.1. Manejo y calostrado del recién nacido **(MayCaRN)**
	10.2. Métodos de descorne **(MD)**

Fuente: Elaboración propia con información de las entrevistas realizadas a los AC de Guanajuato.

Análisis de la información

Con la información obtenida de las encuestas se elaboró una base de datos en el programa Excel (Office Microsoft®); con ayuda del programa GraphPad Prism 8.4® se calcularon frecuencias, promedios y porcentajes, y se ilustraron gráficamente los resultados.

Resultados y Discusión

Los AC entrevistados realizaron sus actividades en 28 municipios de Guanajuato: Abasolo, Acámbaro, Apaseo el Alto, Apaseo el Grande, Comonfort, Coroneo, Dolores Hidalgo, Dr. Mora, Guanajuato, Irapuato, León, Manuel Doblado, Moroleón, Ocampo, Pénjamo, Romita, Santa Catarina, Salamanca, Salvatierra, Santa Cruz de Juventino Rosas, San José Iturbide, San Francisco del Rincón, San Luis de la Paz, San Miguel de Allende, Tarimoro, Valle de Santiago, Villagrán y Yuriria; que representó una cobertura estatal en el servicio de 60.9%. La Figura 1

representa la manera en que se distribuyó la demanda de capacitación de los AC, en las diferentes áreas relacionadas con la actividad pecuaria de los sistemas producto caprinos, ovinos, porcinos, y bovinos productores de leche y carne, atendidos en 2021. Se observa también, que las tres áreas de mayor demanda fueron en disciplinas de Adm, AlimyNut y Rep.

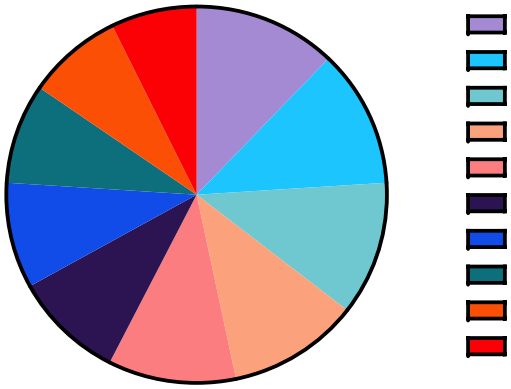


Figura 1. Distribución de los temas generales en las demandas de capacitación por AC pecuarios del estado de Guanajuato. Periodo 2021.

Cuevas *et al.* (2017) analizaron la información de 1128 encuestas aplicadas a extensionistas de 32 estados de la República Mexicana, en las cadenas pecuarias apícola, bovinos leche, bovinos carne, bovinos de doble propósito, ovinos y caprinos; con el objetivo de identificar sus necesidades de capacitación. Los resultados que obtuvieron mostraron de manera general, que el tema de mayor interés fue el de sanidad; le siguieron la alimentación, reproducción, manejo, forrajes, administración y genética. En el presente estudio, la Adm (12.2%) fue la temática de más demanda, en tanto que el MG (7.3%) obtuvo menor interés; no obstante, al igual que para Cuevas *et al.* (2017), la AlimyNut y Rep fueron temas relevantes para la formación de los AC. En este contexto, la Figura 2 señala las proporciones de los temas específicos de capacitación de las variables **Adm**, **AlimyNut** y **Rep**.

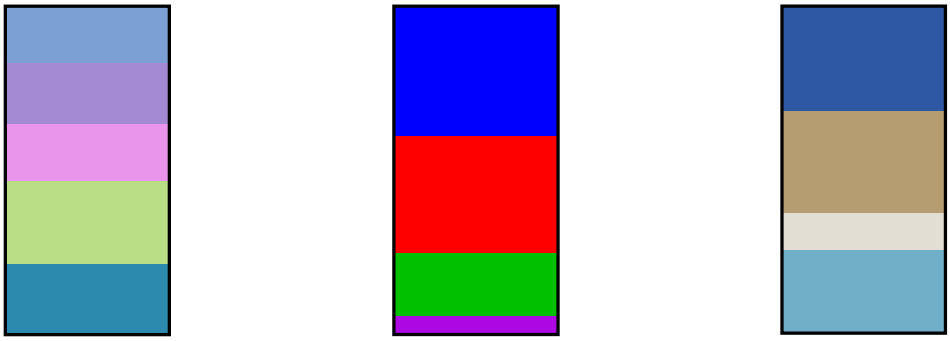


Figura 2. Distribución porcentual de las demandas de capacitación por AC pecuarios del estado de Guanajuato en las áreas de Adm, AlimyNut y Rep. Periodo 2021.

Los componentes de los componentes de Adm, MEm e InAAP (Figura 2) despertaron mayor atención en los AC, 25.3 y 21.3%, respectivamente. Posiblemente, fue debido a que, a través de los años, algunos ganaderos con permanencia en los programa de AT, han transformado su producción mediante la elaboración de subproductos como cortes de carne, quesos, yogurt, cosméticos, dulces típicos, entre otros; para la venta local o regional. Por ello, que los AC adquieran conocimientos sobre MEm e InAAP pueden ser herramientas útiles para que enfoquen la visión de los productores hacia el establecimiento (para quienes no los tengan) o la ampliación de los canales de comercialización, así como mejorar su productividad e incrementar las utilidades. La TP se encuentra estrechamente vinculada con la temática de Adm. En una investigación realizada para conocer el perfil y necesidades de capacitación de extensionistas agropecuarios del Estado de México, observaron que los temas sobresalientes en interés para el desarrollo de habilidades fueron la organización de productores, comercialización, manejo de grupos y diseño de proyectos productivos (88.2%) (Monsalvo *et al.,* 2017). Respecto a los temas de AlimyNut, se conoce ampliamente que la alimentación y nutrición del ganado, en cualquier especie y sistema de producción, representan un factor preponderante en la eficiencia productiva y económica de una UP. Una ración alimenticia correctamente balanceada y un manejo adecuado en las rutinas de alimentación impactan en el crecimiento de los animales, la producción, y por tanto, en los aspectos reproductivos y sanitarios (Shimada, 2009). Conforme a lo anterior mencionado, el BaRa fue el componente con mayor demanda de capacitación (39.7%), mientras que la NutEP alcanzó 35.6% del

interés. Vélez *et al.* (2017) midieron la demanda de capacitación de extensionistas que trabajaron con bovinos productores de leche en 20 estados de México, obteniendo un valor de 32.0% en la formulación y balanceo de raciones; que fue un porcentaje cercano al que se tuvo en el presente estudio. En Rep, la ERHyM y SE fueron los tópicos de más valor. Un trabajo realizado sobre los temas de capacitación para 960 productores, programadas por los AC en los sistemas producto ovinos y caprinos en el estado de Guanajuato, mostró que la Rep fue relevante (Luna *et al.,* 2021), y si bien, no fueron capacitaciones recibidas por los extensionistas, el hecho puede señalar el interés por actualizarse en ésta temática. Se sabe, que los problemas de infertilidad en hembras afectan la tasa de parición anual, la producción de kilogramos de carne al destete, o bien, la producción de leche por día; de igual manera, la infertilidad del macho tiene efecto directo sobre la tasa de preñez del hato y la futura tasa de parición, y en su caso, en la producción de leche, lo que deriva en graves pérdidas económicas para el productor. La Figura 3 representa la distribución de la ConyUF, San y CMA.

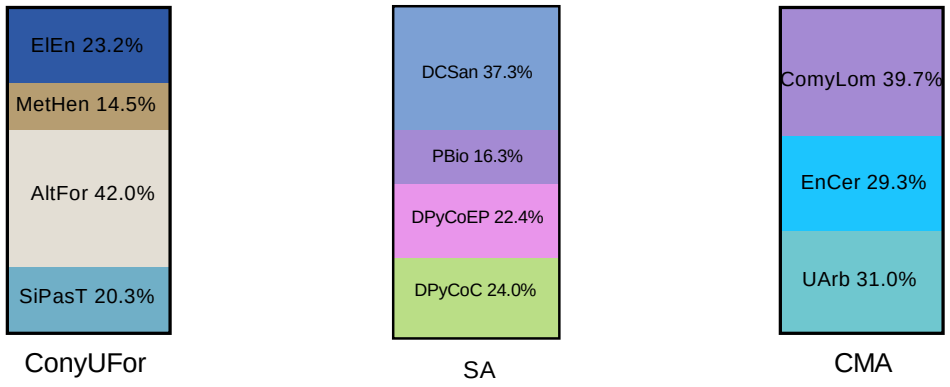


Figura 3. Distribución de las demandas de capacitación por AC pecuarios del estado de Guanajuato en las áreas de ConyUFor, SA y CMA. Periodo 2021.

Al respecto, Vélez *et al.* (2017) observaron que la conservación de forrajes, y la producción y manejo de forrajes, en UP lecheras, presentaron valores de 52.0 y 38.0%, respectivamente; aunque las variables de estos autores no fueron exactas a las de esta investigación, si representan los temas de interés planteados. Es importante mencionar, que la ConyUF está ligado estrechamente a la AlimyNut, pues en sistemas familiares los forrajes y esquilmos son la principal fuente de alimentación, y son los insumos más baratos en las dietas de los

animales; así como las AltFor (maíz forrajero, sorgo y avena, principalmente) y ElEn, este último como recurso para reducir el uso y costo en las raciones, cuando se incluye alfalfa. La San es una preocupación permanente en los productores; la cría de animales saludables debe ser una meta constante, ya que resulta más barato prevenir enfermedades que tratarlas. Contar con calendarios sanitarios y métodos preventivos no son una opción, sino una condicionante del mercado, que actualmente demanda productos inocuos y de buena calidad sanitaria. En referencia a ello, este tópico fue el de mayor inquietud para AC y productores de las cadenas apícola, bovinos leche, caprinos y ovinos Cuevas *et al.* (2017). La CMA aún es incipiente en la mayoría de las UP del estado; no obstante, la elaboración de ComyLom puede ser una opción para que los ganaderos generen fertilizantes orgánicos para el uso en sus cultivos o para venta. A pesar de que el EnCer no pertenece al rubro de AlimyNut, los AC consideran que es una tecnología viable en la alimentación de rumiantes y posiblemente para la reducción de costos en la producción. En referencia a los componentes de DR y TP, la Figura 4 muestra como se distribuyeron en el estudio.

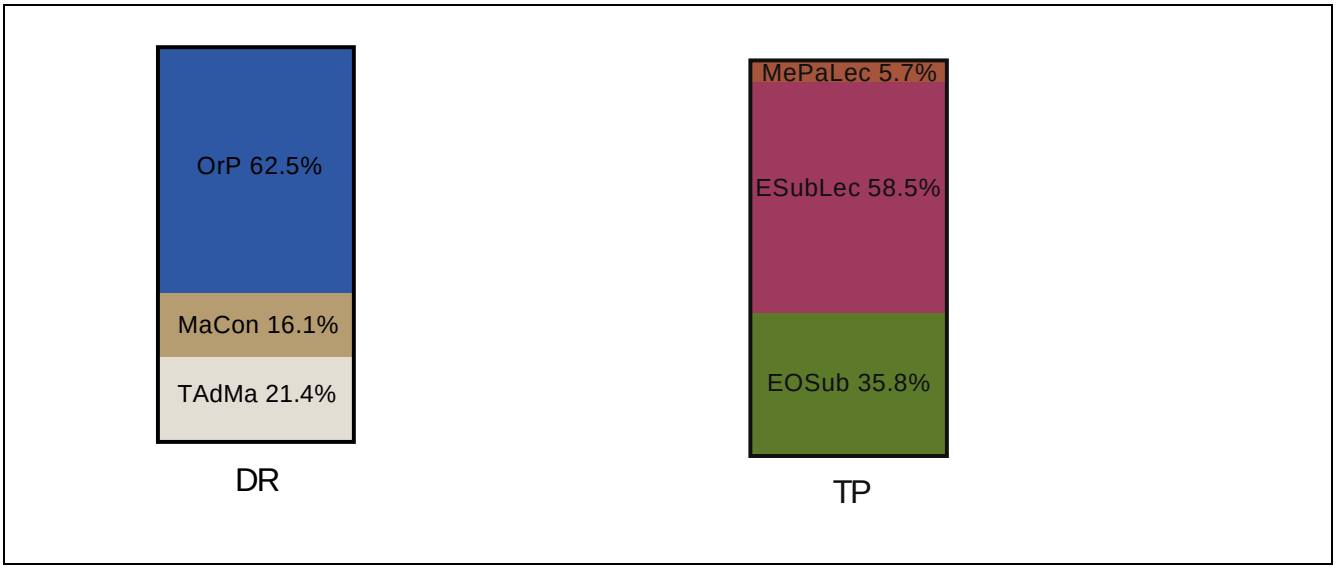


Figura 4. Distribución de las demandas de capacitación por AC pecuarios del estado de Guanajuato en las áreas de DR y TP. Periodo 2021.

La información disponible sobre el desarrollo de habilidades de los AC para trabajar con personas vulnerables, como pueden ser los adultos mayores, es limitada. No obstante, en la investigación de Monsalvo *et al.* (2017) se indica que los extensionistas estuvieron bastante

interesados en recibir capacitación en temas sobre organización de productores, proyectos con mujeres, manejo de grupos y proyectos con grupos de capacidades diferentes; y se mostraron totalmente interesados en aquellos que versaron en metodologías de capacitación y extensionismo rural. Por su parte, Cuevas (2019) menciona que la edad avanzada de los ganaderos es uno de los factores limitantes para que implementen el ensilaje de forrajes en las UP. La edad promedio de los productores fue de 51 años, por lo que el TAdMa es un desafío para el AC; a esta edad, el arraigo a su sistema de trabajo puede ser muy fuerte, por lo que es relevante el adiestramiento en este tema, así como el manejo de conflictos, que sin duda toda organización enfrenta.

En la Figura 5 se presenta la distribución proporcional en el rubro de GenySel y el MG, no obstante que estas temáticas no fueron primordiales para los AC, algunas de ellas alcanzaron porcentajes mayores a 50.0.

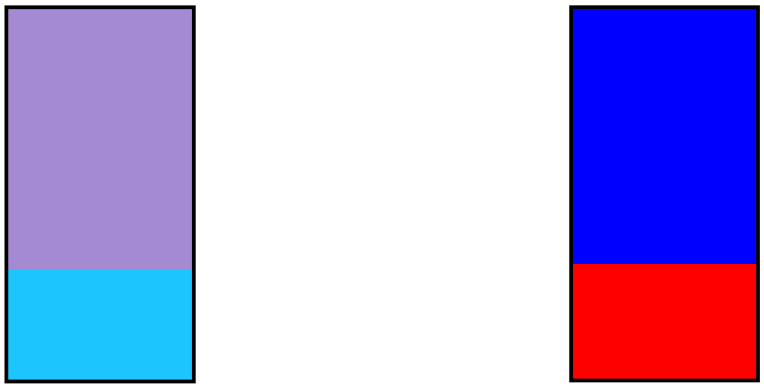


Figura 5. Distribución de las demandas de capacitación por AC pecuarios del estado de Guanajuato en las áreas de GenySel y MG. Periodo 2021.

La GenySel no son temas de menor importancia, un buen programa de mejoramiento genético permitirá que se maximicen la rentabilidad de sus UP.

Conclusiones

Los resultados señalaron, de manera indirecta, las temáticas en las que los productores requieren mayor apoyo para la implementación de tecnologías en las UP, es decir, se percibe un mayor interés en mejorar la productividad e ingresos mediante una instrucción dirigida a temas de administración. De igual manera, en los rubros que les generan más egresos como son la alimentación del ganado y problemas reproductivos que pueden afectar la producción de los hatos. Asimismo, es relevante mencionar que el programa estatal que otorga el financiamiento para la AT debe garantizar la capacitación de los AC en cada ejercicio; además, que aquella sea impartida por especialistas con experiencia en los tópicos solicitados para que sea de calidad. También, es recomendable que, al realizar nuevas contrataciones de AC, el perfil sea lo más riguroso posible, tanto en su formación profesional como en las habilidades que posea para atender de manera adecuada la especie animal para la cual será contratado.

Agradecimientos

A la SDAyR del Estado de Guanajuato, a los productores integrantes de los GGAVATT, AC y Coordinadores de los grupos.

Literatura Citada

Amaro, R. M. y R. de Gortari R. 2016. Políticas de transferencia de tecnología e innovación en el sector agrícola mexicano. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 13:449-471.

Cuevas, R. V., R. Vázquez G. y E. Landa F. 2017. Demandas de capacitación técnica de extensionistas y productores pecuarios participantes en el componente de extensionismo. p. 614-616. *In*: Memoria de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria 2017. Acapulco, Gro., México.

Cuevas, R. V. 2019. Factores que determinan la adopción del ensilaje en unidades de producción ganaderas en el trópico seco del noroeste de México. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 20(3):467-477. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1586.

Luna. E. A. A., A. Vélez I. y T. A. González O. 2021. Análisis de la influencia de la profesión de extensionistas, en la capacitación de caprinocultores y ovinocultores del estado de Guanajuato. p. 398-405. *In:* XXXII Reunión Científica, Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2021. Villahermosa, Tab., México.

Loaiza, M. A., V. Cuevas R., T. Moreno G., J. E. Reyes J. y D. González G. 2018. Innovaciones tecnológicas diferenciadas en el sistema de producción de bovinos doble propósito en el estado de Sinaloa. Libro Técnico Núm 1. SAGARPA. INIFAP. Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sin., México. 91 p.

Monsalvo, Z. A., M. A. Jiménez V., J. L. García C., D. M. Sangermán J., T. Martínez S. y J. L. Pimentel E. 2017. Caracterización del perfil del extensionista rural en la zona oriente del Estado de México. REMEXCA 8(3): 503-515.

Muñoz, R. M. y V. H. Santoyo C. 2010. Del extensionismo a las redes de innovación. p. 31-69. *In*: Santoyo C.V.H. (ed.). Del extensionismo agrícola a las redes de innovación rural. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Edo. de Méx., México.

Román, P. H., U. Aguilar B., R. Amaro G., H. Bueno D., J. L. Chagoya F., E. T. Koppel R., *et al.,* 2007. Manual para la Planeación, Seguimiento y Evaluación del Modelo GGAVATT. Folleto Técnico Núm. 27. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México.

Shimada, M. A. S. 2009. Nutrición animal. 2ª. Ed. Trillas, México. 397 p.

Vélez, I. A., V. Cuevas R., J. A. Espinosa G. y R. Vázquez G. 2017. Demandas de capacitación tecnológica de los extensionistas que atienden a pequeños productores de leche en México. p. 671-673. *In*: Memoria de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria 2017. Acapulco, Gro., México.

Forestal

OBTENCIÓN DE PROPÁGULOS DE *Bauhinia monandra* Kurz MEDIANTE ACODOS AÉREOS Y ENRAIZADORES QUÍMICOS

Manuel Villarruel Fuentes[1]*, Eber David Azamar Morales[2], Rómulo Chávez Morales[1]

Resumen

La constante pérdida de recursos naturales en las regiones tropicales exige el rescate del germoplasma nativo y la evaluación de nuevas especies de interés agropecuario. Bajo este criterio es necesario reorientar los sistemas de producción hacia modelos agroecológicos, que permiten el mejor aprovechamiento de los componentes de un sistema biológico. Con este objetivo se evaluó la respuesta biológica de *Bauhinia monandra* Kurz a la técnica del acodo aéreo, como medio para obtener propágulos que permitan su empleo en rodales artificiales dentro de sistemas agrosilvopastoriles. Para ello se estimó, por 90 días, el efecto de dos enraizadores químicos y un testigo absoluto, dentro de un rodal integrado por 60 plantas en etapa de floración, en un clima AW2. Las variables medidas fueron: número de acodos enraizados; porcentaje de acodos enraizados; peso (g) de acodo con sustrato; peso (g) de la raíz; número de raíces por acodo; longitud (cm) de raíces por acodo; diámetro (cm) del acodo. Los resultados muestran que el efecto del ácido alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico es más eficaz a los 45 días posteriores al establecimiento de los acodos aéreos, encontrándose respuesta biológica de *Bauhinia monandra* incluso sin la aplicación de enraizadores. Respecto al empleo de N, P, K y auxinas combinadas la evidencia señala que es una opción técnica de bajo impacto biológico para la promoción de raíces dentro de los acodos aéreos. Se encontró correlación entre variables a los 45 días para la longitud de raíz por acodo aéreo y número de raíces por acodo aéreo; número de raíces por acodo aéreo y peso de acodos con sustrato; longitud de raíz por acodo aéreo y peso de acodos con sustrato; longitud de raíz por acodo aéreo y peso de la raíz; número de raíces por acodo aéreo y diámetro de rama acodo aéreo.

[1] TecNM/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Km. 4.5 carretera Cardel-Chachalacas, Col. Campestre, Úrsulo Galván, Ver., México. dr.villarruel.fuentes@gmail.com
[2] Ingeniero Agrónomo. Consultor privado.

Palabras clave: rodal artificial; hormonas; trópico, pata de cabra, reproducción asexual

Introducción

Actualmente en las regiones tropicales el empleo de los sistemas de producción tradicionales, de corte extensivo, han condicionado el deterioro del patrimonio natural disponible, al extender la frontera agrícola y pecuaria en detrimento de las selvas y bosques. Lo mismo ha sucedido con los sistemas intensivos, altamente tecnificados, que, al ser empleados con el propósito de incrementar la productividad, mejorar la rentabilidad y competitividad de las actividades agropecuarias, han promovido la sobreexplotación de dicho patrimonio. Si bien este modelo productivo trajo consigo la generación de empleos y el bienestar económico de muchas regiones del país, lo cierto es que al paso del tiempo mostró sus efectos nocivos sobre la naturaleza, siendo factor determinante en la actual crisis planetaria.

Desde esta perspectiva, el abordaje agroecosistémico se constituye en un cambio de paradigma que condiciona no solo el enfoque modélico de los sistemas de producción, sino particularmente las prácticas dominantes dentro de la profesión agronómica (Lugo-Perea y Rodríguez-Rodríguez, 2018). Redimensionar el centro de interés hacia los aspectos más sustentables, asociados a la preservación de la biodiversidad, es actualmente una de las mayores aspiraciones de logro, que incorpora dentro de los sistemas de producción el componente cultural y social en general, y no solo el económico y ecológico.

En México, las regiones tropicales todavía cuentan con una abundante biodiversidad florística, la cual está desapareciendo del paisaje natural (Campos-Saldaña *et al*., 2015; Semarnat, 2016) sin haber identificado en ella un valor comercial de uso, es decir, sin haber explorado su potencial como generadora de bienes y servicios ambientales, pero además sin considerar su posible empleo dentro de los sistemas agroecológicos (agroecosistémicos), asociados a las formas de producción comercial y de subsistencia.

En este sentido, identificar materiales biológicos con características multipropósito se convierte en un objetivo relevante para la investigación dentro del campo de los sistemas productivos agropecuarios, ya que dicha diversificación biológica actúa como un factor en favor de su reproducción y manejo, y con ello, de su conservación.

Se destaca en este sentido la abundancia de leguminosas arbóreas, tales como el *Pithecellobium dulce*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Acacia farneciana* y *Crecentia alata*, entre otras, propias de la selva baja caducifolia, las cuales pueden aprovecharse como recursos maderables, bancos de proteína comestible para el ganado, tratamiento medicinal en seres humanos, áreas de descanso para el ganado, abonos verdes, cercas vivas, materia prima artesanal, conservación de forraje (ensilado) y como fijador de nitrógeno atmosférico (mejoradores del suelo), entre otros.

La investigación al respecto es abundante dentro de la literatura científica, tanto en los aspectos básicos como aplicados. Es posible citar los trabajos de Medina *et al*. (2011), en Venezuela, quienes evaluaron el comportamiento morfoestructural de *Albizia lebbeck*, *Leucaena leucocephala* (ecotipo Trujillo) y *Erythrina fusca* en condiciones de vivero. Mientras que Olivares-Pérez *et al*. (2011), identificaron usos, densidad, frecuencia, abundancia y medidas dasométricas en las especies arbóreas leguminosas presentes en ranchos ganaderos del sur del Estado de México; evaluando la producción de follaje (kg materia seca/árbol/ha) de *Pithecellobium dulce*, *Haematoxylum brasiletto y Gliricidia sepium*, así como la producción de fruto (kg materia seca/árbol/ha) de *Acacia cochliacantha* y *Pithecellobium dulce*.

Más recientemente Aguirre-Mendoza *et al*. (2021), evaluaron el potencial forrajero de: *Guazuma ulmifolia*, *Samanea saman*, *Gliricidia Sepium* y *Pithecellobium dulce* en Cuba, empleando para ello la técnica de transecto, seleccionando individuos adultos que se encontraban distribuidos en forma de cercas vivas y dispersos en el área de estudio.

En México, Castillo-Linares *et al*. (2021), describieron un sistema de producción silvopastoril en la modalidad de “cosecha y acarreo de follaje” en el trópico húmedo. Para ello se realizó una comparación de la calidad química y el rendimiento productivo del follaje de algunas leguminosas arbóreas y gramíneas rastreras. Se indicaron valores sobre la eficiencia de la cosecha manual de follaje y sobre el rendimiento de follaje/árbol, así como los factores que afectan el rendimiento. Se revisó adicionalmente la influencia del consumo de follaje de árboles en diferentes etapas productivas del ovino y se identificaron aspectos asociados a la sostenibilidad del sistema de producción silvopastoril.

Como se puede apreciar existen especies de arbóreas leguminosas que han recibido una atención sostenida al paso del tiempo, particularmente por su condición de especies endémicas, muchas de ellas catalogadas como vegetación secundaria, presentes incluso en

acahuales. Sin embargo, existen especies introducidas que aún no han sido caracterizadas en su potencial biológico, quedando pendiente su estudio desde el punto de vista reproductivo, de manejo en vivero y condiciones de sitio; series de investigaciones necesarias para su eventual recomendación como componentes de los sistemas agroforestales pecuarios.

Uno de estos recursos está representado por el género *Bauhinia* (*Fabaceae*, *Caesalpinioideae*, *Cercideae*). Dicho género posee aproximadamente 250 especies distribuidas en las regiones tropicales, subtropicales y templado cálidas de América, África, Asia y Oceanía (Fortunato, 1986). Se reconoce también a *Bauhinia* como un género pantropical representante de la tribu *Cercideae* con cerca de 50 especies en México y Centroamérica, varias de ellas endémicas; al igual que otros miembros de la tribu *Cercideae*, las especies de *Bauhinia* tienen un importante potencial ornamental por lo atractivo de sus flores y también se les atribuyen propiedades medicinales, alimenticias y maderables (Torres-Colín *et al*., 2009). En general, las especies de *Bauhinia* habitan en selvas bajas, medianas o altas, tanto caducifolias como perennifolias (0-800 m), en bosques de encino y pino (900-1900 m), bosque mesófilo de montaña (1000-2200 m) y matorrales xerófilos (600-1600 m) (Torres-Colín, 1999).

Aunque su distribución edafoclimática es amplia, es notoria su ausencia en los actuales paisajes naturales tropicales, condición particularmente cierta en el estado de Veracruz, México, contexto condicionado por el manejo de monocultivos en las distintas zonas agrícolas del estado, como lo es la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp), piña (*Ananas* spp), café (*Coffea* spp) o plátano (*Musa* spp), por citar algunos de los más representativos. Predominando su localización en las zonas urbanas y semiurbanas, dentro de parques públicos y jardines, donde es apreciada por su diversidad y belleza.

Estas condiciones explican por qué actualmente existen solo 160 especies de distribución pantropical, con una sección de 20 especies en México, Texas, Norte de Centroamérica, Antillas Mayores y Noreste de Brasil (Sánchez de Lorenzo-Cáceres, 2014). Se trata de un recurso natural que debe ser rescatado para su conservación y aprovechamiento.

De los trabajos de investigación realizados en este sentido destacan los realizados por Villarruel-Fuentes *et al*. (2019), Villarruel-Fuentes y Medina-Morales (2021) y Villarruel-Fuentes *et al*. (2021), los cuales abarcan desde la colecta y caracterización morfométrica de semillas de *Bauhinia monandra* obtenidas en zonas ruderales, la evaluación fenológica de un rodal

artificial y la caracterización morfométrica de sus vainas y semillas, quedando por evaluar la respuesta biológica de esta especie bajo procesos de reproducción asexual.

Con base en ello se planteó al objetivo de determinar el enraizador de mayor eficacia en la propagación por acodos aéreos, dentro de un rodal establecido en un clima Aw2.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica y clima. La investigación se realizó en el Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, perteneciente al Tecnológico Nacional de México. Dicha unidad se localiza en las coordenadas geográficas 19°24'43"N y 96°21'31"W, a 10 msnm. El clima predominante de esta región es tropical subhúmedo con lluvias en verano (Aw2), con una temperatura entre los 24°- 26° y su precipitación media anual es de 1100-1300 mm (SEFIPLAN, 2016).

Descripción del área experimental. En el Cuadro 1 se muestran las características químicas del suelo, obtenidas en el laboratorio del Instituto Nacional de Ecología, México.

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos del área experimental.

Muestra	Materia orgánica	Carbono orgánico	Carbono %	Hidrogeno	Nitrógeno	pH 1:2 H2O	Fosforo total %
1	3.9	2.3	2.35	0.96	0.27	7.52	0.10
2	3.0	1.7	2.16	0.83	0.23	7.82	0.10
3	2.4	1.4	1.62	0.68	0.19	7.57	0.09

Tomado de: Medina-Morales (2019).

Características de la plantación. El arreglo topológico consideró 30 m de largo por 4.74 m de ancho. El material vegetativo se delimitó bajo un arreglo de tres líneas separadas a una distancia de 2.37 m. Cada línea se integró de 20 plantas, a una distancia entre ellas de 1.5 m, en total se contó con 60 plantas. El rodal al momento del iniciar el estudio tenía una edad de 29 meses, posteriores al establecimiento del sitio. Al momento del establecimiento de los acodos aéreos las plantas se encontraban en floración, con presencia de vainas (Figura 1).



Figura 1. Rodal experimental de *Bauhinia monandra* (Fuente: Azamar-Morales, 2019).

Descripción del área experimental. El área experimental constó de 145.518 m^2 (densidad de población estimada de 2, 814 plantas por hectárea).

Materiales y equipo. Enraizador Raizone Plus (alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico): enraizador Raizal® 400 (N, P, K, auxinas); sustrato orgánico (Mezcla balanceada de tierra negra, fibras de coco y acondicionadores naturales marca Gardens). Bolsas de polietileno transparentes de ½ kg; jeringas de 10 ml; bascula granataria marca CEESA MOD: BG-2k. Max: 2610 g; cubeta de plástico con capacidad de 20 litros; brocha de pulgada y media de ancho; hilo rafia; regla graduada en cm; segueta; cúter marca Maped.

Diseño de tratamientos. Se empleó un arreglo completamente al azar, con 3 tratamientos y 20 repeticiones cada uno (60 unidades experimentales). Los tratamientos incluyeron la aplicación de dos enraizadores comerciales, así como un testigo absoluto (dosis cero), integrados por: T1= Raizone plus (alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico), T2= Raizal 400 (porcentaje en peso: N 9%, P 45%, K 11%, Mg 0.6%, S 0.8%, auxinas 400 ppm) y T3= Dosis cero.

Manejo experimental. El marco muestral se integró por las plantas con mayor vigor y tamaño, presentes dentro del rodal. Los acodos se marcaron para cada tratamiento. Una vez identificadas las plantas se seleccionaron las ramas primarias, las cuales tuvieron un diámetro entre 0.8 a 1.8 cm.

Elaboración de acodos aéreos. 1) Selección de las plantas dentro del rodal; 2) Realización de dos cortes paralelos separados de 2 a 3 cm aproximadamente. Desprendimiento de la epidermis que protege el tallo (descortezado); 3) Pesaje de 250 g de sustrato orgánico para cada acodo; 4) Preparación de los enraizadores: enraizador Raizone Plus (alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico) y el enraizador Raizal® 400 (N, P, K, auxinas), mezclado con 12 ml de

agua; 5) Aplicación de cada tratamiento con ayuda de una brocha; 6) integración del muñón mediante sustrato en bolsa transparente, anudándose con hilo rafia (Figura 2).



Figura 2. Elaboración de acodos aéreos de *Bauhinia monandra* (cortesía de Eber David Azamar Morales y Manuel Villarruel Fuentes).

Manejo de los acodos aéreos. La humedad en los muñones fue monitoreada diariamente. Se aplicaron 12 riegos de apoyo a los acodos durante los 90 días que duró el experimento. En los tres primeros riegos se suministró 10 ml de agua con ayuda de una jeringa, aumentando a 15 ml en las siguientes aplicaciones.

Variables medidas. 1) Número de acodos enraizados, contabilizados a los 45 días después de su establecimiento, posteriormente cada 15 días hasta sumar cuatro mediciones en total (90 días) (Figura 3); 2) Porcentaje total de acodos enraizados por cada medición; 3) Peso (g) individual de acodo con sustrato; 4) Peso (g) de la raíz completa desnuda de cada acodo aéreo; 5) Número total de raíces secundarias por acodo; 6) Longitud promedio (cm) de una muestra aleatoria de 5 raíces secundarias por acodo; 7) Diámetro (cm) del acodo, medido a partir del sitio de corte de la rama en cada acodo.



Figura 3. Acodos aéreos obtenidos de *Bauhinia monandra* (cortesía: Eber David Azamar Morales).

Análisis estadístico de los datos. Análisis estadístico descriptivo e inferencial, mediante el software SPSS versión 20.0.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la respuesta biológica de *Bauhinia monandra* a la reproducción asexual por acodos aéreos mejoró con la aplicación de alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico (Tratamiento 1) (Cuadro 2), expresándose a través de una mayor presencia de acodos (n=11) a los 45 días de establecidos. La evidencia demuestra que para el peso completo (g) de acodos con sustrato, comparado con el peso (g) sin sustrato, la diferencia fue de 272.08 g, observándose un peso $\bar{X}$ de raíz de 8.30 g. Se aprecia además que su mediana fue similar a la media (46.53 y 46.60 g). Se debe destacar que las diferencias entre la $\bar{X}$ y la mediana para el peso de acodos con sustrato se atribuye a las diferencias entre las dimensiones de la rama ocupada por el acodo. La variación mostrada en las medidas de tendencia central para las variables relacionadas al peso de sustrato y de raíz se explican a partir de la desviación estándar encontrada (s=5.46).

Cuadro 2. Descripción estadística de los acodos aéreos a los 45 días de establecidos en un rodal de *Bauhinia monandra* Kurz con sustrato* y alfanaftilacetamida y ácido indol-3- butírico.

	Peso (g) de acodos con sustrato	Peso (g) de acodos sin sustrato	Peso (g) de la raíz	Número de raíces por acodo aéreo	Longitud de raíz (cm) por acodo aéreo	Diámetro (cm) de rama por acodo aéreo
N	11	11	11	11	11	11
Media	318.61	46.53	8.30	21.18	6.85	1.84
Mediana	333.90	46.60	10.60	13.00	6.42	1.90
Moda	229.10[a]	32.60[a]	0.20[a]	4.00[a]	1.80[a]	2.20
Desv. típ.	48.12	11.28	5.46	22.15	3.13	0.41

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.
*Tierra negra, fibra de coco y acondicionadores naturales.

En este sentido la $\bar{X}$ expresada en la variable número de raíces por acodo aéreo fue de 21.18, lo que permite inferir un efecto positivo del tratamiento sobre el desarrollo radicular. Sin embargo, la alta variabilidad encontrada, indicada a través de la mediana y la moda,

Biotecnología, Genética y Genómica Forestal

confirmada por la desviación estándar (22.15), permiten inferir la posible presencia de factores biológicos (estado fisiológico de las plantas, desarrollo y vigor de las ramas) y de manejo (ubicación de las plantas dentro del rodal, retención de humedad en cada acodo, suministro de agua en cada uno de ellos y variabilidad del suelo) presentes dentro del estudio.

Por otra parte, los resultados expresados en las variables longitud de raíz (cm) y diámetro (cm) de rama por acodo aéreo permiten observar una $\bar{X}$ y mediana, cercanas entre sí, lo cual se acompaña de una baja desviación estándar (3.13 y 0.41, respectivamente). Esto demuestra que la longitud de raíz en los acodos enraizados muestra una escasa variabilidad (distribución normal). Esto permite suponer que la respuesta biológica de *Bauhinia monandra* a la acción hormonal es efectiva, mostrándose un comportamiento compacto, lo que también valida la estrategia de manejo probada, así como la elección del diámetro de las ramas empleadas.

Las correlaciones encontradas muestran una asociación importante entre variables (Cuadro 3), destacándose la establecida entre longitud de raíz y número de raíces por acodo, la cual fue de 77.5%, mostrándose altamente significativa (α= 0.01), con un coeficiente de determinación estimado en 60%. Ello permite explicar cómo la variación existente en las raíces se explica en un 60% por la asociación entre el número de raíces y la longitud de estas. En este sentido, se estima que el número de raíces condiciona su longitud (a mayor número menor longitud).

Cuadro 3. Correlaciones en las variables asociadas a la respuesta biológica de acodos aéreos de *Bauhinia monandra* (45 días).

		Peso (g) de acodos con sustrato	Peso (g) de acodos sin sustrato	Peso (g) de la raíz	Número de raíces por acodo aéreo	Longitud de raíz (cm) por acodo Aéreo	Diámetro (cm) de rama por acodo aéreo
Peso (g) de acodos con sustrato	Correlación de Pearson	1	.350	-.161	.056	.050	.514
	Sig. (bilateral)		.291	.636	**.870**	**.883**	.106
	N	11	11	11	11	11	11
Peso (g) de acodos sin sustrato	Correlación de Pearson	.350	1	.224	.274	.347	.472
	Sig. (bilateral)	.291		.509	.415	.296	.143
	N	11	11	11	11	11	11
Peso (g) de la raíz	Correlación de Pearson	-.161	.224	1	**.666***	**.654***	-.314
	Sig. (bilateral)	.636	.509		.025	.029	.347
	N	11	11	11	11	11	11

Biotecnología, Genética y Genómica Forestal

Continúa Cuadro 3…

		Peso (g) de acodos con sustrato	Peso (g) de acodos sin sustrato	Peso (g) de la raíz	Número de raíces por acodo aéreo	Longitud de raíz (cm) por acodo Aéreo	Diámetro (cm) de rama por acodo aéreo
Número de raíces por acodo aéreo	Correlación de Pearson	.056	.274	.666*	1	**.775****	.134
	Sig. (bilateral)	.870	.415	.025		.005	.694
	N	11	11	11	11	11	11
Longitud de raíz (cm) por acodo aéreo	Correlación de Pearson	.050	.347	.654*	.775**	1	.203
	Sig. (bilateral)	.883	.296	.029	.005		.549
	N	11	11	11	11	11	11
Diámetro (cm) de rama por acodo aéreo	Correlación de Pearson	.514	.472	-.314	.134	.203	1
	Sig. (bilateral)	.106	.143	.347	**.694**	.549	
	N	11	11	11	11	11	11

*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral). **. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Con respecto a las variables número de raíces y peso del acodo con sustrato, se encontró que su asociación es muy alta (87.0%, α=0.01), con un coeficiente de determinación de 75%, lo que es indicativo de la importancia que tiene el sustrato empleado en este estudio. En este sentido, la cantidad y calidad del sustrato fue homogéneo para todos los acodos. Los resultados muestran la eficacia de la técnica empleada.

Caso similar se observó para la variable longitud de raíz en relación con el peso del acodo con sustrato, donde la asociación fue de 88.3%, con un coeficiente de determinación de 77%. Esto confirma la importancia de emplear un sustrato adecuado, y valida el empleado en este estudio, así como el manejo que se les brindó. En cambio, la relación entre las variables longitud de raíz y peso de raíz mostró una asociación baja, la cual fue de 65.4%, con un coeficiente de determinación de 42%. Esto permite inferir que el peso de raíz se asocia escasamente con la longitud de raíz desarrollada por acodo. Respecto a las variables número de raíces por acodo aéreo y diámetro de rama mostraron una asociación importante (69.4%), con un coeficiente de determinación de 44%, lo cual demuestra que al igual que para las variables anteriores, el número de raíces se asocia escasamente por el diámetro de rama seleccionada para establecer el acodo. Se destaca que, pese a que la correlación es apenas aceptable, debe ser considerada al momento de seleccionar los diámetros de rama donde se establecerá el acodo. Para el caso del número de raíces y peso de la raíz por acodo, la

Biotecnología, Genética y Genómica Forestal

asociación se mostró significativa (α 0.05), con un coeficiente de determinación de 44.35%, lo cual se entiende como un resultado lógico, en virtud de que regularmente el peso de la raíz (desarrollo) depende del número de estas. En este sentido, el Cuadro 4 muestra los resultados obtenidos al emplear N, P, K y auxinas como promotor del desarrollo radicular, los cuales debido a que solo mostraron desarrollo de raíz dos de ellos, los resultados no son concluyentes. Lo observado permite inferir el comportamiento normal de sus variables biológicas, a partir de la similitud de sus medias y medianas, así como por la baja variabilidad mostrada en cada una de ellas (s).

Cuadro 4. Descripción estadística de los acodos aéreos a los 45 días de establecidos en un rodal de *Bauhinia monandra* Kurz con sustrato* y Raizal 400 (N, P, K, auxinas).

	Peso (g) de acodos con sustrato	Peso (g) de acodos sin sustrato	Peso (g) de la raíz	Número de raíces por acodo aéreo	Longitud de raíz (cm) por acodo aéreo	Diámetro (cm) de rama por acodo aéreo
N	2	2	2	2	2	2
Media	369.55	33.95	2.65	16.00	6.72	1.60
Mediana	369.55	33.95	2.65	16.00	6.72	1.60
Moda	348.70[a]	28.70[a]	1.30[a]	10.00[a]	6.66[a]	1.60
Desv. típ.	29.48	7.42	1.90	8.48	0.08	0.00

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores. *Tierra negra, fibra de coco y acondicionadores naturales.

Debido a la escasa respuesta del tratamiento, no fue posible realizar la correlación lineal de las variables, ya que estas se mostraron constantes, lo que invalida este tipo de análisis estadístico. Caso similar se presenta en el tratamiento bajo la dosis cero (Cuadro 5), donde las medidas de tendencia central (media y mediana) se muestran similares.

Cuadro 5. Descripción estadística de los acodos aéreos a los 45 días de establecidos en un rodal de *Bauhinia monandra* Kurz con sustrato* sin enraizador.

	Peso (g) de acodos con sustrato	Peso (g) de acodos sin sustrato	Peso (g) de la raíz	Número de raíces por acodo Aéreo	Longitud de raíz (cm) por acodo Aéreo	Diámetro (cm) de rama por acodo aéreo
N	2	2	2	2	2	2
Media	387.15	34.35	4.55	10.50	5.02	1.55
Mediana	387.15	34.35	4.55	10.50	5.02	1.55
Moda	335.00[a]	32.40[a]	0.10[a]	4.00[a]	3.27[a]	1.40[a]
Desv. típ.	73.75	2.75	6.29	9.19	2.48	.212

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores. *Tierra negra, fibra de coco y acondicionadores naturales.

Contrariamente a la respuesta obtenida a los 45 días, para los 60 días posteriores al establecimiento de los acodos, el tratamiento basado en N, P, K y auxinas expresó una mejor respuesta biológica, con un porcentaje de prendimiento del 22.22%, superior al tratamiento con alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico con el testigo absoluto, el cual fue solo del 11.11%. Esto demuestra que para *Bauhinia monandra* la asociación de minerales y auxinas requiere mayor tiempo de espera para obtener una reacción favorable. Respecto a lo encontrado en el periodo de 75 días posteriores al establecimiento de los acodos aéreos, el mejor efecto se mostró en el tratamiento testigo (dosis cero) con un 12.5% (2 de 16 posibles) y del Tratamiento 1 (1 de 8 posibles) (ácido alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico), encontrándose una nula respuesta con el tratamiento 2 (N, P, K y auxinas), lo que evidencia el bajo efecto que este tratamiento tiene sobre el proceso de enraizamiento en acodos aéreos. Se destaca el hecho de que a largo plazo parece no ser necesaria la aplicación de un estimulante para coadyuvar al desarrollo de las raíces adventicias (secundarias), como también se mostró para el ácido alfanaftilacetamida e indol-3-butírico, el cual todavía mantuvo su efecto biológico.

En la etapa de 90 días posteriores al establecimiento de los acodos aéreos, el efecto del ácido alfanaftilacetamida e indol-3-butírico fue nulo, lo que permite inferir que sólo es efectivo en *Bauhinia monandra* en un rango de 45 a 75 días. No así en el caso de la combinación de N, P, K y auxinas, las cuales siguen teniendo efecto hasta los 90 días. Es de destacar los resultados obtenidos en el tratamiento testigo, el cual promovió el mayor efecto sobre el enraizamiento de los acodos aéreos (21.42%), lo que abre la posibilidad de no aplicar estimulante en *Bauhinia monandra* para incentivar el desarrollo radicular.

Al constatar la respuesta total de cada tratamiento sobre su efecto en el desarrollo de las raíces en los acodos aéreos, se pudo apreciar que el ácido alfanaftilacetamida e indol-3-butírico (Tratamiento 1) fue el mejor y estadísticamente superior, con un porcentaje de respuesta estimado en 65%, seguido del tratamiento testigo, con un 45% de efectividad. Para el caso del tratamiento 2, su respuesta fue las más baja dentro del estudio (35%), lo que de entrada implica no recomendarlo para efectos de coadyuvar al desarrollo de raíces en acodos aéreos de *Bauhinia monandra*.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Vilchez *et al*., (2013) quienes en un estudio con auxinas aplicados a esquejes de guayabos (*Psidium guayaba*) encontraron que

sin la aplicación de auxina se logró la mejor respuesta, ya que se obtuvo un 85% de acodos vivos, 55% de acodos enraizados y 15% de acodos muertos, efecto atribuido a una cantidad suficiente de auxinas endógenas en las plantas, suficiente para promover el enraizamiento. Es necesario destacar que, tal como lo afirma Rogel-Castellanos, Muñoz-Pérez y Cruz-Castillo (2000), es posible que la época en que se realizaron los acodos haya afectado los resultados obtenidos en cada tratamiento.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten confirmar lo señalado por Castillo, De Fréitez y Hernández de Bernal (2005), quienes afirman que "en diversas especies de plantas se ha encontrado una respuesta positiva a la aplicación de reguladores de crecimiento al realizar la propagación mediante el acodado." (p.124)

Conclusiones

1) Se concluye que *Bauhinia monandra* puede ser reproducida asexualmente mediante la técnica de acodos aéreos; 2) La eficacia en el desarrollo de raíces adventicias dentro del acodo aéreo puede ser mejorada aplicando estimulantes químicos como coadyuvantes biológicos; 3) La mejor respuesta biológica de *Bauhinia monandra* a la técnica del acodo aéreo se logra aplicando ácido alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico en la dosis y bajo la estrategia propuesta en este estudio. 4) El efecto del ácido alfanaftilacetamida y ácido indol-3-butírico es más eficaz a los 45 días posteriores al establecimiento de los acodos aéreos; 4) La respuesta biológica de *Bauhinia monandra* es efectiva incluso sin la aplicación de algún estimulante ; 5) El empleo de N, P, K y auxinas combinadas se constituye como una opción técnica de bajo impacto biológico para la promoción de raíces dentro de los acodos aéreos; 6) Existe una correlación importante entre las variables Longitud de Raíz (cm) por Acodo Aéreo y Número de Raíces por Acodo Aéreo; Número de Raíces por Acodo Aéreo y Peso (g) de Acodos con Sustrato; Longitud de Raíz (cm) por Acodo Aéreo y Peso (g) de Acodos con Sustrato; Longitud de Raíz (cm) por Acodo Aéreo y Peso (g) de la Raíz; Número de Raíces por Acodo Aéreo y Diámetro (cm) de Rama Acodo Aéreo; todo esto a 45 días de haberse establecido los acodos.

Literatura Citada

Aguirre-Mendoza, L. A., O. La O-León, H. González-García y J. Ledea-Rodríguez. 2021. Producción forrajera de especies arbóreas en ecosistemas frágiles, salinos y de alta sequía del Oriente Cubano. Bosques Latitud Cero 11(1): 148–154. https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/893

Campos-Saldaña, R. A., R. López-Aguilar y W. O. Cruz-Macías. 2015. Impacto ambiental y limitantes de la sustentabilidad de la actividad agrícola en la región frailesca. *In*: Pasado, presente y futuro de las regiones en México y su estudio. 20° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Cuernavaca, Morelos del 17 al 20 de noviembre de 2015. AMECIDER – CRIM, UNAM. http://ru.iiec.unam.mx/2838/1/Eje3-005-Campos-Lopez-Cruz.pdf

Castillo, M., Y. H. De Fréitez y N. Hernández de Bernal. 2005. Efecto de la auxina AIB en la propagación de azahar de la India (*Murraya paniculata* L. Jack) por acodo aéreo. Bioagro 17(2): 123-126. https://www.redalyc.org/pdf/857/85717209.pdf

Castillo-Linares, E. B., M. A. López-Herrera, A. Vélez-Izquierdo. y J. Oliva-Hernández. 2021. Sistema silvopastoril de cosecha y acarreo como alternativa para la producción ovina sostenible en el trópico húmedo. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 12(66): 1-14. http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/download/872/2618?inline=1

Fortunato, R. H. 1986. Revisión del género *Bauhinia* (*Cercideae, Caesalpinioidea*, *Fabaceae*) para la Argentina. Darwiniana 27(1/4): 527-557. https://www.jstor.org/stable/23217350

Lugo-Perea, L. J. y L. H. Rodríguez-Rodríguez. 2018. El agrosistema: ¿objeto de estudio de la agroecología o de la agronomía ecologizada? Anotaciones para una tensión epistémica. Interdisciplina 6(14): 89-112. http://www.scielo.org.mx/pdf/interdi/v6n14/2448-5705-interdi-6-14-89.pdf

Medina, M. G., D. E. García, P. Moratinos y L. J. Cova. 2011. Comparación de tres leguminosas arbóreas sembradas en un sustrato alcalino durante el período de aviveramiento. I. Variables morfoestructurales. Pastos y Forrajes 34(1): 37-51. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942011000100004&lng=es&tlng=es

Medina-Morales, A. L. 2019. Estudio de las etapas fenológicas *de Bauhinia monandra* en condiciones de sitio bajo un clima Aw2. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Agronomía. TecNM-Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Olivares-Pérez, J., F. Avilés-Nova, B. Albarrán-Portillo, S. Rojas-Hernández y O. A. Castelán-Ortega. 2011. Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. Tropical and subtropical agroecosystems 14(2): 739-748. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200032&lng=es&tlng=es [Consultado el 2 de julio de 2022].

Rogel-Castellanos, I., Muñoz-Pérez, R.B. y Cruz-Castillo, J.G. 2000. Propagación de aguacatero por acodo utilizando etiolación, ácido indolbutírico, y obstrucción de savia. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 101-104. http://avocadosource.com/Journals/CHAPINGO/2000_VI_1_101_Layering.pdf

Sánchez de Lorenzo-Cáceres, J. M. 2014. Notas sobre *Bauhinia purpúrea* L., *Bauhinia variegata* y su híbrido *Bauhinia* x *blakeana* Dunn (*Leguminosea*, *Caesalpinioideae*). https://www.arbolesornamentales.es/Bauhinia%20variegata%20vs%20purpurea.pdf

SEFIPLAN. 2016. Cuadernillos municipales. Úrsulo Galván. ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/07/2018/12/Ursulo-Galván.pdf

SEMARNAT. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. Semarnat. México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf

Torres-Colín, R. 1999. El género *Bauhinia* (*Leguminosae*, *Caesalpinioideae*, *Cercideae)* En Mesoamérica. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias-UNAM, México. http://132.248.9.195/pd1999/273025/273025.pdf

Torres-Colín, R., R. Duno de Stefano y L. Lorena-Can. 2009. El género *Bauhinia* (*Fabaceae, Caesalpinioideae, Cercideae*) en la península de Yucatán (México, Belice y Guatemala). Revista mexicana de biodiversidad 80(2): 293-301. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532009000200003&lng=es&tlng=es

Vilchez, J., N. Albany, L. Martínez, A. M. Casassa-Padrón, C. González y M. Marín. 2013. Efecto de auxinas en la propagación por acodos aéreos de guayabos tolerantes a *Meloidogyne spp*. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Del Zulia 28 Supl. 1: 445-455. https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27017

Villarruel-Fuentes, M. y A. L. Medina-Morales. 2021. Respuesta biológica de *Bauhinia monandra* Kurz en condiciones de sitio. Avances de Investigación Agropecuaria, Revista de Investigación Científica Agropecuaria 25 (3): 198-199. http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2021/sept/reunion/art_40.pdf

Villarruel-Fuentes, M., E. D. Rodríguez-Peralta, E. D. Azamar-Morales y V. López-Hernández. 2019. Morfometría de vaina y semilla en un rodal artificial de *Bauhinia monandra Kurz*. P. 1593-1603. *In*: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., A. L. Del Angel P. y C. Perdomo M. (comps.). 2019. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México. Año 3, Núm. 1. http://rctveracruz.org/assets/files/AvancesInvestigacionRC2019%2029%20nov%202019.pdf

Villarruel-Fuentes, M., C. Viveros-Colorado, E. D. Azamar-Morales y V. López-Hernández. 2021. Morfometría de semillas de *Bauhinia monandra* Kurz colectadas en tres zonas ruderales. Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades. p. 1623-1639. *In*: R. Zetina L. R., O. H. Tosquy V., A. L. Del Angel P. A. Ríos U. y V. A. Esqueda E. (comps). 2021. Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. http://rctveracruz.org/assets/files/LC_RC_Veracruz21_ISBN.pdf

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Andira galeottiana* Standl.

Óscar Santos Pérez Heredia[1]*, José Rodolfo García Nava[1], Mario Luna Cavazoz[1] y Ma. Carmen Ybarra Moncada[2]

Resumen

Andira galeottiana Standl. es una especie endémica de México, ha sido categorizada como vulnerable en la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, cuya semilla muestra características recalcitrantes y bajo porcentaje de germinación debido a la latencia física que presenta. El alto contenido de humedad en la semilla, ocasiona su rápido deterioro en campo, lo que conlleva a un incremento en la perdida de viabilidad, requiriendo un desgaste parcial o total de la testa mediante factores bióticos y abióticos para que pueda germinar, que en parte ha ocasionado la disminución de sus poblaciones en su zona de distribución natural. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura constante en el índice de velocidad de germinación (IVG) y porcentaje de germinación (PG) de semillas escarificadas al 100%. Se establecieron cuatro tratamientos con 100 semillas, dividido en cuatro repeticiones de 25 semillas cada uno, T1 25°C, T2 30°C, T3 35°C y T4 40°C con fotoperiodo 16:8 horas luz-oscuridad y el diseño experimental fue completamente al azar. Con los datos se realizó un ANOVA y comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). La comparación de medias Tukey para los tratamientos de germinación a diferentes temperaturas constantes mostro diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento T3 35°C y T1 25°C, iniciando la germinación a los 7 d y alcanzando su mayor porcentaje a los 23 d; con porcentajes de 99, 94, 94 y 91% para T3 35°C, T2 30°C, T4 40°C y T1 25°C. La variable IVG mostró diferencias significativas Tukey ($p \leq 0.05$) entre el tratamiento T3 35°C y T1 25°C con índices de 1.9 y 1. Las temperaturas constantes (25, 30,

[1] Posgrado en Botánica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Estado de México. *oscarperez@colpos.mx.
[2] Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México.

35 y 40°C) y fotoperiodo 16:8 horas luz-oscuridad, aumentan el porcentaje y velocidad de germinación de semillas escarificadas al 100%.

Palabras clave: densidad máxima del rodal, función densidad-tamaño, línea de auto-aclareo, técnica de variables indicadoras, parámetro alométrico

Introducción

Andira galeottiana Standl. llamado Macayo, es una especie endémica de México, se distribuye en la vertiente del Golfo, desde el centro de Veracruz y el norte de Oaxaca, hasta Tabasco y Chiapas (Pennington y Sarukhan, 2016). La madera de Macayo es utilizada localmente en mampostería para cimbra, carrocerías y leña (Gutiérrez y Dorantes, 2004), en la construcción de casas (Pennington y Sarukhan, 2016), y la corteza es utilizada como purgativo, vermífugo y antihelmíntico (Hastings, 1990). *A. galeottiana* es un árbol de la vegetación asociada a humedales y manglares, representa un hábitat para la fauna silvestre, es un filtro natural de agua, proporciona protección contra la erosión eólica, y es usada en la reforestación y restauración de zonas ripiaras (Gutiérrez y Ricker, 2010). Es una especie promisoria en la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos (Ochoa *et al.,* 2011) y tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium,* una característica de la familia Fabaceae*,* por lo que es altamente recomendada para sistemas agroforestales.

A partir de 1998, *A. galeottiana* se encuentra catalogada como vulnerable en la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2017). En México no está considerada bajo ninguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-ECOL (SEMARNAT 2010), sin embargo, *A. galeottiana* muestra un ritmo preocupante de pérdida poblacional debido a latencia física que presenta la semilla (Pérez *et al.*, 2021), encontrando relictos en ciertas regiones, entre ellas en la comunidad de Rancho Nuevo, Tezonapa, Veracruz.

La germinación es fundamental en la sobrevivencia de las poblaciones de plantas, y muchas especies desarrollan mecanismos como latencia, que les permite a las semillas permanecer

por largos períodos de tiempo en el suelo hasta que las condiciones ambientales sean favorables para su establecimiento.

El establecimiento de especies nativas, entre ellas *A. galeottiana*, en áreas degradadas como lo son suelos con cultivos de caña de azúcar establecidos a orillas de ríos de la región de Tezonapa, es una opción importante para contrarrestar el problema de pérdida de biodiversidad, erosión hídrica y eólica debido a los escurrimientos de agua, ya que estas pueden plantarse en las orillas de ríos y cuerpos de agua evitando la erosión. Las especies nativas contribuyen a la recuperación del suelo y en el establecimiento de flora y fauna nativa debido al hecho de que están bien adaptadas al ambiente. Además, con un manejo adecuado pueden brindar beneficios económicos y ecológicos (Moya y Tenorio, 2013). Sin embargo, existen limitaciones generales de las plantas nativas para su uso debido a la ausencia de información técnica sobre la biología de la semilla y su manejo en vivero (Britos *et al*., 2013), situación en la que se encuentra la especie en estudio.

Debido a la importancia ecológica de *A. galeottiana* y a la falta de información sobre la germinación de esta especie, el objetivo del presente estudio es proponer tratamientos con temperaturas constantes que permitan alcanzar el máximo porcentaje de germinación, en el menor tiempo posible.

Materiales y Métodos

Recolecta de semilla

La semilla se recolecto de cinco árboles, con una altura promedio de 7 m y un diámetro al 1.30 m de 18 cm, ubicados en el predio conocido como el Macayo en la comunidad de Rancho Nuevo, Tezonapa, Veracruz en octubre de 2020, en la zona centro del estado en las coordenadas 18°32´30´´N y 96°47´02´´W, a una altitud de 120 msnm Figura 1, dentro de la zona de distribución natural de la especie Figura 2. El predio se encuentra a 968 m del río Altotonga, tributario del río Tonto, que a su vez es afluente del río Papaloapan (Sistema de Información Municipal, 2018). Entre las especies forestales que forman parte de la vegetación se encuentran principalmente *Cedrela odorata* L., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn*, Cordia alliodora*

Conservación y Restauración Forestal

(Ruiz & Pav.) Oken*, Inga edulis* Mart.*, Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero *ex* A.DC.*, Croton draco* Schltdl. y *Pachira aquatica* Aubl.

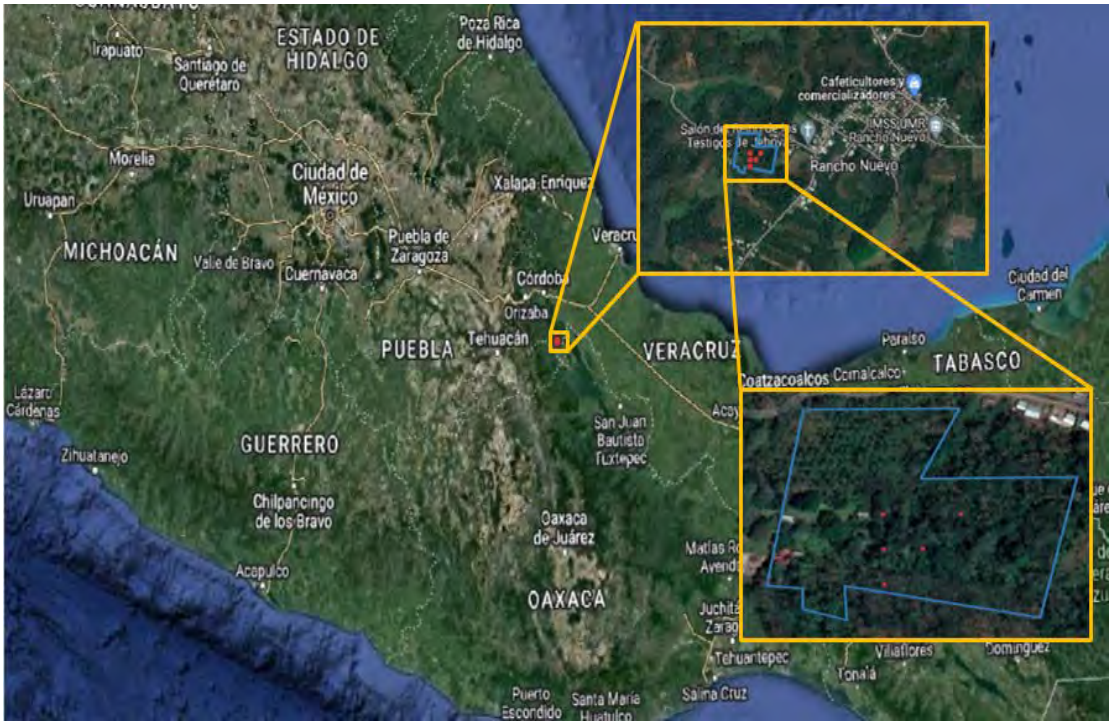


Figura 6. El polígono muestra el predio llamado "Macayo" y la posición de los arboles dentro del predio, en la comunidad de Rancho Nuevo, Tezonapa, Ver.

La semilla fue resguardada y trasladada en bolsas de plástico transparentes calibre 0.1 mm de espesor y almacenada en el laboratorio en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente 20 ±3°C en Texcoco, Estado de México, transcurriendo tres meses desde la recolecta a su utilización.

Germinación a diferentes temperaturas

Las semillas se escarificaron al 100% mediante la metodología utilizada por Pérez *et al.* (2021), que consistió en realizar un corte transversal en la testa de semilla con un taladro eléctrico marca Power craft 600W y una sierra circular de 10 cm diámetro, y tratadas con fungicida Captan (1 g de Captan por L de agua por 10 min). Posteriormente, las semillas de los tratamientos T1 25°C, T2 30°C, T3 35°C y T4 40°C se colocaron en charolas de 20x35 cm con sustrato perlita en la germinadora marca Seedburo® a temperatura constante con fotoperiodo 16:8 horas luz:oscuridad. Cada tratamiento estuvo compuesto por 100 semillas, divididas en

cuatro repeticiones cada una. La germinación se evaluó a los días 7, 10, 13, 15, 17, 19, 21 y 23 después del establecimiento.



Figura 7. Distribución de *Andira galeottiana* en México (Pennington y Sarukhan, 2016).

Variables evaluadas

Porcentaje de germinación (PG). Se contabilizó el número de semillas germinadas totales y se relacionó con el número de semillas establecidas al inicio del experimento, mediante la ecuación de Deaquiz y Burgos (2015):

$$Pg = \frac{semillas\ germinadas}{semillas\ sembradas}\ x\ 100$$

Índice de velocidad de germinación (IVG): Se refiere a la relación del porcentaje de germinación por conteo y se obtuvo por medio del registro final de semillas germinadas y posteriormente se calculó mediante la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{N_i}$$

En donde:

IVG: índice velocidad de germinación

Xi: número de plántulas germinadas por conteo

Conservación y Restauración Forestal

Ni: número de días después de la siembra

n: número de días totales

Análisis estadístico

Debido a que el porcentaje de germinación es una variable binomial la cual no cumple con los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas (Heinze y Schemper, 2002). Los datos fueron transformados mediante la función Box Cox en el programa estadístico Rstudio, Esta transformación tiene la finalidad de normalizar la distribución de los datos, además de estabilizar las varianzas, cumpliéndose los supuestos de independencia mediante aleatorización, normalidad con la prueba de (Shapiro-wilk) con *p* (0.3092) y homogeneidad de varianzas (Bartlett) con *p* (0.8839 para los porcentajes de germinación transformados previamente mediante Box Cox.

Utilizamos un diseño experimental completamente al azar (DECA), el análisis de varianza se realizó con el programa estadístico Rstudio, los resultados fueron analizados con la prueba de comparación de medias Tukey ($p < 0.05$).

Resultados y Discusión

Porcentaje de germinación

El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre el tratamiento T3 35 y T1 25°C (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de germinación final de semillas de *A. galeottiana* a diferentes temperaturas constantes a los 23 d de establecidos los tratamientos.

Tratamiento	Germinación (%)	sd	c.v	var	sig
T3 35°C Luz	99	41.0	0.79	1683.6	a
T2 30°C Luz	94	42.2	1.29	1786.2	ab
T4 40°C Luz	94	42.5	1.58	1801.1	ab
T1 25°C Luz	91	39.2	1.24	1543.5	b

sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia. Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p< 0.05$).

Conservación y Restauración Forestal

Los tratamientos T2 30, T3 35 y T4 40, alcanzaron su máximo porcentaje a los a los 15, 13 y 15 días después de establecidas a temperaturas controladas (Figura 3). Contrario a lo anterior, semillas de la misma especie establecidas en condiciones de invernadero con temperaturas fluctuantes tuvieron 65% germinación total promedio (Pérez *et al.*, 2021).

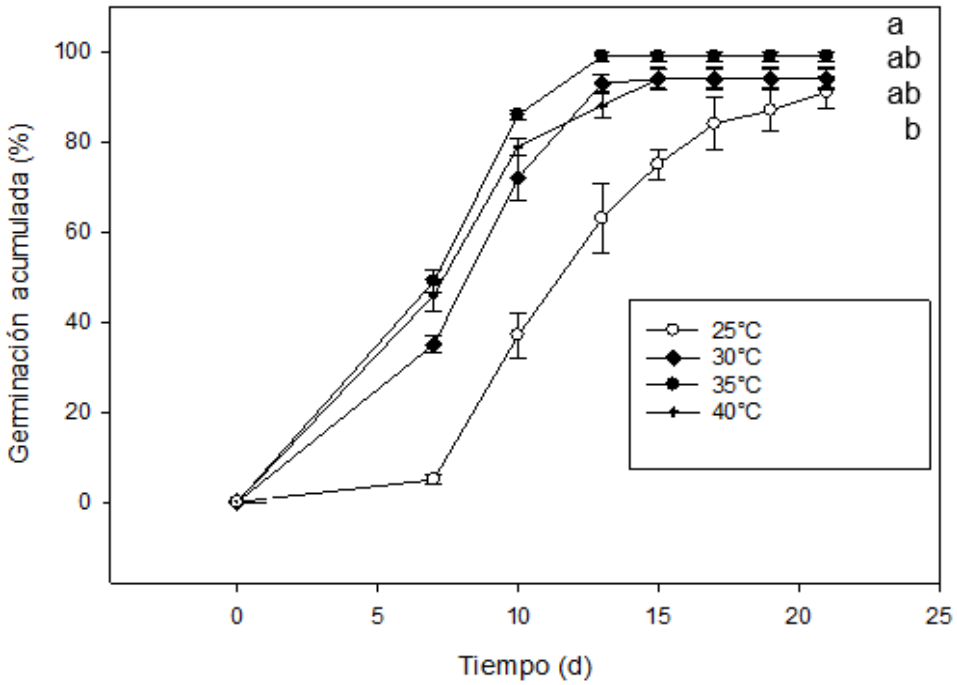


Figura 3. Germinación acumulada de semillas de *A. galeottiana* a 23 días de establecidos los tratamientos a temperatura constante con fotoperiodo 16:8 h luz:oscuridad en germinadora. Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey (p< 0.05).

Para determinar la temperatura óptima de germinación según Popinigis (1985) se debe tomar en cuenta tanto el porcentaje final, como el índice de velocidad de germinación IVG. Algunos autores reportan temperaturas óptimas para especies de la familia Fabaceae como maní (*Arachis hypogaea* L.), entre los 22 y 36°C con porcentajes entre 95 a 99% de germinación final (Caroca y Vargas, 2016), y *Mimosa aculeaticarpa* var. biuncifera (Fabaceae-Mimosoideae) alcanza su mayor porcentaje a una temperatura de 30°C según Pavón *et al*. (2011), mientras que la temperatura óptima para *Prosopis argentina* Burkart y *P. alpataco* Phil es de 35°C, obteniendo 100% de germinación a los 7 d (Villagra, 1995); lo que fue similar al obtenido por *A. galeottiana* para el tratamiento T3 35°C con 99% de germinación a los 13 d.

Conservación y Restauración Forestal

Índice de velocidad de germinación a los 23 d (IVG)

El ANOVA mostro que existe efecto de la temperatura, sobre el índice de velocidad de germinación ($p>0.05$). La comparación de medias Tukey ($p< 0.05$) mostro que el tratamiento T3 35°C tuvo mayor IVG respecto a los tratamientos T30, T40 y T25°C (Cuadro 2). Rajjou *et al*. (2012) mencionan que las enzimas que regulan la velocidad del proceso de germinación se acelera con el aumento de la temperatura.

Cuadro 2. Comparación de medias Tukey ($p\leq0.05$) Índice de velocidad de germinación de semillas de *A. galeottiana* en condiciones constantes de temperatura a los 23 d de establecidos los tratamientos.

Tratamiento 16:8 h luz:osc	IVG	sd	c.v	var	sig
T3 35 °C	1.90	0.035	0.01	0.001	a
T2 30 °C	1.56	0.865	0.05	0.007	b
T4 40 °C	1.56	0.097	0.04	0.004	b
T1 25 °C	1.00	0.061	0.06	0.003	c

Letras diferentes indican diferencias significativas. IVG: índice de velocidad de germinación, sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia, osc: oscuridad.

El índice de velocidad de germinación se vio estimulado especialmente por el tratamiento T3 35°C con un IVG de 1.9 semillas germinadas por conteo. La temperatura a 40°C no afecto el proceso de germinación en semillas de *A. galeottiana*, T4 40°C alcanzó un 94% de germinación final y un IVG de 1.5 semillas germinadas por día.

Conclusiones

La temperatura constante (25,30,35 y 40 °C), afecto de forma positiva el proceso de germinación de semillas de *Andira galeottiana* Standl, aumentando el porcentaje e índice de velocidad de germinación, siendo este proceso más homogéneo, en especial a una temperatura de 35°C, respecto a semillas germinadas a temperatura ambiente.

Conservación y Restauración Forestal

Literatura Citada

Caroca, R. Z. N. y M. Vargas. 2016. Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences *32*(2):94-101. https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902016000200002.

Britos, P. G., D. Quinteros M. y G. Enciso M. 2013. Crecimiento de especies forestales nativas en una plantación mixta, en el Alto Paraná. Investigación Agraria 8(2): 50-57.

Deaquiz, O. Y. A., y A. Y. E. Burgos. 2015. Efecto de la aplicación de giberelinas (GA3) sobre germinación de semillas de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) variedad Santa Cruz. Conex. Agropec. *JDC 3*(2): 29-36.

Gutiérrez C., L. y J. Dorantes L. 2004. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México. Consultado el 08/12/2021 de https://www.verarboles.com/

Gutiérrez, G. & M. Ricker. 2010. Ecología forestal de algunas especies arbóreas de interés para la reforestación y restauración del Parque Ecológico Tuzandepetl. Convenio Específico PEP-UNAM No.420401868. pp 8-10. Consultado el 09/10/2019

Hastings, R. B. 1990. Medicinal legumes of Mexico: Fabaceae, papilionoideae, part one. Economic Botany 44(3):336-348.

Heinze, G., & M. Schemper. 2002. A Solution to the problem of separation in logistic regression. Statistics in Medicine 21(16):2409-2419.

IUCN. 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Downloaded on 01 January 2019.

Maguire J, D. 1962. Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. Crop Science 2(2):176–177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183x000200020033x

Moya, R, R., y C. Tenorio M. 2013. Características de combustibilidad de diez especies de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana *Kurú* 10(24):26-23. https://doi.org/10.18845/rfmk.v10i24.1321.

Ochoa G., S., I. Pérez H., J. A. Frías H., A. Jarquín S., y A. Méndez V. 2011. Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Editorial Colegio de la Frontera Sur. Tabasco, México. 145 p.

Pavón P., N., J. Ballato-Santos, C. Pérez-Pérez. 2011. Germinación y establecimiento de *Mimosa aculeaticarpa* var. *biuncifera* (Fabaceae-Mimosoideae). Revista mexicana de biodiversidad 82*(*2): 653-661.

Pennington, T, D., y J. Sarukhán, J. 2016. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 523 p.

Pérez H., O. S., J. R. García N., M. Cavazos L. y Ma. C. Ybarra M. 2021. Germinación, emergencia y el desarrollo inicial del árbol *Andira galeottiana* Standl. p. 1026-1035. *In*: memoria de la XXXIII Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz 2021. Medellín, Ver. México.

Popinigis, F. 1985. Fisiologia da Semente. 2° Ed, Brasilia D.F. 289 pp. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6182844&pid=S0187-73802014000100010001100012&lng=es.

Rajjou, L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, T. Claudette *et al.* 2012. Seed germination and vigour. Annual Review of Plant Biology 63:507-33. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550.

SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo. MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III DOF 14/11/2019. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre, 2010.

Sistema de información municipal. 2018. Secretaria de finanzas y de planeación (SEFIPLAN).http://ceieg.veracruz.gob.mx/wpcontent/uploads/sites/21/2018/05/Tezonapa.pdf. Consultado el 15/03/2019.

Villagra, P, E. 1995. Temperature effects on germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Fabaceae, Mimosoidae). AGRIS: International Information System for the Agricultural Science and Technology. https://agris.fao.org/agris-searchs/searchs.do?recordID=CH9600125

CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES ARBÓREAS PARA RESTAURACIÓN DE DUNAS COSTERAS DE TABASCO

Eduardo Javier Moguel Ordóñez[1], Nelly del Carmen Jiménez Pérez[1]*, Juan de Dios Valdez Leal[1], Coral Jazvel Pacheco Figueroa[1], Luis José Rangel Ruiz[1], Lilia María Gama Campillo[1] y Ena Edith Mata Zayas[1]

Resumen

El frente litoral tabasqueño se encuentra ocupado por dunas costeras y cordones litorales de baja altitud que originalmente estaban cubiertas, predominantemente, por vegetación arbórea y arbustiva que permitía mantenerlas muy estables funcionando como una cortina contra el embate de tormentas, viento y mareas. En la actualidad esta zona se considera como una de las más vulnerables del país a los efectos del cambio climático y el incremento del nivel del mar y ha estado sujeta a procesos de erosión que originan retrocesos de hasta 9 m/año. La generalizada deforestación del litoral y deterioro de las dunas tabasqueñas exacerba el problema de la erosión costera. Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el éxito de supervivencia y crecimiento inicial de especies arbóreas en áreas costeras de Tabasco, con la finalidad de usarlas exitosamente en los esfuerzos por restaurar las capacidades de la zona para enfrentar la erosión costera y elevación del nivel del mar. El trabajo comprendió el periodo de diciembre de 2019 a junio de 2021. Se usó un terreno en la comunidad El Cocal, municipio de Cárdenas, Tabasco, México. Se establecieron cinco especies: icaco (*Chrysobalanus icaco L.*), uva de playa (*Coccoloba uvifera (L.) L.*), tinto (*Haematoxylum campechianum L.*), marañón (*Anacardium occidentale L.*) y macuilís (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.), evaluando semestralmente el porcentaje de sobrevivencia, altura y diámetro de tallo. La sobrevivencia fue de 100% para las plantas de icaco, uva de playa y macuilís, el 85% de las de tinto y el 60% de las de marañón. Las plantas de tinto, icaco y uva de playa tuvieron incrementos en altura durante todo el periodo estudiado, pero las de marañón y macuilís registraron daños que afectaron su altura. En cuanto a diámetro del tallo, el icaco y el tinto tuvieron los mayores

[1] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Km 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco, México. 86039 *njimenezp@hotmail.com

incrementos (611 y 341%, respectivamente). Un año y medio después de establecida la plantación, el tinto y el icaco sobresalen como las especies con mayor tasa de crecimiento, y junto con la uva de playa, como las mejores especies para iniciar la restauración de dunas costeras.

Palabras clave: suelos costeros de Tabasco, restauración de costas, erosión costera, especies arbóreas para restauración de costas

Introducción

En la franja costera del estado de Tabasco las actividades predominantes son la pesca, la ganadería, la producción coprera y la extracción de recursos forestales, particularmente mangle. Las superficies dedicadas a la ganadería y la producción coprera han crecido lentamente incluso a costa de las áreas con vegetación de humedales o inundables como el manglar y tasistales (*Acoelorraphe wrightii* (Griseb. & H. Wendl.) H. Wendl. ex Becc.), así como de primer frente en las dunas como la uva de playa (*Coccoloba uvifera* (L.) L.), de tal forma que desde la desembocadura del río Tonalá, en el límite con Veracruz hasta la desembocadura del Rio San Pedro en los límites con Campeche solo se encuentran superficies arboladas (predominantemente manglar) en los alrededores de los cuerpos de agua costeros y en la desembocadura de los ríos Tonalá, Grijalva y San Pedro, incluyendo sus riberas costeras. Esa vegetación arbórea que se ha estado eliminando funcionaba como una barrera que menguaba el efecto del viento y las mareas manteniendo las dunas costeras muy estables, y evitándose así la erosión costera y amortiguando el efecto del incremento del nivel del mar (INM).

En la actualidad se considera a la costa tabasqueña como una de las zonas del país más vulnerable a la erosión costera y al incremento del nivel del mar (Núñez *et al*., 2016; Ortíz, 1992; Ortiz y Méndez, 2004), y ha estado sujeta a procesos de erosión que originan retrocesos de hasta 9 m/año (Hernández-Santana *et al*., 2008). El avance de este fenómeno representaría la modificación de recursos de alto valor ecológicos (como los humedales y sistemas lagunares) y socioeconómicos (recursos pesqueros, activos de producción petrolera, puertos, entre otros), que son especialmente importantes para la economía estatal y nacional. Asociado

a ello, en la franja de los primeros 5 km de línea de costa habitan poco más de 90 000 personas en 147 localidades, algunas ubicadas en la cota de 5 m (INEGI, 2010), sin embargo, el fenómeno de erosión y deforestación costera, así como afectación a las dunas continúa avanzando. Debido a lo anterior, en Tabasco existe gran preocupación gubernamental por atender la problemática del INM y las posibles afectaciones sobre el patrimonio socioambiental del estado (Hernández-Santana *et al*., 2008).

Entre las diferentes medidas que se han planteado para minimizar el impacto a las zonas costeras, está el de mantener con la mayor integridad posible a las dunas costeras, incluyendo una cubierta vegetal que favorezca tanto su estabilidad como su protección a los ecosistemas aledaños. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2020) ha estado impulsando actividades de restauración de las dunas costeras basándose en actividades de reforestación. Aun cuando se han implementado diversos programas para reforestar y restaurar la zona costera de Tabasco, el éxito de estos no ha sido satisfactorio (Hernández *et al*., 2016) en virtud de factores dentro de los cuales sobresale una falta de análisis de las mejores estrategias para reforestar y a que los esfuerzos se centran, básicamente, en áreas con vegetación de manglar.

Por ello este trabajo tiene como objetivo evaluar el éxito de supervivencia y crecimiento inicial de especies arbóreas en áreas costeras de Tabasco, con la finalidad de usarlas exitosamente en los esfuerzos por restaurar las capacidades de la zona para enfrentar la erosión costera y elevación del nivel del mar, además de contribuir en la generación e información sobre el crecimiento y desarrollo de las cinco especies estudiadas.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en la porción Oeste de la zona costera de Tabasco, a una distancia del límite de la Zona Federal Marítimo Terrestre (del Golfo de México) de 0.5 km tierra adentro, en el poblado El Cocal, municipio de Cárdenas, Tabasco (Figura 1).

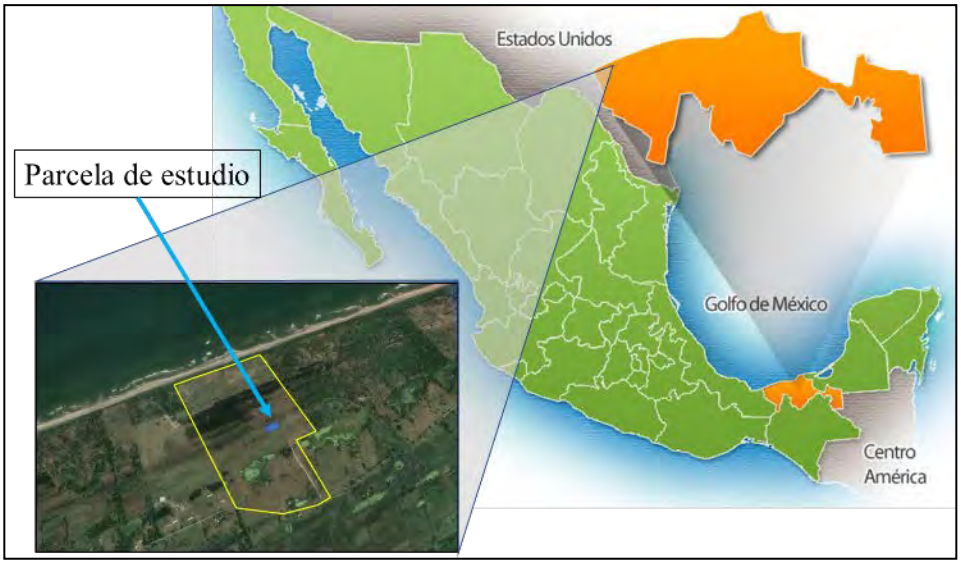


Figura 1. Ubicación de la parcela de estudio en la zona costera del municipio de Cárdenas, Tabasco.

Esta parcela, hasta antes del año 1980 (y por más de 40 años) estuvo cultivada con cocotero (*Cocos nucifera* L.) y, posteriormente, se estableció pasto (teniendo a la fecha *Brachiaria sp.*) para ganadería extensiva; el terreno tiene fragmentos compactos de tasiste (*Acoelorrhaphe wrightii* (Griseb. & H. Wendl.) H. Wendl. ex Becc.). El relieve del suelo es de dunas costeras, con ondulaciones no mayores a 10 msnm y con pendiente de suave a moderada (de 5 a 25%). Se delimitó una superficie de 1,000 m^2 en la cual, en diciembre de 2019, se establecieron 119 individuos de especies con antecedentes de tolerar excesos de humedad y desarrollarse bien en zonas costeras: marañón (*Anacardium occidentale* L.), icaco (*Chrysobalanus icaco* L.), uva de playa (*Coccoloba uvifera* (L.) L.), tinto (*Haematoxylum campechianum* L.) y macuilís (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.). Todas esas especies presentan tolerancia a las condiciones de suelos arenosos y excesos de humedad en la época lluviosa del año y aunque entre especies la edad fluctuó entre 6 y 12 meses, los individuos de cada especie tenían la misma edad. En Cuadro 1 se presenta información específica de las condiciones iniciales de las plantas previa a la plantación.

Cuadro 1. Condiciones iniciales de las plantas usadas en el estudio.

Especie	Número de plantas	Edad (meses)	Vivero de origen	Dimensión del envase (cm)	Sustrato
Marañón *Anacardium occidentale* L.	17	12 meses	Vivero del Gob. del Edo. de Tabasco	Bolsa de 30x40	Tierra negra y Residuos Vegetales descompuestos
Icaco *Chrysobalanus icaco* L.	22	11 meses	Vivero del Gob. del Edo. de Tabasco	Bolsa de 25x35	Tierra negra y Residuo Vegetales descompuestos
Uva de playa *Coccoloba uvifera* (L.) L.	18	11 meses	Vivero del Gob. del Edo. de Tabasco	Bolsa de 22x35	Tierra negra y Residuos Vegetales descompuestos
Tinto *Haematoxylum campechianum* L.	23	8 meses	Vivero CONAFOR, Villahermosa, Tabasco	Tubo de 18x30	Tierra negra y Residuos Vegetales descompuestos
Macuilís *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.	39	6 meses	Vivero del Ayuntamiento, Comalcalco, Tabasco	Tubo de 25x35	Tierra negra y Cascarilla de cacao descompuesta

Las plantas se plantaron a una distancia media de 2.5 m entre cada una, y no se tuvo mayor preparación del terreno que el chapeo manual del pasto, la limpieza completa en un diámetro de un metro en cada punto de siembra de plantas, y la apertura de las pocetas con un diámetro de 30 cm por 40 cm de profundidad. Durante el tiempo del estudio se efectuaron labores de limpieza manual con chapeos del pasto en todo el sitio de estudio y limpieza completa en un radio aproximado de un metro a partir del tallo. Se efectuaron podas sanitarias cuando la planta presentaba ramas secas y en la época seca del año (febrero-mayo) fue necesario controlar plagas (usando Abamectina) ya que se tuvieron daños por un arácnido (Araneae: *Acanthepeira* sp.). En la parcela se tomaron muestras de suelo de 6 puntos de muestreo en profundidades de 0-30 y 30-60 cm para caracterizarlo física y químicamente, usando los criterios de fertilidad del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Al momento de la plantación, a los seis meses (Muestreo 1), a los 12 meses (Muestreo 2) y 18 meses (Muestreo 3) después de la plantación se realizaron mediciones tanto de sobrevivencia de las plantas (porcentaje de sobrevivencia) como de características morfométricas en cada una de las plantas sembradas (altura hasta la yema apical más alta y diámetro del tallo a los 5 cm sobre el suelo durante todo el estudio).

Cada una de las plantas se tomó como una unidad experimental de 6.25 m^2 cada una y de esta forma se tuvieron un número desigual de repeticiones, esto es, número de plantas por especie (Cuadro 1), las cuales se distribuyeron bajo un diseño completamente aleatorio. Usando el programa IBM SPSS 21 se realizaron, previa verificación de normalidad y homogeneidad de varianza, análisis factoriales para valorar la interacción de interés (muestreo x especie) tanto con la información de altura como de diámetro del tallo, y se aplicó la prueba post hoc de Duncan en los casos pertinentes. En el cálculo de las métricas usadas se tomó a las mediciones al momento de la plantación como tiempo cero (to) y a partir de esta se calcularon los incrementos en cada uno de los tres muestreos subsiguientes.

Resultados y Discusión

El suelo usado en el estudio es predominantemente arenoso, con más de 90% de arena en todo el perfil evaluado, y una densidad aparente con valores superiores a 1.32 g/mL y sin problemas de compactación ni drenaje. El pH fluctuó entre 5.1 y 6.5, definiéndose como moderadamente ácidos. El contenido de materia orgánica en el estrato superficial (0-30 cm) tuvo valores entre 1.6 y 3.5% definiéndose como un suelo con contenido medio de materia orgánica, y en el segundo estrato (30-60 cm) los porcentajes de materia orgánica fluctuaron entre 0.6 y 1.5 definiéndose como un suelo con bajo contenido de materia orgánica. El Nitrógeno Total fluctuó entre 446 y 1,036 mg/g considerándose deficientes en Nitrógeno Total. Debido a la ubicación costera del terreno, el suelo tiene, en ambos estratos evaluados, conductividades eléctricas menores a 70 µS/cm, categorizándose como salino. La Capacidad de Intercambio Catiónico en meq/100 g del suelo es baja en el estrato 0-30 y muy baja en el estrato 30-60. Elementos como el Fósforo, Zinc, Calcio, Magnesio y Potasio tiene concentraciones de bajas a muy bajas o deficientes, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, pero las concentraciones de Hierro, Manganeso y Cobre se encontraron como adecuadas en ambos perfiles del terreno.

El año 2020 fue particularmente anómalo en cuanto a precipitación pluvial se refiere (Figura 2) y la plantación estuvo sujeta a condiciones más secas que los años normales (las anomalías son negativas) en los primeros meses del año, así como a excedentes de precipitación

(prácticamente desde mayo hasta noviembre) que originaron que las plantas estuvieran inundadas poco más de un mes entre noviembre y diciembre de ese año.

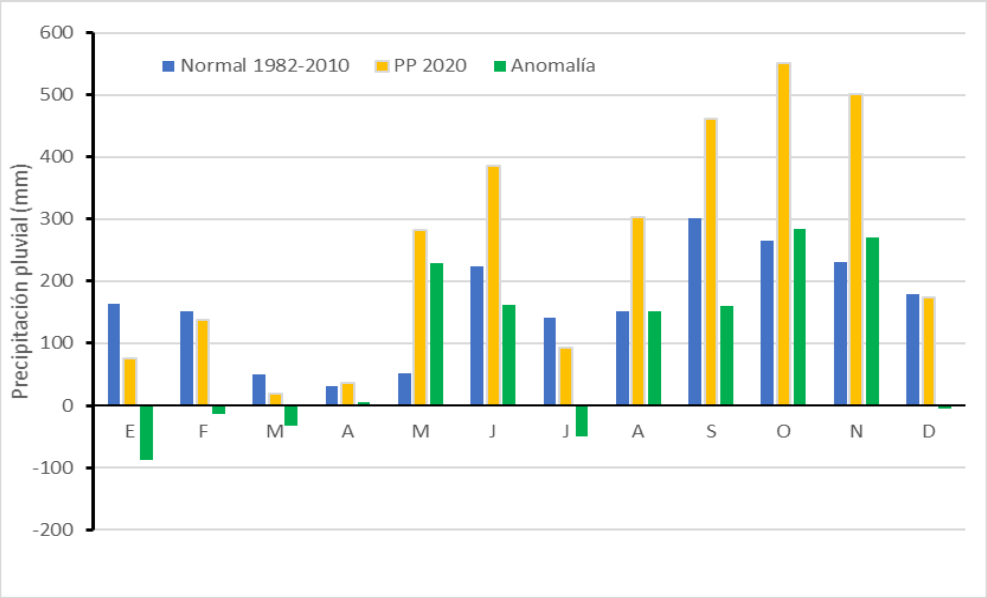


Figura 2. Condiciones de precipitación pluvial en el año 2020 en Tabasco (datos Normales de la estación 00027074 Poblado C-11 y datos de 2020 del estado de Tabasco. Tomados de https://smn.conagua.gob.mx/es/).

Sin embargo, todas las especies lograron sobrevivir a esas condiciones, aunque el marañón presentó una sobrevivencia baja de 60%, en particular durante la temporada invernal 2020-2021, esto es, entre los muestreos 2 y 3. Las restantes especies tuvieron sobrevivencias muy aceptables (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de sobrevivencia de las especies estudiadas 18 meses después de la siembra.

Especie	Porcentaje de sobrevivencia
Marañon	60
Icaco	100
Uva de playa	100
Tinto	87.5
Macuilis	100

Conservación y Restauración Forestal

En el análisis de los resultados, tanto para altura como diámetro de las plantas, solo se consideran los relacionados a la interacción muestreo x especie (el contraste por especie en los diferentes momentos de muestreo). El crecimiento en altura de las plantas durante los primeros 12 meses después de la plantación tuvo diferencias significativas en todas las especies establecidas ($p \leq 0.05$); sin embargo, en el periodo de los 12 a los 18 meses el marañón y el macuilís fueron muy afectadas por las condiciones climáticas, en particular los "nortes" (lluvias invernales) originando que tuvieran quiebre de ramas e incluso desecación de las ramas apicales, por lo cual la altura ganada durante los primeros 12 meses del estudio se redujo en un 43% en el caso del marañón y un 11% en el macuilís en el muestreo a los 18 meses. Durante todo el periodo evaluado, el tinto (38%) y el icaco (29%) tuvieron los mayores incrementos en altura (Figura 4).

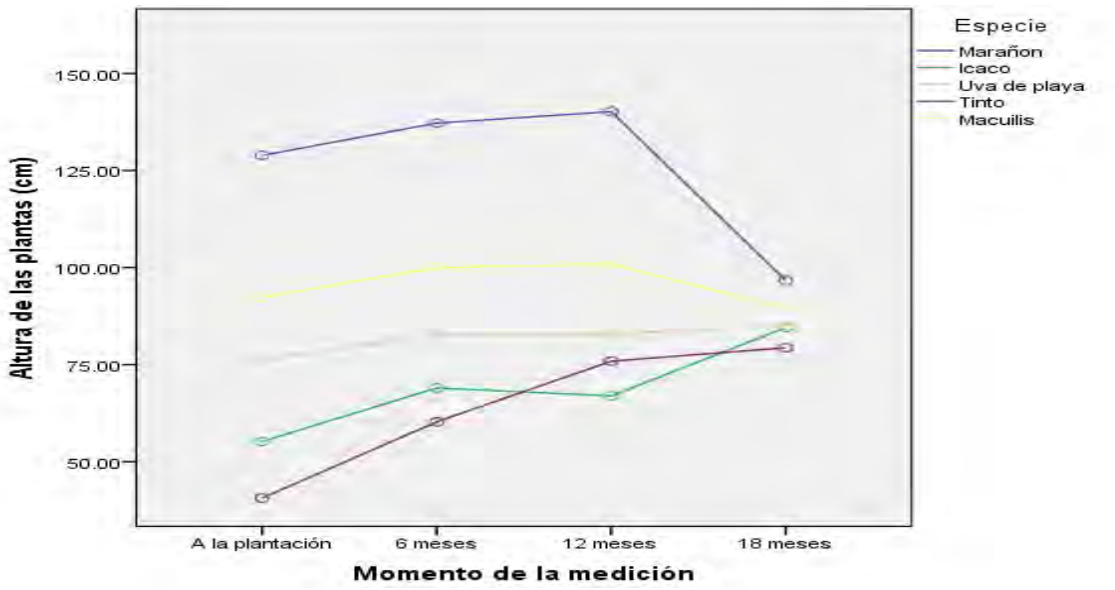


Figura 4. Alturas de las especies estudiadas desde la plantación hasta los 18 meses posteriores (muestreo 3).

En relación con el diámetro del tallo (figura 5), se encontraron diferencias significativas tanto entre periodos de muestreo como en la interacción de especies con los periodos de muestreo ($p \leq 0.05$). Solo el macuilís tuvo un incremento de diámetro inferior al 100% (81%) pero todas las restantes especies tuvieron incrementos arriba de 100%, sobresaliendo el icaco y el tinto (Cuadro 2). El mayor incremento en diámetro del tallo ocurrió entre los muestreos 1 y 2 (entre los 6 y 11 meses después de la plantación).

Cuadro 2. Incremento en diámetro del tallo en las especies estudiadas 18 meses después de la siembra.

Especie	Incremento (mm)	% incremento
Marañón	15.93	202.97
Icaco	19.70	611.80
Uva de playa	10.23	132.75
Tinto	11.97	341.94
Macuilís	7.03	81.89

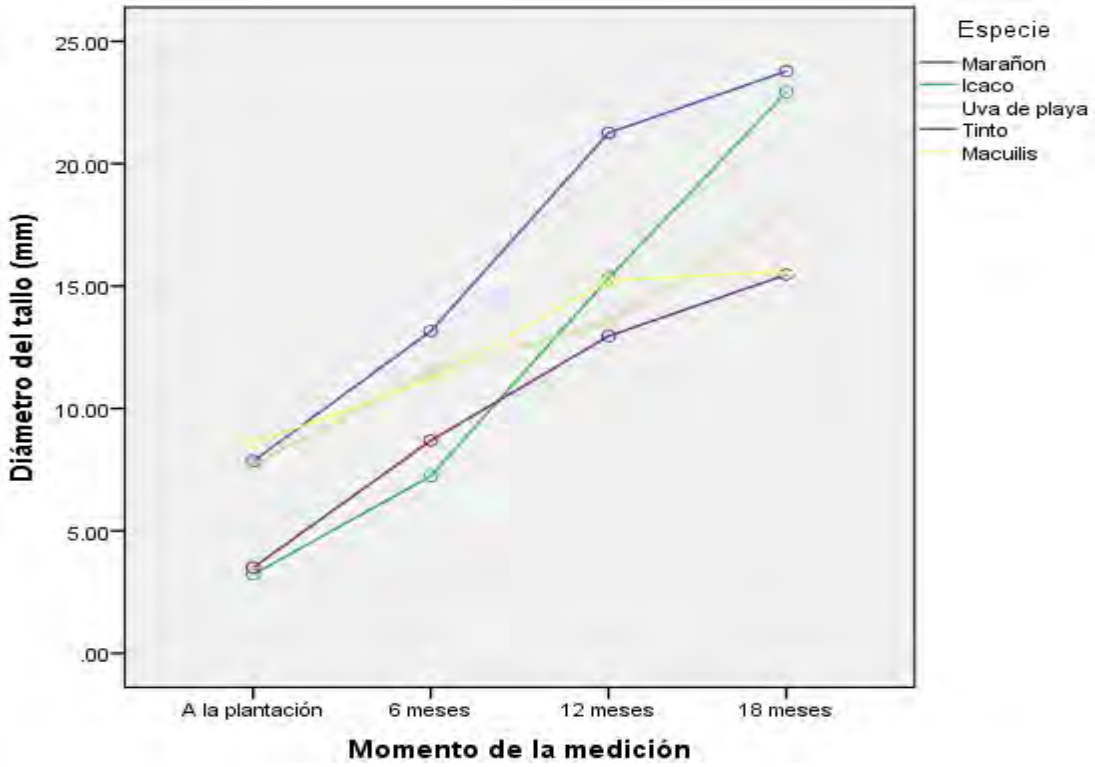


Figura 5. Diámetro de las especies estudiadas desde la plantación hasta los 18 meses posteriores (muestreo 3).

Durante los dos primeros meses después de la plantación, el crecimiento de las plantas fue muy lento debido a que los vientos y lluvias de los frentes fríos fueron muy intensos y originaron defoliación al tinto, macuilís y marañón, sin embargo, después de la época seca (a partir de junio de 2020) se reactivó el crecimiento en todas las especies. Las plantas de icaco y uva de playa mantuvieron un follaje denso durante todo el año evaluado. En los primeros seis meses después del establecimiento de la plantación, la poda continua de las ramas que se secaban fue importante para mantener a las plantas vivas y en crecimiento. Zamora (2010) buscando

Conservación y Restauración Forestal

especies con potencial para restauración de humedales reporta un 87.04% de sobrevivencia de plántulas de *H. campechianum* después de seis meses de establecidas en campo, además de que predominó en incremento en altura contra el incremento en diámetro basal del tallo, lo cual coincide con los resultados de este trabajo donde el tinto incremento 38% con respecto a la altura inicial. Uitzil *et al*. (2013) señalan que, en un sitio costero típico con suelos arenosos, las plántulas de *Coccoloba uvifera* registraron alturas promedio de 0.94 y 2.85 m para plantas de Icaco de 1 y 3 años de edad bajo condiciones lluviosas. En el mismo estudio de Zamora (2010) se reporta que *Coccoloba barbadensis (*muy cercano a *C. uvifera)*, a los seis meses tuvo un 61.11% de sobrevivencia de sus plántulas, presentando una mayor tasa de mortalidad durante los tres primeros meses, lo cual contrasta con los resultados de este estudio donde su tuvo un 100% de sobrevivencia, y su incremento en altura fue menor que el incremento en el diámetro basal. En el caso de *C. icaco*, Diaz-Mendoza *et al*. (2019) evaluaron su crecimiento en altura a lo largo de 7 semanas consecutivas, encontrando incrementos de hasta 23.5 cm en ese periodo (en promedio 3.4 cm/semana). Moreno-Cassasola y Mata (2002) señalan que a los 10 meses las plantas de icaco tienen una altura de 0.5 m y un creciendo de 1.25 cm/semana. En el presente estudio, a los 18 meses, las plantas tuvieron un promedio de altura de 0.85 m, con un creciendo de 1.18 cm/semana.

Abdul Salam y Peter (2010) señalan qué a los seis meses de germinados, la plántula de marañón tiene una altura entre 30 y 40 cm con diámetro de 0.95 cm, y al año alcanza alturas hasta de 120 cm y diámetros del tallo de 3.8 cm. En los resultados del presente estudio, el diámetro medio del tallo fue de 2.2 cm con una altura ligeramente superior a los 130 cm. Las plántulas de macuilís germinando y creciendo bajo condiciones de campo en la costa del pacífico en Jalisco (Mora, 2006) alcanzó alturas de 36.9 cm en 12 meses, con un promedio de 3.08 cm/mes y un diámetro de 10.76 mm, con un promedio de 0.9 mm/mes, siendo que en este estudio el máximo incremento anual de altura para el macuili fue de 8.62 cm, con un promedio de 0.72 mm/mes; en diámetro del tallo incrementó 7.029 mm y un promedio mensual de 0.59 mm. Este limitado incremento tanto en altura como en diámetro podría atribuirse a que esta especie fue muy afectada por los vientos de los “nortes”, originando que el tallo se incline y que las hojas continuamente estuvieran dañadas, además, fue una de las dos especies, junto con el tinto, que fueron muy afectadas por muerte descendente de la planta, por lo cual fue necesario podar desde el ápice a las plantas.

Conclusiones

Durante los primeros 18 meses de establecido el estudio puede concluirse lo siguiente:

a) Aun cuando todas las especies usadas han sobrevivido en las condiciones particulares de la costa tabasqueña, el macuilís y el marañón has sido los más sensibles a las condiciones climáticas invernales afectando su crecimiento y, en el caso del marañón, su sobrevivencia,

b) El icaco y el tinto son las especies que han tenido los mayores incrementos sostenidos en altura,

c) Todas las especies tuvieron incrementos en diámetro que mínimamente duplicaron su diámetro (macuilís) y hasta lo quintuplicaron (icaco),

d) El icaco, la uva de playa y el tinto se consideran, hasta este momento del estudio, las especies con mejores características para usarse en la restauración de las dunas costeras.

Agradecimientos

A la familia de la Sra. Luz del Alva Córdova López y su esposo el profesor Francisco, del poblado El Cocal, municipio de Cárdenas, Tabasco, por todas las facilidades que han prestado para el uso de una fracción de su terreno y el acceso al mismo.

A la empresa Sapura Energy por aportar recursos para el establecimiento del estudio.

Literatura Citada

Abdul Salam M. and K. Peter V. 2010. Cashew - A Monograph. Studium Press. New Delhi, India. 257 p.

Díaz-Mendoza C., L. Ayola-Mendoza, Y. Morelo-González, I. Díaz–Gómez, Y. Burgos-Alarcón y J. B. Pedroza-Rojas. 2019. Caracterización de la especie *Chrysobalanus icaco* como alternativa de reforestación para mitigar procesos de erosión costera. Estudio de caso sostenibilidad ambiental de la especie en el departamento de Bolívar-Colombia. Investigación e Innovación en Ingenierías 7(1):6-33. DOI: https://doi.org/10.17081/invinno.7.1.3129

Conservación y Restauración Forestal

Hernández-Santana J. M., M. A. Ortiz P., A. P. Méndez L. y L. M. Gama C. 2008. Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. Investigaciones Geográficas 65:7-21.

Hernández M. G. I., A. Sol S., O. Ruíz R., I. Valdez H., J. C. López C. y J. L. Reta M. 2016. Diagnóstico del proceso de reforestación en manglares de la costa de Tabasco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. Núm. 14: 2883-2894.

INEGI. 2010. México en cifras. Información Nacional, por entidad federativa y municipios. http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=27 [consultado el 4 de junio de 2022].

Mora, S. A., Valdez-Hernández J. I., Ángeles P. G., Musálem S. M. A., y Vaquera, H. H. 2006. Establecimiento y desarrollo de plántulas de *Tabebuia rosea* (Bignoniaceae) en una selva subcaducifolia manejada en la costa pacífica de México. Revista Biología Tropical 54(4): 1215-1225.

Moreno-Cassasola, P. y Mata I. D. 2002. Especies para reforestación de las dunas de la costa central de Veracruz. SEMARNAT. CONAFOR. México. 18 p.

Núñez G. J. C., Ramos R. R., Barba M. E., Espinoza T. A. y Gama C. L. M. 2016. Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. Investigaciones Geográficas 91:70-85.

Ortiz, P. M. A. 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltaico del río San Pedro, Campeche, Tabasco. Investigaciones Geográficas 25:7-23.

Ortiz, P.M.A. y Méndez L., A. P. 2004. Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y sus implicaciones en las costas bajas del Golfo de México y Mar Caribe. p 307-318. *In*: Rivera A., E., Villalobos, G. J., Adeath I. A. y Rosado M. F. (eds.). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. Campeche, México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 2020. Restauración de dunas costeras. Una medida de adaptación ante el cambio climático. PNUD-México. https://pnudmx.exposure.co/restauracion-de-dunas-costeras

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf [consultado el 11 de febrero de 2022].

Uitzil, O., Hoy, S., López, D. y González, C. 2013. Monografía: Uva de mar. Instituto Tecnológico de Chetumal. México. 19 p.

https://html.pdfcookie.com/02/2019/11/30/dvm1pkqgodvy/dvm1pkqgodvy.html [consultado el 19 de julio de 2022].

Zamora C., L. F. 2010. Evaluación espacio-temporal del crecimiento de plántulas con potencial para la restauración de humedales. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Villahermosa. Villahermosa, Tabasco. 191 p.

CONSERVAR PRODUCIENDO Y PRODUCIR CONSERVANDO, UN ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS PÚBLICAS DEL AGROECOSISTEMA CAFETALERO EN MÉXICO

Lorena Perea Gómez[1*], María del Carmen Álvarez Ávila[1] y Alberto Asiain Hoyos[1]

Resumen

El agroecosistema cafetalero está inmerso en un contexto cambiante, donde convergen actores de los sectores: productivos, organizaciones, corporativos, políticos, económicos y sociales con intereses y necesidades diferentes. El objetivo de este trabajo fue conocer las políticas públicas enfocadas a la conservación del medio ambiente y producción sustentable en el agroecosistema cafetalero desde la perspectiva de los actores. El análisis se realizó desde un enfoque interpretativo. Se utilizaron diversos documentos: instrumentos de política nacionales, literatura científica y notas periodísticas. Mediante estos documentos se pudieron identificar los actores principales y patrones discursivos relacionados con dos conceptos: desarrollo sustentable y sistemas productivos agroforestales. Existen dos tipos de narrativa, la hegemónica y la contra narrativa. Se determinó que los problemas que enfrenta el sector cafetalero son: los bajos precios, problemas fitosanitarios y falta de subsidios, lo que ha ocasionado pobreza, abandono de las huertas y migración. Ante esto, la actual política pública da solución a través de dos programas: Sembrando Vida y Bienestar para Pequeños Productores de Café, mediante el impulso a la inversión extranjera con el establecimiento de una fábrica procesadora de café y el subsidio de plantaciones de café de la variedad robusta, que demandará la empresa. Las organizaciones cafetaleras consideran que estas medidas no solucionan los problemas de fondo del sector. Por otro lado, los productores y la academia apoyan y reproducen la narrativa hegemónica sobre los sistemas de producción agrícola sustentables que a su vez brindan soluciones ambientales. En este último aspecto, los sistemas agroforestales como el cafetalero bajo sombra, tiene beneficios ambientales y

[1] Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. *lorep.go@gmail.com

ecosistémicos, el cual, es incentivado por el programa Sembrando Vida. Se propone que además de la reforestación con especies nativas maderables incorporar especies no maderables como las orquídeas epifitas. Para ello se requiere incentivar proyectos de investigación científica sobre reproducción y manejo de estas especies en los sistemas cafetaleros.

Palabras claves: café-orquídea, sistema agroforestal, programas sociales

Introducción

En México, el café se cultiva desde hace más de 200 años. Este cultivo fue adaptado a los sistemas agroforestales nativos y se asociaron con otras especies vegetales de importancia para las y los campesinos e indígenas (Toledo y Moguel, 1996). Desde que fue introducido hasta la fecha la comercialización y consumo del café han sido principalmente en el mercado internacional. Uno de los problemas principales es el precio, pues este, es fijado por la bolsa de valores de Nueva York (Bernal, 2020). En la actualidad se sabe que el agroecosistema cafetalero tiene diversas funciones: económicas, sociales, ambientales y culturales (Partida *et al.,* 2021). En este contexto, en el agroecosistema cafetalero convergen distintos actores con intereses y cada uno tiene necesidades diferentes, que requieren la intervención del gobierno en sus distintos niveles para dar soluciones puntuales a través del diseño de políticas públicas. La política pública tiene distintos significados. Según Graglia (2012), las políticas públicas son "*proyectos y actividades que un Estado diseña y gestiona a través de un gobierno y una administración pública a los fines de satisfacer necesidades de una sociedad*". Por su parte Aguilar (1992), indica que son "*decisiones de gobierno que incorporan la opinión, la participación, la corresponsabilidad y el dinero de los privados, en su calidad de ciudadanos electores y contribuyentes*" y Subirats (1989), entiende a la política pública como aquella: "*norma o conjunto de normas que existen sobre una determinada problemática, así como el conjunto de programas u objetivos que tiene el gobierno en un campo concreto*". Estas definiciones describen los elementos y actores que enmarcan la política pública actual en torno al sector cafetalero mexicano. Como son satisfacer las necesidades de las y los productores

mediante programas sociales y la influencia de las organizaciones cafetaleras y de la iniciativa privada para el diseño de las políticas actuales.

El gobierno mexicano en cumplimiento a las disposiciones contenidas en los artículos 26° (inciso A) de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y 5º, 6º y 20 de la Ley de Planeación. El Ejecutivo Federal debe presentar el Plan Nacional de Desarrollo, los Programas Sectoriales y los Programas Especiales. En dichos instrumentos están referidas las acciones puntuales para incentivar e impulsar el sector cafetalero del país (Presidencia de la República, 2019).

El objetivo de este trabajo fue conocer las políticas públicas enfocadas a la conservación del medio ambiente y la producción agroecológica relacionada con el agroecosistema cafetalero desde la perspectiva de sus actores principales, así como la pertinencia de considerar a los sistemas agroforestales cafetaleros como parte de la conservación del medio ambiente.

Materiales y Métodos

El análisis se realizó mediante el enfoque interpretativo. Bajo este enfoque se han analizado las policías publicas entorno a la salud, mediante las dinámicas discursivas de los actores principales y el análisis de información primaria, y secundaria, como la implementación incide en su aplicación y en la prevalencia de ciertas enfermedades (Bejarano, 2017; Urieles, 2021). El enfoque interpretativo es considerado parte de la ontología constructivista, que indica que los fenómenos de política pública se construyen a través de los significados que les dan los distintos actores, y la interpretación se considera como el medio epistemológico adecuado para revelar las reglas y operaciones de esa construcción (Durnová y Weible, 2020). El análisis de políticas desde esta perspectiva origina evidencias y argumentos para ponerlos a disposición de la sociedad y se genere un debate, con la finalidad de tener una nueva comprensión de los problemas públicos, proponer nuevas políticas o reformular las que no estén cumpliendo sus objetivos (Yanow, 2000; Celis, 2010).

Para el presente análisis se utilizó el método propuesto por Yanow, (2000), citado por Cruz (2020), con algunas modificaciones que a continuación se describen (Figura 1).

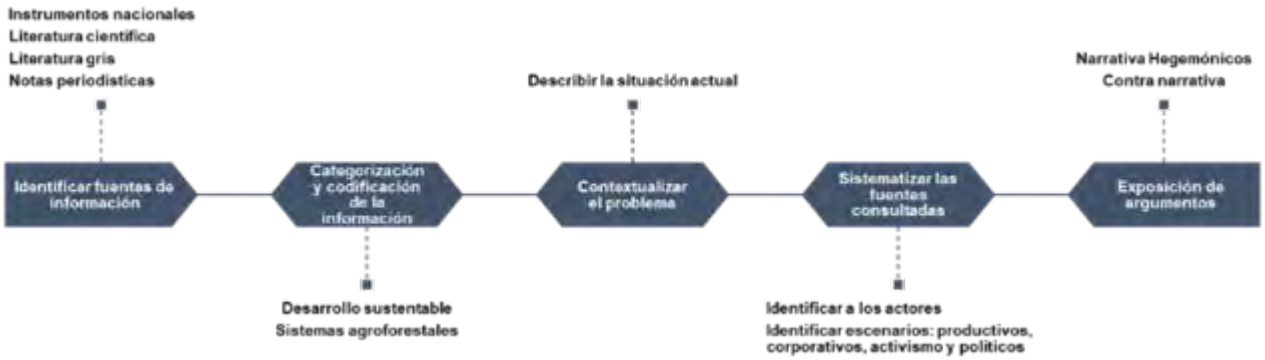


Figura 1. Método de análisis de la política pública.

Identificar fuentes de información. Primero, se identificaron los instrumentos de política pública relacionadas con el tema, tales como: Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, del eje II Política social, del que surgen el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y el Programa Sembrando Vida. En el eje III Economía, se deriva el Programa para el Bienestar en el Subcomponente Sustentabilidad y Bienestar para Pequeños Productores de Café. Segundo, artículos científicos, que fueron consultados en el buscador Google Académico. Y tercero, literatura gris, consistió en la búsqueda de notas periodísticas y boletines de prensa corporativo.

Caracterización y codificación de la información. La información obtenida de se codifico según la definición de los términos de desarrollo sustentable y sistemas agroforestales, obtenido de dos instrumentos nacionales: el Programa Sembrando Vida y el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Descripción de la situación actual. Se consultaron artículos científicos que estudiaron la situación actual del agroecosistema cafetalero desde distintas perspectivas.

Sistematización de las fuentes consultadas. Consistió en identificar a los actores principales y los diferentes escenarios acción de cada uno de ellos.

Exposición de argumentos. Se identificaron en los documentos analizados las narrativas que reproducen la narrativa hegemónica, es decir, la que proviene de la política pública y aquella que está en contra para realizar un análisis.

Con base a la revisión y análisis de la documentación se identificaron los principales actores involucrados en la cadena agroalimentaria del café y los escenarios en donde se encuentran. Se establecieron dos categorías de análisis: desarrollo sustentable y sistemas productivos

Conservación y Restauración Forestal

agroforestales, dichas categorías fueron definidas a partir de los instrumentos de política pública actuales. Mediante estas dos categorías se identificaron patrones discursivos compartidos entre los actores y las repercusiones, posteriormente, se codificó la información para su posterior descripción y análisis. Las limitaciones de este estudio es que aún falta obtener información de fuentes primarias como son entrevistas directas con los actores involucrados; sin embargo, en este primer acercamiento se podrá dar un panorama general para identificar áreas de oportunidad desde el punto de vista científico y tecnológico.

Resultados y Discusión

Se identificaron nueve fuentes de información, que comprenden cuatro instrumentos de política nacionales, un artículo científico, tres notas periodísticas y un comunicado de prensa. A través de estos documentos se logró identificar la política pública actual, los actores involucrados y su postura, problemáticas y los escenarios donde se desenvuelven en el sector cafetalero (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sistematización de fuentes consultadas.

	Nombre	Importancia
Tipo de documento	Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (Presidencia de la República, 2019)	Enmarca los problemas y las causas que los originaron. Hace referencia al desarrollo sostenible como paradigma para abordar problemas amiéntales y agroalimentarios.
Instrumento nacional	Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024 (SEMARNAT, 2020)	Hace un diagnóstico sobre la situación ambiental que enfrenta el país. Propone nuevos paradigmas de conservación.
Programa	Programa Sembrando Vida 2021 (Secretaria del Bienestar, 2019)	Ejecuta las acciones concretas para atenuar la pobreza mediante incentivos. Fomenta el establecimiento de Sistemas de Producción Agroforestales.
Programa	Programa de fomento a la agricultura. Subcomponente Sustentabilidad y Bienestar para Pequeños Productores de Café (Secretaria de Agricultura, 2019)	Ejecuta las acciones concretas para impulsar el desarrollo regional integral mediante incentivos. Fomenta la integración de las cadenas productivas agrícolas prioritarias.

Continúa Cuadro 1…

	Nombre	Importancia
Programa	"Si no hubiera este programa, Sembrando Vida, ya no estuviera yo aquí, me hubiera ido de migrante": Hermelindo Lorenzo Pérez (Hernández, 2021)	Entrevista a un cafeticultor beneficiario del programa Sembrando Vida. Quien reporta que el programa evito que migrara y se reactivara su huerta.
Nota periodística	Que acaben privilegios y apoyo a las trasnacionales: cafetaleros (Pérez, 2022)	Hace referencia a la visión de una organización de cafeticultores. Considera que son insuficientes los incentivos gubernamentales, los problemas son los mismo que desde hace 40 años y demanda una reforma a la ley para la cafeticultura mexicana.
Nota periodística	Causa de la huida de Nestlé (Braunholz, 2022)	Es una reseña de un miembro de una ONG, que narra que una empresa trasnacional determina la política y acciones referentes a la producción de café en México. Hace una critica sobre el programa Sembrando Vida.
Nota periodística	Construcción Planta de Nescafé en Veracruz (Nestle, 2020)	En este comunicado la empresa hace referencia de su labor para con los cafeticultores. Promueve el cultivo a través de incentivos. La transformación del café se hará mediante prácticas sustentables.
Comunicado de prensa del corporativo	Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales (Villarreyna *et al*., 2020)	Describe con evidencia científica la importancia del agroecosistema cafetalero en el medio ambiente.

Categorías o conceptos de análisis

Las categorías o conceptos de análisis son desarrollo sustentable y sistemas productivos agroforestales. Estas definiciones se tomaron de dos instrumentos nacionales de política pública, el Programa Sembrando Vida y el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Desarrollo sustentable: Es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras (SEMARNAT, 2020).

Sistemas productivos agroforestales: los cuáles combina la producción de los cultivos tradicionales en conjunto con árboles frutícolas y maderables, y el sistema de Milpa Intercalada entre Árboles Frutales (MIAF), con lo que se contribuirá a generar empleos, se incentivará la autosuficiencia alimentaria, se mejorarán los ingresos de las y los pobladores y se recuperará la cobertura forestal de un millón setenta y cinco mil hectáreas en el país (Secretaria del Bienestar, 2019).

Con estos dos conceptos se establecieron subcategorías de análisis que permitieron determinar los patrones discursivos de los distintos documentos utilizados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Sistema categorial.

Categoría	Subcategoría
Desarrollo sustentable	Biodiversidad Agrobiodiversidad Bienestar Ambiente Recursos naturales Restauración ambiental
Sistemas productivos agroforestales	Agroecológico Ingresos Reforestación Sistemas alternativos Justicia social

Contexto de la cafeticultura

La cafeticultura mexicana está conformada por unas 500 mil familias cafetaleras, casi el 85% pertenecen a 25 pueblos indígenas. México es uno de países productores que aún tienen producción de café arábiga bajo sombra, que se caracteriza por contar con una amplia diversidad de especies arbóreas, conservar la biodiversidad y proteger las cuencas hidrográficas (Bernal, 2020). Sin embargo, este cultivo presenta problemáticas como son: el bajo precio del grano, debido a la especulación de los mercados internacionales, el acaparamiento por parte de algunas empresas y problemas fitosanitarios como es la enfermedad de la roya (Ortega y Ramírez, 2013). Estos factores han propiciado el abandono

del cultivo, la migración masculina y cambios en los roles de género de las mujeres pertenecientes a familias cafeticultoras (Cárcamo *et al*., 2010). La estacionalidad de la cosecha, limitan el ingreso económico en los periodos que no hay cosecha (Partida *et al.,* 2021). En este contexto es importante hacer énfasis en la importancia de los sistemas cafetaleros, debido a la situación económica y política, pone en riesgo la existencia de estos agroecosistemas, pues es común que sean abandonados, las familias campesinas emigren o cambien el uso del suelo.

Actores y escenarios en el agroecosistema cafetalero

Cuando entra en vigor una política pública los actores inmersos en un contexto y momento histórico determinado se ven afectados de manera positiva o negativa (Fischer, 2003). De acuerdo con las fuentes consultadas se identificaron a los siguientes actores: estado a través de su aparato institucional, organizaciones no gubernamentales, productores, mercado, corporaciones y comunidad científica. Todos están dentro del escenario político, las organizaciones en el escenario de activismo y en el productivo y corporativo, están las y los productores, el mercado y las empresas acaparadoras (Figura 2).

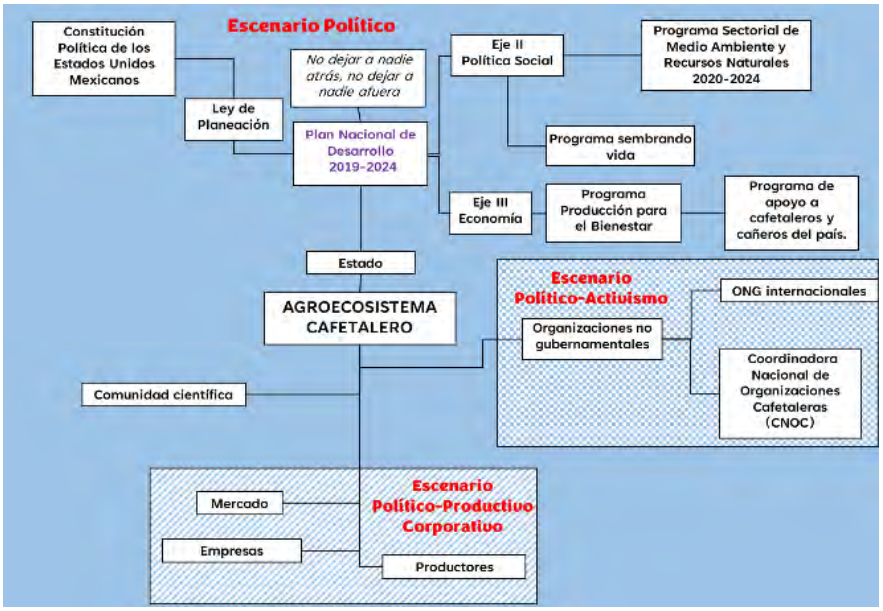


Figura 2. Actores y escenarios en el agroecosistema cafetalero.
Fuente: elaboración propia.

Exposición de argumentos de los distintos actores

La política pública actual se basa en el paradigma del desarrollo sostenible, así como las acciones concernientes a la producción agrícola y a la conservación del medio ambiente. La narrativa hegemónica hace mención que el país es rico en recursos naturales, en biodiversidad y cultura; sin embargo, se han ido perdiendo y empobreciendo a las personas que habitan estas zonas. Reconoce que la degradación ambiental ha sido ocasionada por la deforestación, las actividades extractivas y el cambio de uso de suelo, para actividades agropecuarias. Se reconoce le existencia de dos problemáticas, una ambiental y la otra agroalimentaria muy ligadas entre sí. El gobierno decide incentivar la producción de alimentos de manera sustentable, con acciones para ecologizar a la agricultura. Promueve dos modelos de producción: la milpa intercalada con árboles frutales y el sistema agroforestal, con un manejo sustentables, mediante los cuales, se podrá conservar suelo, agua y biodiversidad. A través de los incentivos a los sistemas agroforestales se podrá restaurar las áreas deforestadas. Cuya meta es reforestar un millón setenta y cinco mil hectáreas en el país (Secretaria del Bienestar, 2019). Por lo que, además de satisfacer la demanda de alimentos estos sistemas son considerados instrumentos para conservar el medio ambiente y mitigar el impacto ambiental de megaproyectos turísticos y el cambio climático.

En una entrevista realizada a un cafeticultor beneficiario del Programa Sembrando Vida, se muestra a favor de la narrativa hegemónica. Considera que poner en práctica los dos sistemas de producción: el agroforestal y la milpa intercalada con árboles frutales, obtiene beneficios económicos, no solo de la venta del café, sino de otros productos agroalimentarios. Gracias al intercambio de saberes entre los técnicos y campesinos, se reconoce la importancia de la diversificación de cultivos a nivel agroalimentario y también es una forma de conservar la biodiversidad del agroecosistema (Hernández, 2021).

La comunidad académica apoya esta narrativa, el agroecosistema cafetalero además de proveer grano de café, tiene función ecológica, pues los sistemas tradicionales, requieren de la sombra de árboles nativos pertenecientes a bosques y selvas (Villarreyna *et al*., 2020), y según estudios científicos el agroecosistema cafetalero ofrece servicios ambientales (Serafín-Castro *et al*., 2021).

Las organizaciones Cafetaleras a nivel nacional tienen una contra-narrativa. Una de sus principales demandas es que el gobierno intervenga en la regulación del precio entre el

productor y las empresas acaparadoras de café. Los apoyos de los programas Sembrando Vida y Bienestar para Pequeños Productores de Café se dan de manera directa al productor, lo consideran un obstáculo para que estos se organicen y tomen acciones conjuntas. También, sirve para reforzar la estructura de dependencia de los productores con las empresas acaparadoras. Con respecto, a su postura sobre la reforestación con cafetales y otras especies nativas con fines de conservación del medio ambiente, tiene la finalidad de satisfacer la demanda de grano de café robusta a una empresa trasnacional (Pérez, 2020).

En ese mismo sentido, actualmente está por establecerse una empresa trasnacional procesadora de café que demandará café Robusta. Mediante el programa Sembrando Vida incentivara la siembra de esta variedad de café para satisfacer la demanda del grano. Sobre este tema, Fernando Celis (2010), indica que estas acciones son una "…*política de promoción de las grandes corporaciones y creara una migración masiva*…". Puesto que la idea de las empresas es obtener materia prima a bajo costo, por ello es necesario la reducción de la mano de obra y la mecanización. Incrementar la producción solo de la variedad de Robusta, ocasionara dos cosas, la saturación del mercado y la disminución de la venta del café arábica en México, cuyo sistema de producción es bajo sombra y la cosecha es manual (Braunholz, 2022).

Por otro lado, la narrativa hegemónica de la empresa transnacional apuesta por la sustentabilidad en todos sus procesos de transformación de café. Mediante el uso de equipos de última generación y energías verdes para reducir el consumo de agua y energía eléctrica, sistemas de tratamiento de aguas residuales, con la quema de la biomasa (residuos de café) generará el 70% de energía que empleará la planta. La empresa implementará un programa de conservación del medio ambiente a través de la reforestación y reubicación de fauna. Promoverá prácticas agrícolas sustentables, como la conservación del agua y el uso adecuado de agroquímicos. Con estas acciones esta empresa contribuirá a que México cumpla con los objetivos de la agenda 2030 (Nestlé, 2021).

Según se ha visto, una parte de la política actual está relacionada con incentivar la producción sustentable de café. Por las características propias de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra, estos albergan una gran diversidad de especies vegetales y animales. Estos pueden ser considerados alternativas de conservación y restauración ambiental.

El papel que le compete a la investigación científica dentro de la política pública es coadyuvar con el logro de los objetivos y metas. Mediante el desarrollar de proyectos de investigación científica pertinentes que promuevan la conservación del medio ambiente y a la vez sean productivos de manera sustentable. Se propone impulsar la investigación para restaurar plantas epifitas, como las orquídeas, y mediante estas acciones promover la conservación de la biodiversidad y la difusión del conocimiento científico sobre aspectos ecológicos y biológicos (Tellez-Velazco, 2017).

Incorporar a las orquídeas epifitas al programa Sembrando Vida como una especie que agregue valor al café, por conservar este recurso dentro del agroecosistema. Esto representa una alternativa productiva para diversificar los productos y servicios (Damon, 2017) para contrarrestar los meses que no hay ingresos por la estacionalidad de la cosecha.

Conclusiones

Los programas que incentivan los sistemas de producción agroforestales, y milpa intercalada con árboles frutales, son agroecosistemas que pretenden solucionar el problema agroalimentario de las comunidades y la degradación ambiental. Las y los sujetos agrarios, están de acuerdo con implementar este paradigma productivo, pues reciben incentivos económicos, en especie y acompañamiento técnico para realizarlo.

El sistema cafetalero bajo sombra es un sistema sustentable y biocultural. Por ello se propone que la política pública incentive los servicios ecosistémicos y la reforestación de especies no solo de árboles nativos y comerciales, sino especies no maderables como las orquídeas.

A diferencia de las y los cafeticultores en lo individual quienes reproducen la narrativa hegemónica, las organizaciones cafetaleras identificaron que los principales problemas son de tipo productivo, el bajo precio del grano, el acaparamiento de las grandes empresas y problemas fitosanitarios. Sobre el precio del mercado, el estado no ha intervenido en su regulación. Por su parte el estado, indica que mediante el establecimiento de una planta transnacional procesadora de café se solucionara parte del problema de los bajos precios. No obstante, las organizaciones están en desacuerdo con esta medida, pues esta empresa nunca ha pagado un precio justo.

Literatura Citada

Aguilar, V. L. 1992. “El estudio de las políticas públicas”. Colección de Antologías de Políticas Públicas. 1ª edición. México: Miguel Ángel Porrúa Grupo Editorial. 36 p.

Bejarano, C. D. 2017. Análisis de la política pública en salud para la población en situación de desplazamiento víctima del conflicto armado asentada en Bogotá, D.C. 2011 – 2015. Un acercamiento desde los discursos del enfoque diferencial. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Derecho, Ciencias Políticas y Sociales Bogotá D.C., Colombia. 6 p.

Bernal, V. P. 2020. De la plantación a la taza. Un acercamiento etnográfico del recorrido del café en la región Coatepec-Xalapa. Tesis de maestría. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. 29 p.

Braunholz, J. 2022. “Causa de la huida de Nestlé” *La Jornada del campo*. Marzo 19. Disponible en: https://www.jornada.com.mx/2022/03/19/delcampo/articulos/causa-huida-nestle.html [Consultado el 10 julio de 2022]

Cárcamo, T. N. J., V. Vázquez G., E. Zapata M. y A. Nazar B. 2010. Género, trabajo y organización: mujeres cafetaleras de la Unión de Productores Orgánicos San Isidro Siltepec, Chiapas. Estudios sociales (Hermosillo, Son.) 18(36): 155-176.

Celis, M. C. 2010. El giro argumentativo en el análisis de políticas públicas. Una transición desde la tecnocracia a enfoques cualitativos. Aspectos generales sobre la política pública frente al desplazamiento forzado en Colombia. GIGAPP Estudios Working Papers 1(1): 1-26.

Cruz, R. E. 2020. Prohibición del uso del asbesto en Colombia, una perspectiva desde el enfoque interpretativista en el análisis de las políticas públicas. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. 60-69 p.

Damon, A. 2017. Estrategia para el rescate conservación y aprovechamiento sustentable de orquídeas en el sureste de México. Agroproductividad 10(6): 25-30.

Durnová, A. P. y C. M. Weible. 2020. ¿Tormenta en un vaso de agua? hacia nuevas colaboraciones entre los enfoques convencionales de estudios de los procesos de política pública y los enfoques interpretativos de política pública. Mundos Plurales - Revista Latinoamericana de Políticas y Acción Pública 7 (1): 19 - 43.

Fischer, F. 2003. Reframing Public Policy: Discursive Politics and Deliberative Practices. Oxford University Press. 278 p.

Graglia, J. 2012. En la búsqueda del bien común. Manual de políticas públicas. 1ª edición.: Konrad Adenauer Stiftung – ACEP. Buenos Aires. 19-20 p.

Hernández, G. M. 2021. “Si no hubiera este programa”. *La Jornada del Campo*. Mayo 15. https://www.jornada.com.mx/2021/05/15/delcampo/articulos/sembrando-vida.html [Consultado el 10 julio de 2022]

Nestlé, 2021. Nestlé México, SE, Academia y SC, organizan foro de avances de cumplimiento a los acuerdos de la Agenda 2030. Noviembre 19. https://www.nestle.com.mx/media/pressreleases/nestle-organiza-foro-avances [Consultado el 1 julio de 2022]

Nestlé. 2020. "Construcción Planta de Nescafé en Veracruz". *Nestlé México*, Octubre 1. https://www.nestle.com.mx/media/pressreleases/nueva-planta-en-veracruz [Consultado el 1 julio de 2022]

Ortega, H. A. y B. Ramírez V. 2013. Crisis de la cafeticultura y migración en el contexto de pobreza y marginación. El caso de los productores indígenas de Huehuetla, Puebla. Ra Ximhai 9:173-186.

Partida, S. S, J. G. Partida S., A. Cabal P. y J. J. González R. 2021. Avaliação de um sistema agroecológico familiar pequeno e alternativo às formas predominantes de produção de café em Huatusco, Veracruz Evaluation. Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability *3*: 1–5.

Pérez, M. I. 2022. "Que acaben privilegios y apoyo a las trasnacionales: cafetaleros". *La Jornada Veracruz,* 15 junio. https://jornadaveracruz.com.mx/estado/que-acaben-privilegios-y-apoyo-a-las-trasnacionales-cafetaleros/ [Consultado el 1 julio 2022]

Presidencia de la república. 2019. Plan nacional de desarrollo 2019-2024. Diario oficial de la federación. https://lopezobrador.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2019-2024.pdf

Secretaria de Agricultura. 2019. Programa Subcomponente Sustentabilidad y Bienestar para Pequeños Productores de Café Ciudad. Diario oficial de la federación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/446954/CONVOCATORIA_SUBICAFE_20_03_2019.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2020. Programa Sectorial Derivado Del Plan Nacional De Desarrollo 2019-2024. Diario Oficial de la Federación.

Secretaria del Bienestar. 2019. Programa Sembrando Vida. Diario oficial de la federación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/603289/ROPS_Sembrando_Vida_28dic2020.pdf

Serafín-Castro, A. M., S. Cortina-Villar, C. Monzón-Alvarado y H. R. Segura-Pacheco. 2021. ¿Favorecen los pagos por servicios ambientales el mantenimiento de las huertas cafetaleras? Evidencia del Ejido de San Vicente de Benítez, Guerrero, México. Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional. 2-26 p.

Subirats, J. 1989. Análisis de políticas públicas y eficacia de la administración. Instituto Nacional de Políticas Públicas (INAP). Ministerio para las administraciones públicas. Madrid. 40 p.

Tellez-Velazco, M. 2017. Importancia y aprovechamiento sustentable de productos forestales no maderables en bosques de niebla: Estudio de caso en orquídeas. Agroproductividad 10 (6): 46-53.

Toledo, V. M. y P. Moguel. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. Ciencias (43): 40-50.

Urieles, S. K. 2021. Análisis comparado de implementación de política pública de enfermedades cardiovasculares, en los Departamentos de Cundinamarca y Atlántico, período 2007 – 2017. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombi. Facultad de Medicina, Departamento de Salud Pública Bogotá, Colombia. 54 p.

Villarreyna, R., J. Avelino y R. Cerda. 2020. Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. Agronomía Mesoamericana 31(2): 499-516.

Yanow, D. 2000. Conducting Interpretive Policy Analysis. Sage University Papers Series on Qualitative Research Methods, Vol. 47. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. USA. 94 p.

Conservación y Restauración Forestal

EVIDENCIA ESTADÍSTICA CONCLUYENTE DE QUE LA PENDIENTE DEL MODELO DE REINEKE VARÍA ENTRE Y DENTRO DE ESPECIES ARBÓREAS

Juan Carlos Tamarit Urias[1]*, Gerónimo Quiñonez Barraza[2] y Xavier García Cuevas[3]

Resumen

El valor del parámetro que corresponde a la pendiente (β) de la función densidad-tamaño de Reineke se ha asumido convencionalmente que, para cualquier especie forestal maderable, tiene un valor teórico universal de -1.605. Al respecto, se planteó y exploró la hipótesis que el valor del parámetro β puede diferir significativamente entre taxones. El objetivo fue demostrar desde un enfoque puramente estadístico que el valor del parámetro que corresponde a la pendiente de la función de Reineke varía tanto entre especies como dentro de una misma especie de eco-regiones diferentes. El ajuste estadístico por regresión de la función fue mediante la técnica de mínimos cuadrados ordinarios no lineales. Se aplicó la prueba de significancia de parámetros al incorporar al modelo la técnica de variables indicadoras sobre el parámetro β. Se procesaron por separado tres bases de datos de siete especies del género *Pinus* de México; las variables fundamentales fueron la densidad (N) expresada como el número de árboles por hectárea como dependiente y el diámetro cuadrático (Dq) como explicativa. Las especies se agruparon en la siguiente manera: (1) cuatro especies de pino: *Pinus engelmannii*, *P*. *herrerai*, *P*. *leiophylla* y *P*. *teocote* que crecen en la misma región agroecológica del El Salto, Durango, México, (2) una sola especie de pino: *P*. *montezumae* creciendo en dos regiones ecológicas diferentes: unidades de manejo forestal 2101 y 2103, en el estado de Puebla y, (3) dos especies de pino: *P*. *douglasiana* y *P*. *hartwegii*, que crecen en dos condiciones ecológicas distintas: Atenquique, Jalisco y Zoquiapan, Estado de México. Con

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental San Martinito. *tamarit.juan@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental Valle del Guadiana.
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Sureste. Campo Experimental Chetumal.

un nivel de confiabilidad del 95% (α=0.05) se determinó que cada taxón requiere un valor específico para la pendiente β y estadísticamente es diferente del valor teórico de -1.605. Este resultado evidencia y ratifica la necesidad de establecer como postulado máximo el hecho de que se debe de desarrollar un modelo específico para cada taxón por eco-región, lo que permitirá definir con aceptable certidumbre la línea de auto-aclareo y con esto construir diagramas para manejar la densidad de rodales, y por tanto poder tomar decisiones informadas en la prescripción de regímenes de aclareos.

Palabras clave: densidad máxima del rodal, función densidad-tamaño, línea de auto-aclareo, técnica de variables indicadoras, parámetro alométrico

Introducción

La densidad de los rodales es una variable clave para el manejo forestal, porque influye directamente en el crecimiento y rendimiento de las masas forestales; para manejarla se han definido diferentes criterios y modelos que en la práctica se traducen en la aplicación de cortas intermedias o aclareos como tratamientos silvícolas. Uno de los principales enfoques que se utilizan para la adecuada gestión de la densidad es mediante el uso de la función densidad-tamaño de Reineke (1933), con la cual es posible determinar tanto la línea de auto-aclareo como el respectivo índice de densidad del rodal máximo ($IDR_{máx}$) de una determinada especie forestal (Tamarit-Urias *et al*., 2020).

El marco teórico conceptual original de la función de Reineke para la derivación del índice de densidad del rodal máximo ($IDR_{máx}$) sostiene que el valor teórico del parámetro de la pendiente o coeficiente alométrico (β) es constante, con un valor convencional para cualquier taxón de -1.605 independientemente de la ubicación geográfica, edad, densidad inicial y calidad del sitio (Reineke, 1933). Sin embargo, la validez general del valor constante de la pendiente ha sido frecuentemente cuestionada (Ge *et al*., 2017; Kara, 2018). En las últimas tres décadas ha sido tema de constante debate entre la comunidad científica internacional.

En la práctica, el uso de este valor universal teórico constante para cualquier especie y región agroecológica podría conllevar la realización de estimaciones con alta incertidumbre y sesgo,

lo que supondría fallos en la consecución de objetivos de gestión forestal al tomar decisiones equivocadas (Pretzsch y Biber, 2005; Ge *et al*., 2017; Kara, 2018). Un caso específico relevante es en la estimación del $IDR_{máx}$ o la determinación de la línea de máxima densidad del rodal (línea de auto-aclareo), los cuales son atributos fundamentales para una determinada especie de interés, mismos que se convierten en insumos tanto para generar herramientas de manejo silvícola (Vospernik y Sterba, 2015; Aguirre *et al*., 2018) como para realizar investigación forestal (Vanclay y Sands, 2009).

El uso del $IDR_{máx}$ debe contribuir a tomar decisiones estratégicas que se fundamenten en el uso de un apropiado valor de β, de esta manera se coadyuvará a alcanzar objetivos diversos de carácter técnico, tal como la prescripción de aclareos con base en guías de densidad, las cuales están orientadas a gestionar la densidad de rodales (Tamarit-Urias *et al*., 2020). Otros atributos relevantes que comúnmente se derivan a partir de aplicar la línea de auto-aclareo y por tanto del valor del parámetro referido, es el área basal y el volumen por unidad de superficie (Bi, 2001; Andrews *et al*., 2018), los cuales a su vez se usan para construir tablas de rendimiento, modelos de crecimiento a nivel de árbol individual o de totalidad del rodal, o bien, para realizar estimaciones de biomasa y carbono de masas forestales (Woodall *et al*. 2011; Brunet-Navarro *et al*., 2016).

Diversos estudios han señalado que el $IDR_{máx}$ y por tanto el valor de β varía por especie y región, incluso se afirma que también varía para una misma especie dentro de una sola región, por lo que adquiere valores específicos (Zeide, 2010; Brunet-Navarro *et al*., 2016; Fonseca y Duarte, 2017; Andrews *et al*., 2018). Los argumentos que se vierten para sostener tal afirmación, principalmente se basan en estudios aislados de especies y eco-regiones que se analizan por separado y de manera independiente. En el análisis estadístico de esos estudios se realiza el contraste con el valor teórico constante originalmente propuesto.

En otros casos, en el análisis del ajuste de la función se incluyen algunas variables relacionadas con diferentes condiciones a nivel de sitio relacionados con factores del suelo, clima o topografía (Morris, 2002; Aguirre *et al*., 2018; Andrews *et al*., 2018). Al respecto, Bi (2001), Ge *et al*. (2017) y Rodríguez *et al*. (2020) refieren que hay evidencia que sugiere que las diferentes condiciones del sitio influyen en el grado de competencia de diferentes especies. También el origen y la composición de la masa, así como las actividades antropogénicas de

manejo silvícola pueden ser otros factores que motiven cambios en la estimación de tal parámetro entres taxones.

De los antecedentes vertidos, resalta el hecho de que no se han realizado estudios detallados en los que se analice desde la perspectiva y enfoque exclusivamente estadístico, en donde mediante alguna técnica robusta, se detecten diferencias o semejanzas con respecto al valor teórico constante de -1.605 del parámetro β, tal como lo es el método de variables indicadoras, cuyas principales ventajas son que únicamente se requiere ajustar un solo modelo de regresión, se logra obtener más grados de libertad para el error al agrupar la información por clases de interés, en este caso por especie y eco-región y, las pruebas de significancia para los nuevos parámetros que se incorporan, son casos especiales de la prueba general de significación de la regresión (Montgomery y Runger, 2018).

En el contexto referido, se planteó el objetivo de demostrar en forma concluyente que, desde el punto de vista estadístico, mediante la prueba de significancia de parámetros al incorporar la técnica de variables indicadoras y mediante el ajuste por regresión de mínimos cuadrados ordinarios no lineales de la función densidad-tamaño de Reineke, existe evidencia significativa que el parámetro alométrico que corresponde a la pendiente varía tanto entre especies como dentro de una misma especie de eco-regiones distintas.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 934 sitios de muestreo de los que se conformaron tres bases de datos (BD) independientes para siete especies forestales maderables de México que pertenecen al género *Pinus*. Los valores de las variables dasométricas de interés que se generaron por sitio y luego se calcularon a nivel de hectárea fueron la densidad o número de árboles (N) y el diámetro cuadrático (Dq). Las especies se clasificaron en: Grupo A con 505 sitios para *Pinus engelmannii*, *P. herrerai*, *P. leiophylla* y *P. teocote* que crecen en El Salto, Durango que corresponde a una misma eco-región; Grupo B con 220 sitios colectados solo para *P. montezumae* en las unidades de manejo forestal (Umafor) 2101 y 2103 que corresponden a eco-regiones distintas del estado de Puebla y, Grupo C con 209 sitios de *P. douglasiana* y *P.*

hartwegii en Atenquique, Jalisco y Zoquiapan, Estado de México, respectivamente, mismas que también son dos condiciones ecológicas contrastantes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies analizadas por grupo y número de sitios de muestreo por taxón.

Grupo	Umafor	Entidad	Zona	Especie	No. sitios
A	1008	Durango	El Salto	*P. engelmanni*	228
	1008	Durango	El Salto	*P. herrerai*	108
	1008	Durango	El Salto	*P. leiophylla*	91
	1008	Durango	El Salto	*P. teocote*	78
B	2101	Puebla	Ixta-Popo	*P. montezumae*	130
	2103	Puebla	Teziutlán	*P. montezumae*	90
C	1404	Jalisco	Atenquique	*P. douglasiana*	176
	1512	Edo. de México	Zoquiapan	*P. hartwegii*	33

Debido a que los sitios de muestreo provinieron de inventarios forestales operativos para aprovechamiento maderable, para conformar cada base de datos por especie, se realizó una selección de sitios con el criterio de alta densidad y competencia, para lo cual se aplicó el método referido por Solomon y Zhang (2002) denominado “Método del índice de densidad del rodal máximo ($IDR_{máx}$)” referenciado en Kara (2018) y Tamarit-Urias *et al*. (2020).

Las bases de datos por grupos de especies con sitios a densidad máxima se procesaron mediante un análisis de regresión no lineal. La función densidad-tamaño de Reineke (1933), en su forma no lineal, que se ajustó tiene la siguiente estructura matemática:

$$N = \alpha D q^{-\beta} \qquad (1)$$

Donde: α y β son los parámetros a estimar, que corresponden al intercepto y a la pendiente de la línea de auto-aclareo, respectivamente.

Para determinar si existe diferencia estadística significativa entre especies con respecto al parámetro de la pendiente de la función de Reineke se aplicó la técnica de variables indicadoras (Montgomery y Runger, 2018), referida en Fu *et al*. (2012) y Zeng (2015), la cual consistió en expandir el parámetro de la pendiente β. En este caso, para detectar si cada especie y/o eco-región requiere de valores específicos en este parámetro es suficiente con analizar la significancia de parámetros asociados a la variable dicotómica. Para ello, se ajustó un modelo que se denominó completo para cada grupo de especies: A, B y C, mismo que se

generó a partir de la inclusión de variables indicadoras; el propósito fue detectar si cada especie y/o región tiene efecto significativo sobre la densidad y por lo tanto se requiere de valores específicos en este parámetro. Adicionalmente, para propósitos de comparación también se ajustó un modelo reducido (original) para cada grupo de especies, el cual correspondió a la expresión (1) e implicó que el valor del parámetro β de interés, es común para todas las especies dentro de cada grupo.

La expansión del parámetro β consistió en incluirle parámetros asociados con efecto aditivo en conjunto con variables ficticias para diferenciar, según el caso, entre especies o regiones agroecológicas. Con base en Anta *et al*. (2006), la estructura general de la expansión del parámetro β tuvo la forma siguiente:

$\beta + B_i I$ con i = 1, 2, … n

Donde: β corresponde al parámetro de la pendiente en el modelo completo; B_i son los parámetros asociados para diferenciar entre especies o grupos, cuyos coeficientes serán estimados en el modelo completo; *I* representa a las variables indicadoras virtuales cuyo valor es igual a 1 para una especie y eco-región particular y 0 para otra diferente; n es el número de especies o eco-regiones. El número de variables indicadoras es n-1.

Para el modelo completo la hipótesis nula fue H_0: no existe diferencia entre especies o dentro de una misma especie en eco-regiones diferentes, en caso de rechazo (significancia de parámetros) se concluye que existen diferencias estadísticas significativas en el valor de β entre especies o eco-regiones, por lo que es necesario que cada taxón tenga un valor específico en la pendiente. En el caso de no rechazo de H_0, se concluye que no existen diferencias estadísticas significativas en el valor de β entre especies o eco-regiones, por lo que es suficiente un valor único en este parámetro para cualquier especie. Para determinar si los valores determinados en los ajustes de las especies analizadas son estadísticamente diferentes del valor teórico constante (β=-1.605) se aplican las pruebas estadísticas de Wald, la de multiplicadores de Lagrange y la de razón de verosimilitud.

El ajuste de los modelos reducido y completo por grupo de especies se efectuó por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) no lineales con el paquete SAS/ETS® (Statistical Analysis System Institute Inc., 2011), versión 9.3. La calidad del ajuste entre el modelo completo y el modelo reducido se comparó utilizando los valores del coeficiente de determinación ajustado por el

número de parámetros (R^2_{adj}) y la raíz del cuadrado medio del error (RCME). Para efectos de hacer un análisis en condiciones similares a las que utilizó Reineke (1933), no se realizó la corrección de la heterocedasticidad.

Resultados y Discusión

Las estadísticas descriptivas básicas de las variables analizadas y el número de sitios por especie seleccionados en alta densidad se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las variables analizadas por especie para los sitios de muestreo seleccionados a alta densidad y competencia.

Especie	Variable	n[1]	Mínimo	Máximo	Media	DE	CV
P. douglasiana	N	176	179.0	12500.0	1825.1	3167.6	173.6
	Dq		5.0	55.0	30.0	16.0	53.2
P. engelmanni	N	26	320.0	2640.0	904.6	560.1	61.9
	Dq		13.7	46.3	28.7	7.9	27.6
P. hartwegii	N	33	178.0	1745.0	661.8	438.7	66.3
	Dq		16.3	65.3	34.6	14.2	41.0
P. herrerai	N	22	320.0	2320.0	945.5	470.1	49.7
	Dq		14.2	40.0	25.5	6.7	26.5
P. leiophylla	N	22	400.0	2240.0	1145.5	505.0	44.1
	Dq		12.1	44.4	21.9	7.8	35.3
P. montezumae[2]	N	47	240.0	3390.0	1216.0	882.1	72.5
	Dq		11.5	45.9	24.3	10.8	44.4
P. montezumae[3]	N	130	75.0	7350.0	1398.5	2263.1	161.8
	Dq		10.0	90.0	45.8	23.7	51.8
P. teocote	N	20	400.0	3760.0	1224.0	894.3	73.1
	Dq		10.8	37.1	22.9	7.8	33.9

DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación; [1]476 sitios totales en alta densidad; [2]Especie en la Umafor 2103, [3]Especie en la Umafor 2101.

El comportamiento gráfico de la densidad (N) con respecto al diámetro cuadrático (Dq) por especie se muestra en la Figura 1. Cuando estas variables se presentan en escala logarítmica tienen una tendencia clara a formar una línea recta con intercepto y pendiente negativa

diferente para cada taxón, situación que evidencia que la ocupación del sitio es máxima en concordancia con lo referido por Zeide (2010) y Vospernik y Sterba (2015).

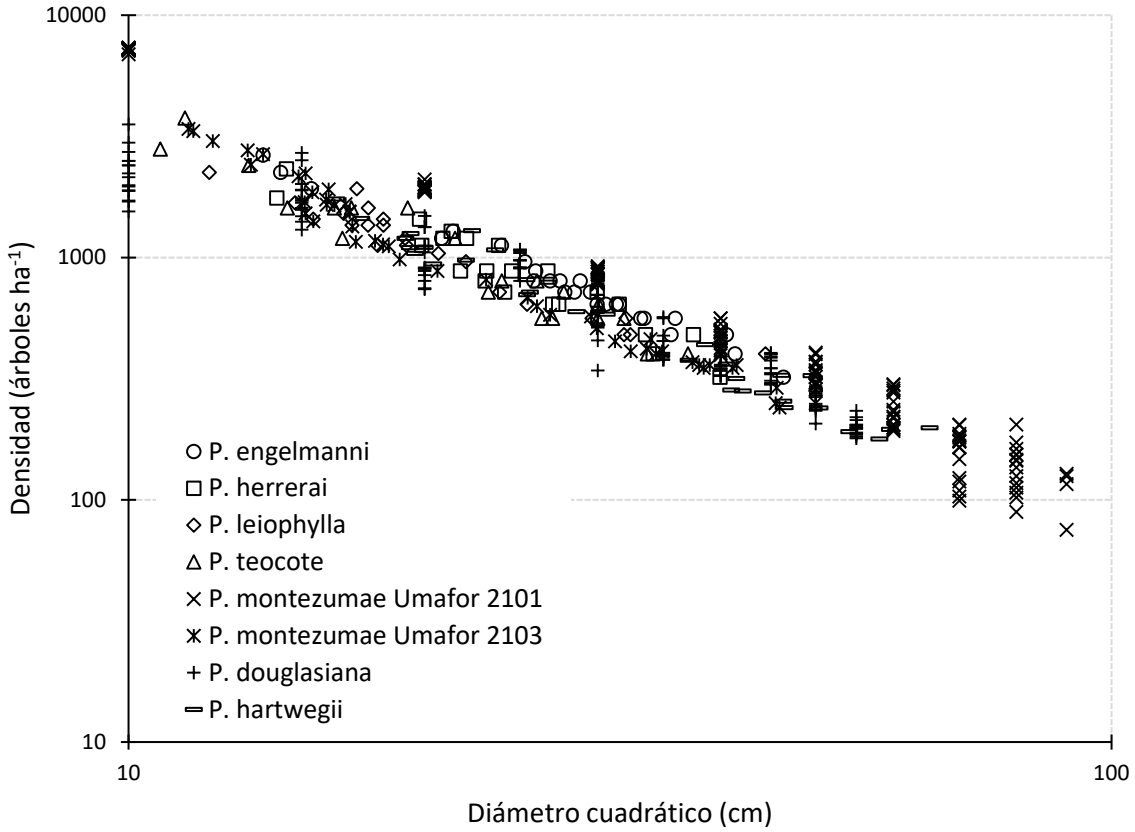


Figura 1. Comportamiento gráfico en escala logarítmica de las variables analizadas por especie con las observaciones seleccionadas en alta densidad y competencia.

El uso de la técnica de variables indicadoras para el ajuste de la función de Reineke resultó eficiente y robusta porque permitió identificar diferencias estadísticas significativas en el valor del parámetro alométrico que corresponde a la pendiente β. Esta diferencia se detectó tanto entre especies como dentro de una misma especie para eco-regiones distintas (Cuadro 3). Tal evidencia es una demostración estadística contundente para asegurar que, en efecto la pendiente varía entre especies para una misma eco-región (grupo A), dentro de una misma especie que crece en eco-regiones distintas (grupo B) y entre especies de diferentes eco-regiones (grupo C). Este resultado coincide con Pretzsch y Biber (2005) y Comeau *et al*. (2010) en el sentido de que el valor de β no siempre es cercano al valor teórico por que los intervalos de confianza al 95% no contienen a -1.605. Con las pruebas estadísticas de Wald,

multiplicadores de Lagrange y razón de verosimilitud se demuestra que el valor teórico es estadísticamente diferente de los valores de β estimados.

Cuadro 3. Ajuste del modelo de Reineke reducido y completo con incorporación de variables indicadoras para el parámetro de la pendiente por grupos de especies y eco-región.

Parámetro	Estimación	EE	Valor de t	Significancia	R^2_{adj}	RCME
Grupo A: cuatro especies de pino en la eco-región El Salto, Dgo., México						
β_0	-1.59474	0.0556	-28.69	<0.0001	0.9033	193.9
β_{00}	-1.60831	0.0531	-30.29	<0.0001	0.9193	177.2
B_{01}	-0.03298	0.0165	-2.00	0.0484		
B_{02}	-0.07155	0.0157	-4.54	<0.0001		
B_{03}	-0.04685	0.0160	-2.92	0.0045		
Grupo B: *P. montezumae* en dos eco-regiones de Puebla, México						
β_0	-2.47314	0.0634	-38.98	<0.0001	0.9595	400.5
β_{00}	-1.92345	0.0124	-154.73	<0.0001	0.9977	95.7
B_{01}	-0.20014	0.0040	-50.42	<0.0001		
Grupo C: dos especies de pino en dos eco-regiones (Jalisco y Edo. de Méx., México)						
β_0	-1.84053	0.0339	-54.22	<0.0001	0.9758	458.0
β_{00}	-1.87922	0.0369	-50.87	<0.0001	0.9765	450.9
B_{01}	0.11463	0.0368	3.11	0.0021		

EE = error estándar; R^2_{adj} = coeficiente de determinación ajustado por el número de parámetros; RCME = raíz del cuadrado medio del error.

Las diferencias significativas detectadas entre especies para el parámetro de la pendiente, en automático invalidan la hipótesis de un coeficiente constante para cualquier especie. Para el grupo A, con base en el ajuste del modelo completo que detectó diferencias en los valores de la pendiente entre especies que crecen en la misma eco-región de El Salto, Dgo. ($\alpha \leq 0.05$), se determinó que los valores obtenidos fueron de -1.60831, -1.64129, -1.67986 y -1.65516 para *P. engelmanni*, *P. herrerai*, *P. leiophylla* y *P. teocote*, respectivamente. En el grupo B, se determinó que los valores de la pendiente para *P. montezumae* fue de -2.12359 y -1.92345 para las eco-regiones de las UMAFORs 2101 y 2103 de Puebla, respectivamente. Para el grupo C, *P. douglasiana* de Atenquique, Jalisco tuvo un valor de -1.87922, mientras que para *P. hartwegii* de Zoquiapan, Estado de México fue de -1.76459.

En particular, el resultado para el grupo B está en sintonía con lo que señala Andrews *et al*. (2018), en el sentido de que un enfoque mejor de contraste es mediante un análisis a nivel regional, en donde se evalúe el efecto a nivel de las condiciones particulares del sitio sobre el $IDR_{máx}$ y por tanto del parámetro alométrico β de una especie en particular. Al mismo respecto, Ducey *et al*. (2017) y Condés *et al*. (2017) reportan una alta variabilidad regional en el $IDR_{máx}$ de diferentes especies dada por variables climáticas distintas, aspecto que es relevante cuando se requiere hacer comparaciones entre las densidades máximas y relativas de rodales entre y dentro de especies. El resultado obtenido coincide también con lo determinado por Kara (2018) para *Pinus nigra* Arnold, *P. sylvestris* L., *Fagus orientalis* Lipsky, *Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani* de Turquía, por lo que se ratifica y confirma que el valor de la pendiente de un determinado taxón debe ser específico en cada región.

Comparativamente, el modelo completo (con la incorporación de variables indicadoras) con respecto al modelo reducido (sin variables indicadoras), presentó mejores valores en los estadísticos coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y en la precisión, dado por el menor valor de la raíz del cuadrado medio del error (RCME) (Cuadro 2).

En todos los casos, los valores del parámetro que corresponde a la pendiente β fueron estadísticamente diferentes de -1.605 sugerido por Reineke (1933), aspecto que de nuevo ratifica el argumento de que se debe de obtener el valor de β por especie y eco-región, de esta forma se contribuirá a minimizar errores en la determinación de la línea de auto-aclareo.

A la luz de los resultados obtenidos, se demuestra lo que argumentan Weiskittel *et al*. (2009), Comeau *et al*. (2010), Zhang *et al*. (2013), Zhang *et al*. (2015), Ge *et al*. (2017), Aguirre *et al*. (2018), Andrews *et al*. (2018) y Rodríguez *et al*. (2020), respecto a que la línea de máxima densidad no puede ser constante para todas las especies, lo que se atribuye a diferentes factores medioambientales (clima y suelo), a la calidad genética del germoplasma, a las prácticas silvícolas, al origen de la masa, a la tolerancia a la sombra, entre otros, que influyen en la densidad del rodal, en el $IDR_{máx}$ y en las tendencias de las líneas de auto-aclareo.

Los resultados obtenidos coinciden con los hallazgos de Charru *et al*. (2012), quienes también para siete especies de coníferas (*Pinus sylvestris* L., *P. halepensis* Mill., *P. pinaster* Aiton., *P. nigra* Arn. subsp. *laricio* (Poir.) Maire var. *Corsicana* (Loud.) Hyl.), *Pseudotsuga menziesii* Franco., *Abies alba* Mill. y *Picea abies* Karst.) de Francia, mediante el enfoque de regresión frontera estocástica y pruebas t de Student bilaterales entre pares de especies, determinaron

que la relación de auto-aclareo varía significativamente entre especies; en tal caso, el valor del parámetro β varió en un intervalo de -1.615 a -1.881, los cuales son valores superiores al determinado por Reineke (1933) de -1.605.

También son similares a lo reportado por Vospernik y Sterba (2015), quienes mediante regresión por cuantiles (cuantíl 0.95) determinaron valores para β en seis especies de coníferas (*Pinus sylvestris* L., *P. nigra* Arnold, *P. cembra* L., *Picea abies* Karst., *Abies alba* Mill. y *Larix decidua* Mill.), los cuales fueron mayores (excepto *P. cembra* con β=-1.5) al valor de -1.605 establecido por Reineke (1933), ubicándose en un intervalo de -1.633 a -1.936.

En su estudio sobre el $IDR_{máx}$ de 15 especies en la región Acadian de América del Norte, Andrews *et al*. (2018) encontraron una alta variabilidad de este atributo tanto entre especies como dentro de especies, lo cual es coincidente con lo determinado en el presente estudio, en el sentido de que para estimar el $IDR_{máx}$ se utiliza de manera directa el valor de β, el cual determinaron que varió de -1.28 a -1.96. Por su parte, los hallazgos de Aguirre *et al*. (2018) también concuerdan con los obtenidos en el presente estudio, porque mediante regresión por cuantíles (cuantil 0.975) determinaron los valores de β para cinco especies de pino (*Pinus halepensis* Mill., *P. nigra* Arn., *P. pinea* L., *P. pinaster* Ait. y *P. sylvestris* L.) de España, detectaron n diferencias entre estas especies (intervalo de -1.726 a -2.122). De modo similar, los resultados son coincidentes con lo reportado por Rodríguez *et al*. (2020), quienes para ocho especies de pino (*Pinus halepensis*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. pinea*, *P. sylvestris*, *P. uncinata*, *P. canariensis* y *P. radiata*) de España, mediante regresión por cuantíles (cuantíl 0.975) determinaron que el valor de β fluctuó de -1.734 a -2.186. Resalta el hecho que de todos los comparativos, en ningún caso y para ninguna especie se reportan el valor de β=-1.605, aspecto que sugiere la necesidad de disponer de modelos específicos por taxón.

La combinación de la técnica estadística de ajuste por MCO no lineales, la prueba de significancia de parámetros al incluir variables indicadoras y las pruebas estadísticas entre el valor de β de cada especie respecto al valor teórico utilizadas en el presente estudio, fueron un método apropiado, suficiente y robusto para demostrar con evidencia estadística contundente que el parámetro alométrico de la pendiente de la función densidad-tamaño de Reineke, es estadísticamente diferente del valor teórico universal constante originalmente establecido en -1.605, tanto entre especies como dentro de una misma especie.

En el futuro y para el mismo propósito, se podrían explorar otras técnicas diferentes a MCO tal como la regresión por cuantiles o la regresión frontera estocástica en combinación con otras pruebas estadísticas, como la prueba F no lineal de suma de cuadrados o la prueba de Lakkis-Jones, ambas pruebas efectúan una comparación sobre la homogeneidad simultánea entre parámetros, también requieren la incorporación de variables indicadoras para ajustar un modelo reducido y otro completo.

Conclusiones

(1) El procedimiento estadístico de usar la técnica de variables indicadoras en el ajuste de la función de Reineke por MCO no lineales, permitió demostrar con base científica, que el valor del parámetro que corresponde a la pendiente es estadísticamente diferente del valor teórico constante de -1.605 tanto entre especies de una misma eco-región como entre eco-regiones diferentes. También se demostró que el parámetro es diferente dentro de una misma especie que crece en eco-regiones distintas.

(2) Para futuros estudios con la función densidad-tamaño de Reineke, se deberá de asumir y tener presente que el valor de la pendiente de la línea de auto-aclareo depende de la especie y región agroecológica, por lo que debe de efectuarse una alometría específica para cada taxón.

Literatura Citada

Aguirre, A., M. del Río and S. Condés. 2018. Intra-and inter-specific variation of the maximum size-density relationship along an aridity gradient in Iberian pinewoods. Forest Ecology and Management 411:90-100.

Andrews, C., A. Weiskittel, A. W. D'Amato and E. L. Simons. 2018. Variation in the maximum stand density index and its linkage to climate in mixed species forests of the North American Acadian Region. Forest Ecology and Management 417:90-102.

Anta, M. B., F. C. Dorado, U. Diéguez-Aranda, J. G. Álvarez González, B. R. Parresol and R. R. Soalleiro. 2006. Development of a basal area growth system for maritime pine in northwestern Spain using the generalized algebraic difference approach. Canadian Journal of Forest Research 36(6):1461-1474.

Bi, H. 2001. The self-thinning surface. Forest Science 47(3):361-370.

Brunet-Navarro, P., F. J. Sterck, J. Vayreda, J. Martinez-Vilalta and G. M. Mohren. 2016. Self-thinning in four pine species: an evaluation of potential climate impacts. Annals of Forest Science 73(4):1025-1034.

Charru, M., I. Seynave, F. Morneau, M. Rivoire and J. D. Bontemps. 2012. Significant differences and curvilinearity in the self-thinning relationships of 11 temperate tree species assessed from forest inventory data. Annals of Forest Science 69(2):195-205.

Comeau, P. G., M. White, G. Kerr and S. E. Hale. 2010. Maximum density-size relationships for Sitka spruce and coastal Douglas-fir in Britain and Canada. Forestry 83(1):461-468.

Condés, S., P. Vallet, K. Bielak, A. Bravo-Oviedo, L. Coll, M. J. Ducey *et al*. 2017. Climate influences on the maximum size-density relationship in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. Forest Ecology and Management 385:295-307.

Ducey, M. J., C. W. Woodall and A. Bravo-Oviedo. 2017. Climate and species functional traits influence maximum live tree stocking in the Lake States, USA. Forest Ecology and Management 386:51-61.

Fonseca, T. F. and J. C. Duarte. 2017. A silvicultural stand density model to control understory in maritime pine stands. iForest 10:829-836.

Fu, L. Y., W. S. Zeng, S. Z. Tang, R. P. Sharma and H. K. Li. 2012. Using linear mixed model and dummy variable model approaches to construct compatible single-tree biomass equations at different scales – A case study for Masson pine in Southern China. Journal of Forest Science 58(3):101–115.

Ge, F., W. Zeng, W. Ma and J. Meng. 2017. Does the slope of the self-thinning line remain a constant value across different site qualities?—An implication for plantation density management. Forests 8(10):355.

Kara, F. 2018. The growing space utilization of main tree species in northern Turkey. Cerne 24(2):133-139.

Morris, E. C. 2002. Self-thinning lines differ with fertility level. Ecological Research 17:17-28.

Montgomery, D. C. and G. C. Runger. 2018. Applied statistics and probability for engineers. 7th ed. Wiley. Hoboken, NJ, USA. 720 p.

Pretzsch, H. and P. Biber. 2005. A re-evaluation of Reineke's rule and stand density index. Forest Science 51(4):304-320.

Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. Journal of Agricultural Research 46:627-638.

Rodríguez, P. D., R. San Martín, F. Bravo and A. C. Herrero. 2020. Potential climatic influence on maximum stand carrying capacity for 15 Mediterranean coniferous and broadleaf species. Forest Ecology and Management 460:117824.

SAS Institute. 2011. SAS/STAT user's guide. Versión 9.3. SAS Institute. Cary, NC, USA.

Solomon, D. S. and L. Zhang. 2002. Maximum size–density relationships for mixed softwoods in the northeastern USA. Forest Ecology and Management 155(1-3):163-170.

Tamarit-Urias, J. C., G. Quiñonez-Barraza and J. Hernández-Ramos. 2020. Methodological aspects to generate density management diagrams based on Reineke´s index. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 11(61):4-26.

Vanclay, J. K. and P. J. Sands. 2009. Calibrating the self-thinning frontier. Forest Ecology and Management 259(1):81-85.

Vospernik, S. and H. Sterba. 2015. Do competition-density rule and self-thinning rule agree?. Annals of Forest Science 72(3):379-390.

Weiskittel, A., P. Gould and H. Temesgen. 2009. Sources of variation in the self-thinning boundary line for three species with varying levels of shade tolerance. Forest Science 55(1):84-93.

Woodall, C. W., A. W. D'Amato, J. B. Bradford and A. O. Finley. 2011. Effects of stand and inter-specific stocking on maximizing standing tree carbon stocks in the eastern United States. Forest Science 57(5):365-378.

Zeide, B. 2010 Comparison of self-thinning models: an exercise in reasoning. Trees 24:1117-1126.

Zeng, W. S. 2015. Using nonlinear mixed model and dummy variable model approaches to develop origin-based individual tree biomass equations. Trees 29(1):275-283.

Zhang, J., W. W. Oliver and R. F. Powers. 2013. Reevaluating the self-thinning boundary line for ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) forests. Canadian Journal of Forest Research 43(10):963-971.

Zhang, X., J. Zhang and J. Duan. 2015. A hierarchical bayesian model to predict self-thinning line for Chinese fir in southern China. PlosOne 10(10):e0139788.

RIQUEZA DE ESPECIES, DIVERSIDAD Y COMPOSICIÓN DE COMUNIDADES ARBÓREAS EN LAS INMEDIACIONES DE UNA LAGUNA KÁRSTICA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Fernando Arellano Martín[1], Mario S. Durán Castillo[2], Óscar E. Verduzco Salazar[3], Teresa Alfaro Reyna[4], Francisco Montoya Reyes[1] y Yameli G. Aguilar Duarte[5]*

Resumen

La disolución heterogénea de las rocas carbonatadas provoca una amplia variación topográfica asociada con la diversidad del suelo y la vegetación a escalas finas en paisajes kársticos. Sin embargo, se ha estudiado poco esa asociación, especialmente en el contexto de cuerpos de agua en zonas kársticas. Ese conocimiento es fundamental para generar estrategias para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de los paisajes kársticos. En este estudio se calcularon la riqueza, índices de diversidad de Shanon-Wiener e inverso de Simpson y disimilitud de Jaccard para las especies arbóreas presentes en 24 sitios de muestreo de 10 × 20 m organizados en función de su distancia a la costa de una laguna kárstica del estado de Quintana Roo. Se evaluó si las comunidades vegetales a distinta distancia de la laguna diferían en su riqueza y diversidad mediante un análisis de varianza unifactorial considerando un nivel de significancia de 5%. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las distancias a la laguna en cuanto a riqueza y diversidad de especies arbóreas. Sin embargo, se observó una tendencia a mayor riqueza y diversidad de especies arbóreas en los sitios cercanos a la laguna. En general, las comunidades vegetales presentaron mayor similitud con las comunidades más cercanas que con las más lejanas, aunque ningún par de comunidades a 100 m de distancia compartió más de 50% de las

[1] Campo Experimental Chetumal, INIFAP. Km 5 Carretera Federal 307 Chetumal-Cancún, Xul-Ha, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México. 77963
[2] Campo Experimental Edzná, INIFAP. Km 15.5 Carretera Campeche-Pocyaxum, San Francisco de Campeche, Campeche, México. 24250
[3] Plant for the Planet, A. C. Domicilio conocido s/n, Constitución, Calakmul, Campeche, México. 24658
[4] CENID – Agricultura Familiar. INIFAP. Ojuelos de Jalisco, Jalisco, México. 47540
[5] Unidad Adnministrativa, Dirección del CIR Sureste, INIFAP. Calle 6 #398 por Avenida Correa Rachó, Col. Díaz Ordaz, Mérida, Yucatán, México. 97130 *aguilar.yameli@inifap.gob.mx

especies presentes. La falta de diferencias estadísticas significativas en la riqueza y diversidad de especies arbóreas entre las diferentes distancias a la costa de la laguna podría atribuirse a que la heterogeneidad en tipos de suelo y características de la vegetación se presenta tanto en función de la distancia como a lo largo de la costa. Así pues, cualquier estrategia para el aprovechamiento, la conservación y la restauración de los recursos naturales en este paisaje kárstico debe tomar en cuenta su amplia heterogeneidad ambiental.

Palabras clave: paisaje kárstico, diversidad florística, Quintana Roo, vegetación riparia, selva mediana subperennifolia

Introducción

Los paisajes kársticos se forman por la disolución de rocas carbonatadas (van Beynen, 2011). Esa disolución no es homogénea y, por tanto, los fenómenos hidrogeológicos en los paisajes kársticos provocan una topografía accidentada en la que se presentan distintos tipos de suelos con diferentes propiedades físicas y químicas, y grados de formación que se asocian con distintos tipos de vegetación a lo largo de decenas y cientos de metros (Guo *et al*., 2017; Fragoso-Servón *et al*., 2020; Meng *et al*., 2022). Esta heterogeneidad ambiental a escala fina en los paisajes kársticos provoca la presencia de especies arbóreas con distintas estrategias ecológicas que proveen diferentes servicios ecosistémicos (Goldscheider, 2012; Geekiyanage *et al*., 2019).

Por otra parte, se sabe poco sobre cómo los cambios en la vegetación se asocian con cuerpos de agua dulce en paisajes kársticos (Bhatnagar *et al*., 2021; Lasic y Jasprica, 2016), quizás porque la ausencia de aguas superficiales es una de las características distintivas de estos paisajes (Ford y Williams, 2007). La evidencia a la fecha en estos paisajes indica que, aun cuando de manera general dos cuerpos de agua tengan características físicas y químicas similares, las comunidades vegetales presentes en ellos pueden ser muy distintas, especialmente si están afectados o no por la actividad humana (Lasic y Jasprica, 2016). Esto es especialmente relevante para la Península de Yucatán, pues los cuerpos de agua dulce de sus paisajes kársticos son aprovechados para la caza y pesca de subsistencia. Ambas

actividades, lamentablemente, están asociadas con incendios forestales que provocan degradación de la vegetación forestal o su sustitución por especies invasoras u oportunistas. Adicionalmente, se ha observado que la vegetación presente en paisajes kársticos es distinta en función del grado y tiempo de inundación experimentado a lo largo del año en distintas zonas del paisaje (Bhatnagar *et al*., 2021).

Dado que uno de los recursos más valiosos, pero vulnerables de los paisajes kársticos es la vegetación y que ésta está estrechamente interconectada con los demás recursos y servicios de los paisajes kársticos; es fundamental comprender sus patrones de variación espacial en función de cuerpos de agua para generar estrategias encaminadas a su conservación, manejo sustentable y restauración (Geekiyanage *et al*., 2019; Goldscheider, 2012). Por tanto, en este trabajo se evaluaron los cambios en la riqueza, diversidad y composición de comunidades arbóreas en las inmediaciones de una laguna kárstica en función de su distancia a ésta.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en las inmediaciones de la costa oeste de la laguna de San Felipe, ubicada al interior del Sitio Experimental San Felipe Bacalar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (18°46’ a 18°44’ N; 88°20’ a 88°19’W; Figura 1), en Bacalar, Quintana Roo. El clima de la zona es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano y la precipitación y temperatura media anual son de 1,260 mm y 25.5°C, respectivamente. En esta área se encuentran suelos Vertisol mázico pélico, Leptosol húmico réndzico y Leptosol húmico lítico (INEGI, 2013), los cuales predominan en distinto grado entre las costas este y oeste de la laguna. Asimismo, los tipos de vegetación presentes en ambas costas son distintos: en la costa este se presentan selva baja inundable y tular, mientras que en la costa oeste se presenta selva mediana subperennifolia. Desde la costa oeste, además, se presenta un gradiente altitudinal de 19 a 50 m.

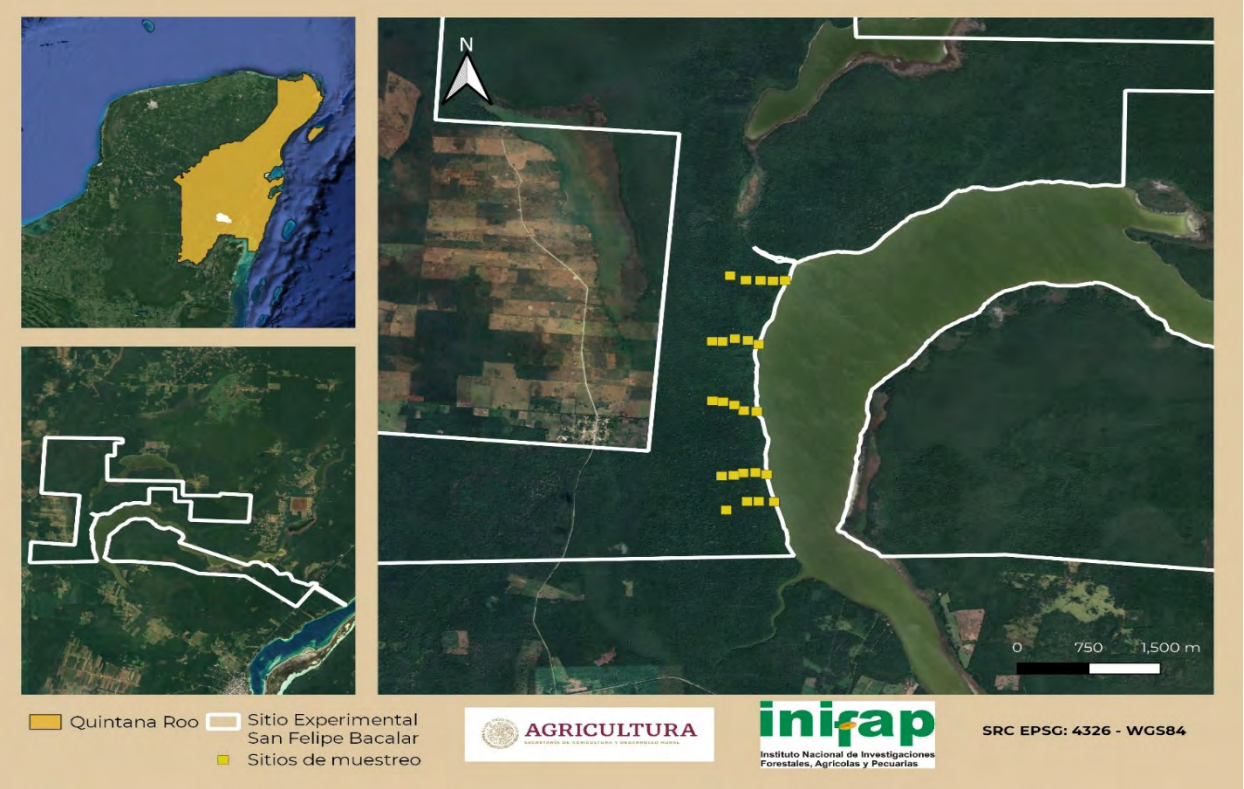


Figura 1. Ubicación del área de estudio y arreglo de los sitios de muestreo.

Durante octubre y noviembre de 2021, en la costa oeste de la laguna de San Felipe se establecieron 24 sitios de muestreo con forma rectangular y dimensiones de 10 m de ancho por 20 m de largo. Los sitios de muestreo se agruparon en cinco conjuntos de cinco alineados en sentido este – oeste. El primer sitio de muestreo de cada conjunto se situaba en la costa de la laguna y el último entre 460 a 620 m desde ella (Figura 1). A su vez, cualquier par de sitios de muestre de un mismo conjunto tiene una distancia de 120 a 250 m entre sí. El conjunto de sitios situado más al sur de la laguna estuvo conformado únicamente por cuatro sitios, debido a que uno de los sitios fue excluido del muestreo porque había sido afectado por un incendio y, por tanto, no representaba la vegetación natural de la zona.

En campo y al interior de cada sitio de muestreo se registró el nombre científico y diámetro normal de todos los individuos arbóreos cuyo diámetro fuese de por lo menos 7.5 cm. Habiendo contabilizado e identificado a los individuos, se procedió a calcular los valores de área basal, frecuencia, densidad y valor de importancia relativa de acuerdo a la metodología descrita en Linares & Fandiño (2009). Además, se estimaron los valores de riqueza de especies, así como

los índices de diversidad de Shanon – Wiener e inverso de Simpson (Begon y Townsend, 2021; Oksanen *et al*., 2022) para cada cuadrante y distancia a la laguna. Las diferencias en la composición de especies entre los sitios ubicados a diferentes distancias de la laguna fueron exploradas realizando escalamiento multidimensional no métrico, utilizando el índice de disimilitud de Bray-Curtis y tres dimensiones (Begon y Townsend, 2021). También se evaluó si las distancias a la laguna diferían estadísticamente en cuanto a su riqueza de especies e índices de diversidad mediante un análisis de varianza unifactorial. Por último, se calculó el índice de disimilitud de Jaccard (Oksanen *et al*., 2022) para evaluar el grado de diferencia en cuanto a presencia/ausencia de especies arbóreas entre las distancias a la laguna. Todos los cálculos, análisis estadísticos y el escalamiento multidimensional no métrico, fueron realizados en el lenguaje R versión 4.2.0 (R Core Team, 2022) en el ambiente integrado de desarrollo RStudio versión 2022.07.0.548 (RStudio Team, 2022) usando el paquete Vegan (Oksanen *et al*., 2022) y considerando un nivel de significancia de 5%.

Resultados y Discusión

Se encontraron un total de 46 especies distribuidas en 27 familias y 15 órdenes. Las familias más abundantes fueron Sapotaceae y Sapindaceae con cuatro especies cada una, seguidas por Anarcadiaceae, Salicaceae y Arecaceae con tres especies cada una. En cuanto a la composición específica se observaron diferencias entre las especies presentes en las parcelas dependiendo de su distancia a la laguna. Por ejemplo, en los sitios localizados en la costa de la laguna (0 m de distancia) se observaron un total de 12 especies exclusivas. Entre éstas se encuentran especies características de vegetación inundable como *Bucida buceras* L. y *Pachira aquatica* Aubl. (Flores & Espejel Carvajal, 1994), las cuales, además, se encuentran entre las especies con mayor valor de importancia relativa (23.041 y 42.96, respectivamente; Figura 2). Sin embargo, en todos los sitios también destacaron especies correspondientes a selva mediana subperennifolia. Por ejemplo, al agrupar los sitios de muestreo de acuerdo con su distancia a la laguna, *Brosimum alicastrum* Sw. sobresale debido a su alto valor de importancia relativa a lo largo de todas las distancias (Martinez y Galindo-Leal, 2002; Ochoa-Gaona *et al*., 2018; Peña-Chocarro *et al*., 2011).

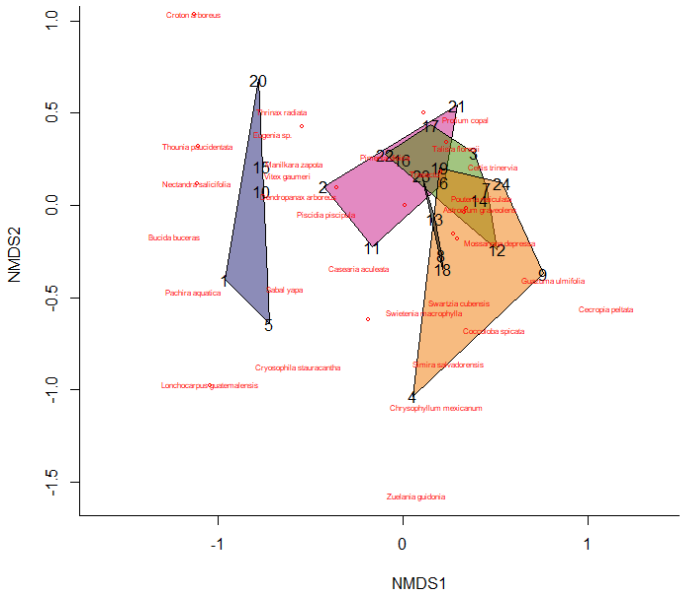


Figura 2. Escalamiento multidimensional no métrico utilizando el índice de disimilitud de Bray-Curtis de la composición específica de los sitios de muestreo. Los polígonos de colores representan los sitios agrupados por su distancia a la laguna. El polígono azul une los sitios a 0 m de la laguna, el rosado conecta los sitios a 100 m, el verde muestra los sitios a 200 m, el naranja los sitios ubicados 300 m y el polígono negro los sitios a 400 m.

Ese mismo patrón se observó para las especies *Trichilia minutiflora* Standl. y *Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cinco especies con mayor valor de importancia relativa (VIR) por distancia a la laguna.

0 m	VIR	100 m	VIR	200 m	VIR
Melicoccus oliviformis	72.91472	*Brosimum alicastrum*	134.35	*Brosimum alicastrum*	136.11
Pachira aquatica	42.9603	*Trichilia minutiflora*	22.577	*Pouteria campechiana*	33.388
Bucida buceras	23.04125	*Piscidia piscipula*	18.919	*Trichilia minutiflora*	31.563
Brosimum alicastrum	21.81184	*Alseis yucatanensis*	17.517	*Pouteria reticulata*	20.94
Pouteria campechiana	18.56839	*Bursera simaruba*	15.358	*Manilkara zapota*	14.614

300 m	VIR	400 m	VIR
Brosimum alicastrum	136.1057	*Brosimum alicastrum*	52.363
Spondias mombin	9.696967	*Pouteria reticulata*	41.352
Alseis yucatanensis	6.711184	*Trichilia minutiflora*	28.163
Trichilia minutiflora	31.56263	*Spondias mombin*	21.847
Pouteria reticulata	20.94047	*Pouteria campechiana*	21.596

Estos resultados sugieren que, aunque la laguna propicia el desarrollo de especies de zonas inundables, no limita la dispersión y asentamiento de las principales especies de la selva mediana subperennifolia circundante.

La mayor riqueza de especies arbóreas se observó en los sitios de muestreo ubicados en la costa de la laguna, mientras que la menor, en los sitios ubicados a 200 m de la costa (Cuadro 2; Figura 3). Ese mismo patrón se observó para los valores en los índices de diversidad de Shanon-Wiener e Inverso de Simpson (Cuadro 2). Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas significativas de riqueza de especies ($F = 1.9146$, $p = 0.1803$), diversidad de Shanon-Wiener ($F = 0.8467$, $p = 0.3675$) y diversidad inversa de Simpson ($F = 1.998$, $p = 0.2192$) entre las distancias a la laguna. El mayor grado de disimilitud en la composición de especies arbóreas se observó entre los sitios de la costa de la laguna y a 400 m desde ésta (Cuadro 3). En general, las comunidades vegetales a todas las distancias tienen mayor disimilitud con las comunidades más alejadas que con las más cercanas (Cuadro 3). El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (Figura 2), además, mostró que los sitios ubicados en la orilla de la laguna se diferencian de los demás sitios, los cuales se sobreponen en cuanto a la composición de especies.

Cuadro 2. Altitud promedio, riqueza de especies e índices de diversidad de Shanon-Wiener e inverso de Simpson para arbolado con diámetro normal ≥ 7.5 cm en función de la distancia la laguna de San Felipe.

Distancia respecto a la laguna (m)	Altitud promedio (msnm)	Riqueza de especies	Diversidad de Shanon-Wiener	Diversidad inversa de Simpson
0	23.8	29	2.9	13.1
100	39.8	17	2.4	6.9
200	39.8	15	2.2	5.8
300	41.5	18	2.4	8.0
400 o mayor	39	23	2.8	12.0

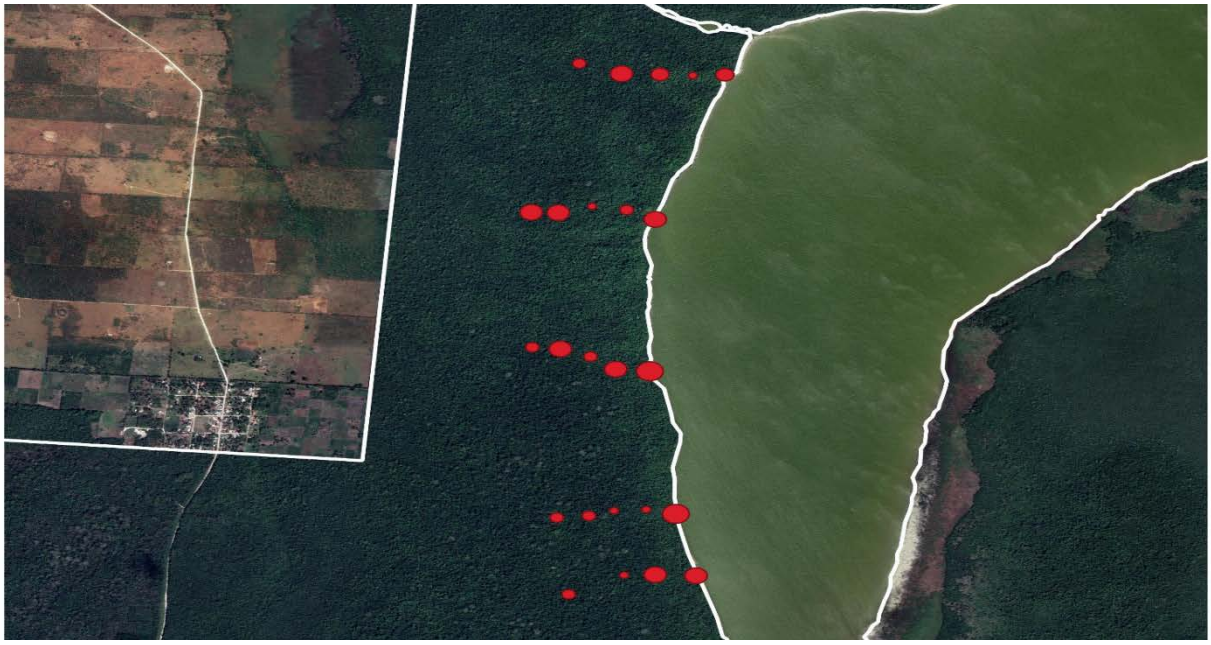


Figura 3. Representación de la riqueza de especies en los sitios de muestreo. El tamaño del círculo indica el número de especies presentes en el sitio de muestreo.

La laguna misma no sólo favorece la presencia de más especies raras por la mayor disponibilidad de agua, sino porque la costa de la laguna de San Felipe experimenta cambios en el nivel del agua a través del año en función de la precipitación. Estos cambios pueden actuar como un disturbio natural que propicie una modificación en la composición y abundancia de especies. Se ha documentado que bosques tropicales que se inundan frecuentemente presentan una menor riqueza de especies que bosques tropicales que no se inundan o lo hacen ocasionalmente (De Carvalho Araujo *et al*., 2019). En el sitio de estudio, por el contrario, la mayor riqueza de especies se observó en la zona que presenta influencia de inundación; esta, sin embargo, abarca una franja estrecha de 10 a 15 m alrededor de la costa. Ello podría restringir la presencia de vegetación riparia exclusivamente a la estrecha franja que experimenta los aumentos y disminuciones en el nivel del agua.

La presencia de la vegetación riparia también provoca notables cambios en la composición de la comunidad vegetal a distancias cortas: pasados 100 m de la costa, la comunidad vegetal difiere en cerca de 70% y a 400 m en 80% (Cuadro 3). El hecho de que a una distancia de 100 m nunca se observe una disimilitud menor a 50% en la composición de especies coincide con el patrón de alta heterogeneidad ambiental a escala fina observada en paisajes kársticos.

Cuadro 3. Valores de índice de disimilitud de Jaccard entre las distancias a la laguna.

	0 m	100 m	200 m	300m
100 m	0.6857143			
200 m	0.7428571	0.5454545		
300 m	0.6944444	0.6000000	0.5652174	
400 m	0.7619048	0.70096744	0.6428571	0.5862069

En paisajes kársticos, los cambios en la composición, riqueza y diversidad de especies vegetales suelen asociarse con distintos tipos de suelo en diferentes condiciones topográficas (Meng *et al*., 2022), algo que no fue explorado en este estudio y que amerita una evaluación adicional. Esa podría ser la razón por la que no se observaron diferencias estadísticas significativas entre la riqueza y diversidad de especies en función de la distancia a la laguna (Figura 3, Cuadro 2) y enfatiza nuevamente el carácter heterogéneo del hábitat y la vegetación a escalas de cientos de metros en paisajes kársticos.

Conclusiones

Si bien se observó una tendencia a una mayor riqueza de especies y diversidad para el arbolado en la costa de la laguna, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las distancias a la laguna. Todas las comunidades arbóreas presentan una disimilitud en su composición de especies mayor a 50% incluso con las comunidades a solo 100 m de distancia.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el financiamiento al proyecto no. 11161434635, titulado ‹‹Elementos del paisaje kárstico de la península de Yucatán para el aprovechamiento de sus recursos naturales››.

Literatura Citada

Begon M. y C. Townsend. Ecology from individuals to ecosystems. 5ª ed. John Wiley and Sons, Ltd. Oxford, Reino Unido. 844 p.

Bhatnagar, S., L. W. Gill, S. Waldren, N. Sharkey, O. Naughton, P. Johnston, *et al*. 2021. Ecohydrological metrics for vegetation communities in turloughs (ephemeral karstic wetlands). Ecohydrology 14: e2316.

De Carvalho Araújo, F., D. Y. P. Tng, D. M. G. Apgaua, J. D. Morel, D. G. S. Pereira, P. F. Santos *et al*. 2019. Flooding regime drives tree community structure in Neotropical dry forests. Journal of Vegetation Science. 30(6): 1195-1205.

Flores G., J. S. y M. I. Espejel C. 1994. Tipos de Vegetación de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida. Yucatán. México. 135 p.

Ford, D., y P. Williams. 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons Ltd. Oxford, Reino Unido. 578 p.

Fragoso-Servón, P., A. Pereira Corona, F. Bautista Zúñiga, B. Prezas Hernández y N. A. Reyes. 2020. Soils in extreme conditions: the case of the catenas karst-marsh-coastline in the Mexican Caribbean. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 72(2):A040619.

Geekiyanage, N., U. M. Goodale, K. Cao y K. Kitajima. 2019. Plant ecology of tropical and subtropical karst ecosystems. Biotropica 51(5):626-640.

Goldscheider, N. 2012. A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains. Carbonates and Evaporites 34(4):1241-1249.

Guo, Y., B. Wang, D. Li, A. U. Mallik, W. Xiang, T. Ding, *et al*. 2017. Effects of topography and spatial processes on structuring tree species composition in a diverse heterogeneous tropical karst seasonal rainforest. Flora 231: 21-28.

INEGI. 2013. Conjunto de datos de perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707 [consultado el 28 de julio de 2022].

Lasic, A., y N. Jasprica. 2016. Vegetation diversity of the two Dinaric karstic rivers in Bosnia and Herzegovina. Biologia 71(7):777–792.

Linares, R., y M. C. Fandiño. 2009. Estado del bosque seco tropical e importancia relativa de su flora leñosa, islas de la Vieja Providencia y Santa Catalina, Colombia, Caribe suroccidental. Revista de La Academia Colombiana de Ciencias 33(126):1–12.

Martinez E. y C. Galindo-Leal. 2002. La Vegetación de Calakmul, Campeche, México: Clasificación, Descripción y Distribución. Boletín de La Sociedad Botánica de México 71, 7:32.

Meng, Q., S. Wang, Z. Fu, Y. Deng y H. Chen. 2022. Soil types determine vegetation communities along a toposequence in a dolomite peak-cluster depression catchment. Plant and Soil 475:5-22.

Ochoa-Gaona, S., H. Ruíz González, A. Montejo, G. Chan Coba y B. H. J. De Jong. 2018. Árboles de Calakmul. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristobal de las Casas, Chiapas, México, 224 p.

Oksanen, J., G. Simpson, F. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. Minchin *et al*. 2022. vegan: Community Ecology Package. R package versión 2.6-2. R Core Team. Viena, Austria.

Peña-Chocarro, M., J. Tun-Garrido y S. D. Knapp. 2011. Árboles del mundo maya. Fundacion Fundación ProPetén, Universidad del Valle de Guatemala, México. 263 p.

R Core Team. 2022. R: a language and environment for statistical computing. Versión 4.2.0. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

R Studio Team. 2022. RStudio: Integrated Developmente Environment for R. Rstudio. Versión 2022.07.0.548. PBC, Boston, MA, EEUU.

van Beynen, P. E. 2011. Introduction. p. 1-5. *In*: van Beynen, P. E. (ed) Karst management. Springer. New York, USA.

DIVERSIDAD VEGETAL EN PLANTACIONES DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL SURESTE DE MÉXICO

Nelly del Carmen Jiménez Pérez[1*], Alma Deysi Anacleto Rosas[1], Eduardo Javier Moguel Ordóñez[1], Alejandro González Hernández[1] y Leydi Daniela Pérez de la Cruz[1]

Resumen

El cultivo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) se ha expandido rápidamente en las regiones tropicales del mundo sobre todo en el este de Asia. En los últimos años, la creciente demanda ha propiciado la apertura de plantaciones en otras partes del mundo, de alta biodiversidad, como América Latina; debido a ello, se ha considerado a este cultivo como una de las principales amenazas para el mantenimiento de la biodiversidad de las regiones tropicales. Considerando lo anterior, en este estudio se presenta un análisis de la riqueza de la flora asociada a plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) ubicadas en las zonas con mayor producción del cultivo en el Sureste de México. Se registró la presencia de 146 especies, 99 géneros y 43 familias botánicas. Las familias más diversas fueron Fabaceae, Euphorbiaceae, Solanaceae, Poaceae y Rubiaceae y los géneros con mayor riqueza de especies fueron *Solanum* (Solanaceae) con seis especies y *Passiflora* (Passifloraceae) y *Spermacoce* (Rubiaceae) con cinco especies cada uno. La forma de vida predominante fueron las hierbas con 81.2% y una menor proporción de especies leñosas. La estructura de los tallos de las palmas permite el establecimiento accidental de una diversidad de especies (74.6%), mientras que solo 11 especies se documentaron como epífitas estrictas o verdaderas. El 87% de las especies es nativa, y el 13% restante corresponde a especies introducidas, de amplia distribución. En general, la flora vascular de los palmares de aceite en la región se compone de especies generalistas comunes en áreas perturbadas y diversos cultivos, excepto la comunidad de epífitas estrictas de distribución más restringida, entre ellas la orquídea epífita *Galeandra batemanii* Rolfe catalogada como amenazada. En resumen, las plantaciones de

[1] División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa – Cárdenas Km 0.5 S/N, entronque a Bosques de Saloya. Centro, Tabasco, México. CP. 86150 Tel. Correo electrónico: nelly.jimenez@ujat.mx.

palma de aceite hacen posible que sostenga una comunidad de plantas ya sea como epífitas verdaderas, hemiepífitas, facultativas, ocasionales y proporciona el sostén para diversas plantas rastreras y trepadoras.

Palabras clave: agroecosistemas, arvenses, biodiversidad, epífitas, Polypodiaceae

Introducción

En los últimos años, la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) se han posicionado como el cultivo agrícola de más rápida expansión en el mundo. Las plantaciones de palma se han establecido en las regiones tropicales, especialmente en Indonesia y Malasia donde se cultiva más del 90% de la palma de aceite de mundo (Meijaard *et al.,* 2018). En estas regiones se considera que más del 50% de las plantaciones se han desarrollado a expensas de los ecosistemas naturales (Koh y Wilcove, 2008) y la demanda creciente de aceite de palma, aunado a la gran rentabilidad del cultivo, ha propiciado la apertura de plantaciones en otras partes del mundo, como América Latina donde la producción de aceite de palma se ha duplicado en los últimos 20 años (Furumo y Aide, 2017). Debido a esta expansión, se ha considerado al cultivo de la palma de aceite como una de las principales amenazas para el mantenimiento de la biodiversidad de las regiones tropicales (Fitzherbert *et al.,* 2008).

En este sentido, los esfuerzos para evaluar los impactos de la expansión agrícola de la palma de aceite sobre la biodiversidad han registrado un impacto negativo en la fauna silvestre, donde se han evaluado fundamentalmente diversos grupos de vertebrados (Turner *et al.* 2008), en contraparte, los estudios enfocados en el registro de la biodiversidad de la comunidad de plantas que cohabitan en las plantaciones de palma de aceite han sido escasos, la mayoría de ellos dirigidos al manejo y control de malezas en el sotobosque (Ruzlan y Hamdani, 2020; Satriawan. y Fuady, 2019).

En México, se registra una superficie de cultivo de 55 000 ha, que se concentra en las tierras bajas de los estados del sureste del país, Chiapas, Campeche y Tabasco, en regiones con clima cálido húmedo y alta precipitación pluvial (Ortega y Ochoa, 2003). Se calcula que se requieren plantar más de 200 000 ha para enfrentar el déficit más del 80% del consumo interno

que actualmente se importa de otros países productores de América Latina (Furumo y Aide, 2017; FIRA. 2015).

Dada la expansión proyectada del cultivo en la región y los impactos negativos documentados sobre la biodiversidad, el presente estudio se realizó con el propósito de comprender mejor la diversidad de plantas vasculares que sustentan las plantaciones de palma de aceite en el sureste de México, con énfasis en la comunidad de plantas que crecen directamente sobre los troncos de la palma de aceite ya sea como epífitas, trepadoras u oportunistas.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó entre los meses de agosto a diciembre de 2020 y de febrero a agosto de 2021 en nueve plantaciones ubicadas en las principales zonas de cultivo de palma de aceite de Tabasco, norte de Chiapas y este de Campeche, México. De estas nueve plantaciones, dos se consideraron grandes al mantener una superficie sembrada continua de más de 2000 ha (5 de mayo y Sombra), cuatro plantaciones medianas de entre 200 y 1000 ha (Chacamax, El Limón, Halcones y Palmira) y tres plantaciones pequeñas de entre 50 y 150 ha (Agronapo, Astrorey y YuBalcah).

Para el análisis de la diversidad florística de los palmares de aceite se establecieron 101 parcelas de 33 m x 33 m, equivalentes a una superficie total muestreada de 10.9 ha. En cada una de estas parcelas se registró la presencia de las epífitas vasculares (licofitas, helechos y angiospermas) asociadas directamente sobre los forófitos (palma de aceite) tales como: epífitas verdaderas, hemiepífitas epífitas casuales o facultativas, epífitas accidentales y lianas y trepadoras asociadas al tronco de las palmas (Kress, 1986).

La identificación taxonómica de las especies se realizó en campo y para verificación y referencia se la recolectaron y preservaron ejemplares botánicos mediante las técnicas conocidas de herborización (Lot y Chiang, 1986). Los ejemplares fueron depositados en la Colección de Plantas Vasculares del Herbario UJAT.

Resultados y Discusión

La composición florística asociada a las plantaciones de palma de aceite en la región está integrada por 43 familias botánicas, 99 géneros y 146 taxones específicos, de estos últimos, 127 se encuentran identificados a nivel de especie, 15 a nivel genérico, tres a nivel familia y uno permanece como desconocido. Las familias más diversas en cuanto a especies fueron Fabaceae con 11 especies, Euphorbiaceae con 10, Solanaceae con nueve, Poaceae con ocho y Rubiaceae con siete, mientras que si consideramos la diversidad genérica se registró nuevamente a Fabaceae con nueve géneros, Asteraceae y Poaceae con siete y Euphorbiaceae y Malvaceae con cinco cada uno. Por otro lado, el género *Solanum* (Solanaceae) fue el más rico en especies con seis, seguido de *Passiflora* (Passifloraceae) y *Spermacoce* (Rubiaceae) con cinco especies respectivamente (Figuras 1 y 2).

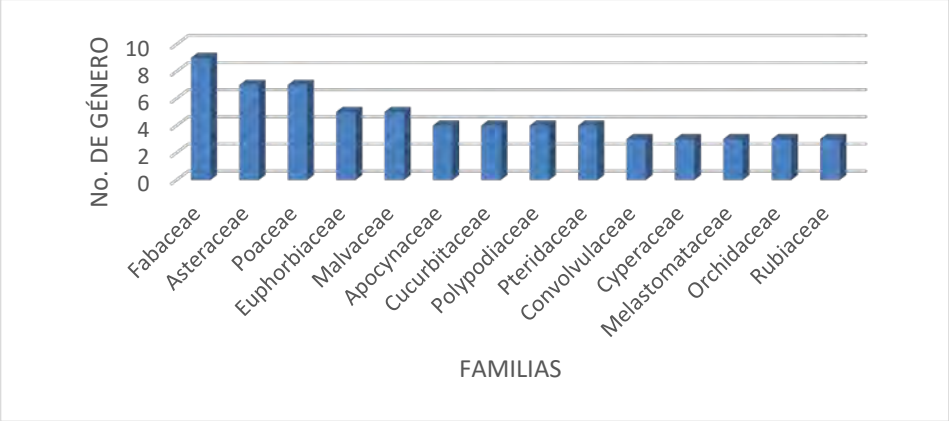


Figura 1. Familias botánicas con mayor riqueza de géneros en plantaciones de palma de aceite en el sureste de México.

La riqueza y composición de la flora asociada a plantaciones de palma de aceite coincide con lo reportado a nivel global con las familias botánicas con mayor representación de arvenses en cultivos, y parcialmente con la documentación regional de arvenses en palmares de Latinoamérica, donde se han reportado 138 especies en Ecuador, 225 en Colombia y 200 en Venezuela, con predominancia en todos ellos de la familia Poaceae, a diferencia de este estudio donde la mayor riqueza se encuentra en la familia Fabaceae, tratada en un sentido amplio (Cantuca *et al.*, 2001; Ariza y Almanza, 2012; Fariñas *et al.*, 2011; Santillán *et al.,* 2015).

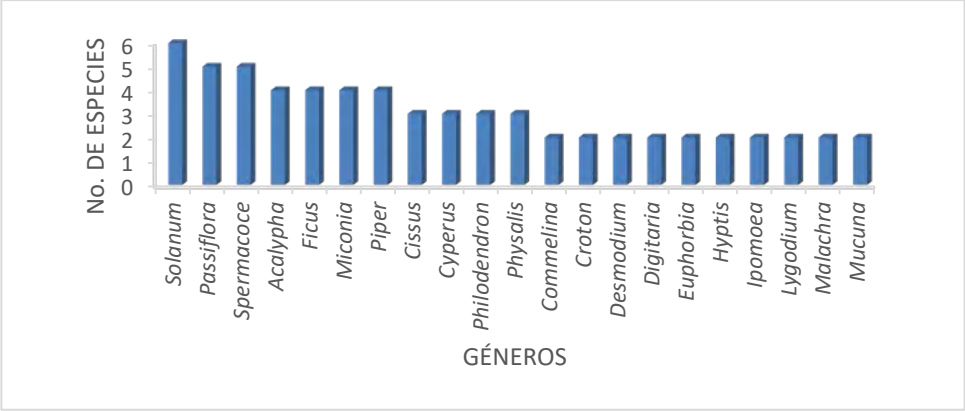


Figura 2. Géneros de plantas vasculares con mayor riqueza de especies en plantaciones de palma de aceite en el sureste de México.

Las plantaciones más diversas en cuanto a número de especies fueron Astrorey y Chacamax con 54 y 53 especies, respectivamente; mientras que en El Limón y Agronapo se registraron 28 y 31 especies (Figura 3), del mismo modo la composición de especies fue altamente heterógenea entre las plantaciones Estos resultados sugieren que la riqueza de arvenses es independiente del tamaño de la plantación, las diferencias en cuanto a diversidad de arvenses pueden deberse mayormente al manejo y a la edad de la plantación, como también fue evidenciado por Fariñas *et al*., 2011.

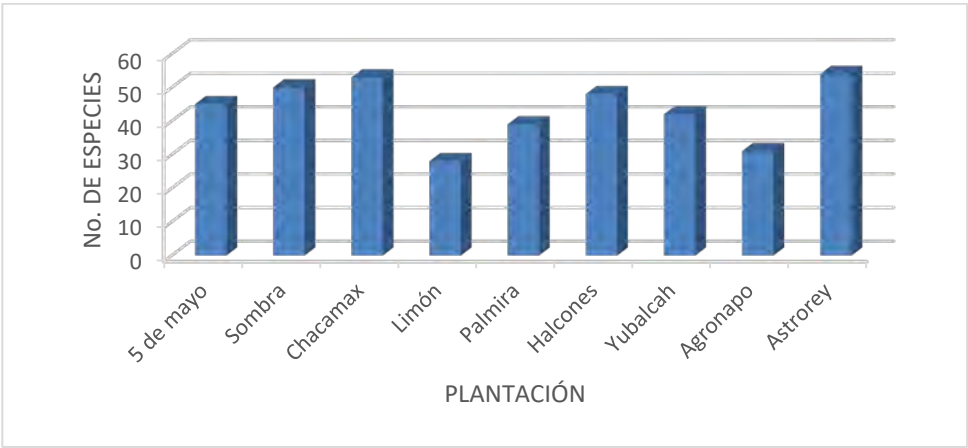


Figura 3. Riqueza de plantas vasculares en nueve plantaciones de palma de aceite en el sureste de México.

La forma de vida predominante de las plantas que crecen sobre los troncos de las palmas fueron las herbáceas con alrededor del 81.2% y el restante 18.8% correspondió a especies

leñosas, esta proporción fue similar a la encontrada por Ariza y Almanza (2012) en palmares colombianos, con un 70% de hierbas. En este estudio los árboles y arbustos que se observaron se establecieron como epífitas accidentales en las oquedades formadas por las bases del pecíolo de las palmas, tal es el caso del guarumo, *Cecropia peltata* L., que se registró en todas las plantaciones. Al respecto, las especies dominantes fueron las epífitas accidentales (74.6%), 11 especies se documentaron como holoepífitas o llamadas también epífitas estrictas o verdaderas, 5 hemiepífitas y 4 facultativas (Figura 4). Una gran cantidad de especies herbáceas se registraron con estructuras reproductivas, a diferencia de las plantas leñosas, árboles, arbustos o lianas que eventualmente son eliminados como parte del manejo del agroecosistema por lo que su presencia está representada por individuos juveniles y en estado vegetativo.

Es de resaltar la abundancia del helecho epífito facultativo *Nephrolepis biserrata* (Sw.) Schott presente en más del 90% de las parcelas muestreadas, excepto en tres sitios de la plantación Agronapo, que corresponden un cultivo joven, de tres años de edad, sujeto a una eliminación constante de malezas como parte del manejo y por su corto fuste aún no ofrece muchos espacios para el establecimiento de otras plantas (Figura 4G). Esta alta densidad puede estar limitando el establecimiento de otras especies con requerimientos más específicos como son las epífitas verdaderas u obligadas.

En cuanto al origen, el 87% de la flora acompañante de los palmares es nativa, y el 13% restante corresponde a especies introducidas, de amplia distribución, tal es el caso de *Commelina diffusa* Burm.f. (Commelinaceae), *Cyanthilium cinereum* (L.) H. Rob. (Asteraceae) y *Cyperus diffusus* Vahl (Cyperaceae). De manera general, la flora vascular de los palmares de aceite en la región se compone de especies generalistas comunes en áreas perturbadas y diversos cultivos, excepto la comunidad de epífitas estrictas de distribución más restringida, entre ellas se encuentra la orquídea *Galeandra batemanni* Rolfe catalogada como amenazada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

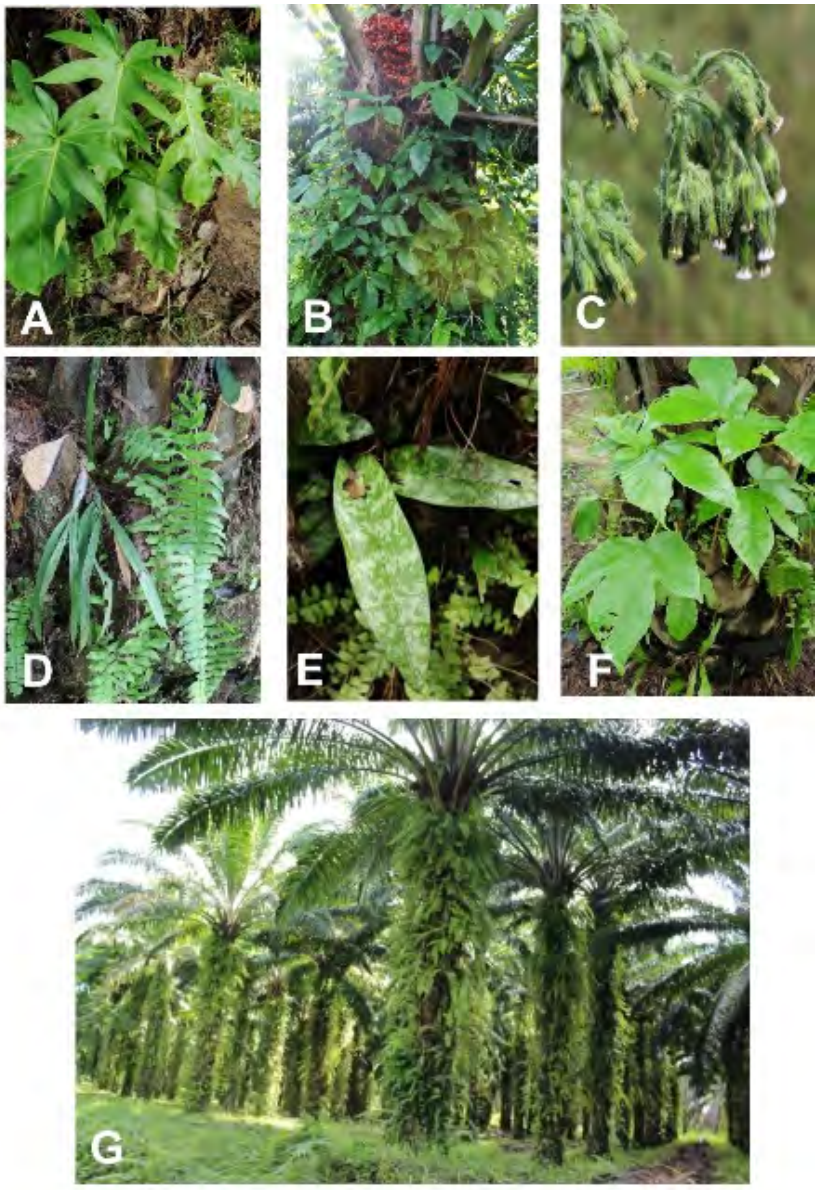


Figura 4. Algunas especies asociadas a las plantaciones de palma de aceite en el sureste de México. A) *Philodendron radiatum* Schott (Araceae), epífita verdadera; B) *Syngonium podophyllum* Schott (Araceae) hemiepífita; C), Flores de *Erechtites hierasciifolius* (L.) Raf. ex DC. (Asteraceae), hierba terrestre, epífita accidental; D) *Galeandra batemanni* Rolfe (Orchidaceae), epífita verdadera, en categoría de Amenaza; E) *Eulophia maculata* (Lindl.) Rchb.f. (Orchidaceae), epífita facultativa, exótica; F) *Cecropia peltata* L. (Urticaceae), árbol, epífita accidental; G) Palmar con alta densidad de *Nephrolepis biserrata* (Sw.) Schott (Polipolydaceae), epífita facultativa de amplia distribución.

Conclusiones

La complejidad estructural de los cultivos de palma de aceite hace posible que sostenga una comunidad de plantas estrechamente relacionada a las palmas mismas, ya sea epífitas verdaderas, hemiepífitas, facultativas, ocasionales y proporciona el sostén para diversas plantas rastreras y trepadoras. Es notable la predominancia de unas pocas especies que encuentran en este agroecosistema un hábitat propicio, tal es caso de *Nephrolepis biserrata*, un helecho rizomatoso de amplia distribución, en contraste con la baja abundancia de especies especialistas como las epífitas verdaderas. La mayor comprensión de la comunidad de plantas acompañante de los palmares de aceite puede aportar elementos para una gestión sostenible de plantaciones de este agroecosistema en la región, por ejemplo, identificando a los potenciales competidores y aquellas especies que son huéspedes de enfermedades o de insectos dañinos o por el contrario el registro de insectos benéficos, como polinizadores.

Agradecimientos

Al proyecto “Efectos de los cultivos de palma de aceite sobre la diversidad de plantas vasculares y vertebrados en el estado de Tabasco” financiado por Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Tabasco, dentro del proyecto “Centro de Investigación e Innovación para la Sustentabilidad de la Palma de Aceite”. A la División Académica de Ciencias Biológicas UJAT (DACBiol-UJAT) y la FEMEXPALMA por el apoyo administrativo. A los encargados de las plantaciones Uumbal, Astrorey, Agronapo, Yubalcah y Prolade por el apoyo para ingresar y trabajar en las plantaciones de palma de aceite y a Adriana Gallegos Ruiz, Carlos Iván Flores Escalona y Freddy Pérez Garduza por su asistencia en campo.

Literatura Citada

Ariza, C. A. y P. J. Almanza M. 2012. Identificación y clasificación en biotipos de las malezas asociadas con el cultivo de la palma de aceite. Ciencia y Agricultura 9 (2):87-96.

Cantuca, S., E. Quevedo, E. Peña y O. Checa. 2001. Reconocimiento taxonómico de plantas asociadas con la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en plantaciones de la zona de Tumaco. Palmas 21(1):27-37.

Fariñas, J., M. Vásquez, L. J. Cumana, R. Barrios, L. Leonett, G. Rodríguez *et al*. 2011. Flórula de plantaciones de palma aceitera establecidas en el estado de Monagas, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola 11 (1): 71 – 82.

Fitzherbert, E.B., M. J. Struebig, A. Morel, F. Danielsen, A. C. Brühl, P. Donald *et al.* 2008. How will oil palm expansion affect biodiversity? Trends in Ecology and Evolution 23(10): 538–545.

FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2015. Red de valor: palma de aceite en Chiapas. https://www.fira.gob.mx/OportunidadNeg/DetalleOportunida.jsp?Detalle=46. [consultado el 23 de febrero de 2021]

Furumo, P. R. y T.M. Aide. 2017. Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. Environ. Res. Lett. 12:1–12.

Koh, L. P. y D. S. Wilcove. 2008. Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? Conservation Letters 1:60-64.

Kress, W. J. 1986. The systematic distribution of vascular epiphytes: an update. Selbyana 9: 2-22.

Lot, A. y C. F. Chiang. 1986. Manual de Herbario: Administración y Manejo de Colecciones, Técnicas de Recolección y Preparación de Ejemplares Botánicos. Consejo Nacional de la Flora de México. D.F. México. 130 p.

Meijaard, E., J. Garcia U., D. Sheil, D. A. Wish, K. M. Carlson, D. Juffe-Bignoli, *et al*. 2018. Oil palm and biodiversity: a situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force. International Union for Conservation of Nature. Gland, Switzerland. 116 p.

Ortega, C. y R. Ochoa. 2003. La palma africana, una oleaginosa de ambiente tropical. Revista Claridades Agropecuarias 122: 3- 17.

Ruzlan, K. A. C. y M. S. A. Hamdani. 2020. Occurrence and management of resistant weed species in fgv plantation in Malaysia: a review. Plant Archives 20 (1): 3057-3062.

Santillán, F., S. Ramos y D. Arias. 2015. Identificación taxonómica de arvenses presentes en el cultivo de palma aceitera. Revista Científica Ecuatoriana 1 (1): 20 - 24.

Satriawan, H. y Z. Fuady. 2019. Analysis of weed vegetation in immature and mature oil palm plantations. Biodiversitas 20 (11): 3292-3298.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental, especies nativas de flora y fauna silvestres de México, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, y lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. Ciudad de México, México.

Turner, E. C., J. L. Snaddon, T. M. Fayle y W. A. Foster. 2008. Oil palm research in context: identifying the need for biodiversity assessment. PLoS ONE 3, e1572.

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD VEGETAL DE UNA GEOFORMA EN EL KARST DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Aixchel Maya Martínez[1]*, Mario S. Durán Castillo[250], Martín Aquino Ramírez[250], Neftaly Gijón Yescas[2] y Yameli Aguilar Duarte[2,3]

Resumen

Los ecosistemas kársticos, por su alta heterogeneidad espacial, en el ámbito internacional se reconoce que son biodiversos, incluso con endemismos importantes. Particularmente, la península de Yucatán es la región kárstica más extensa y continua de México, con una importante biodiversidad y, en ella, se encuentra la región de Calakmul, misma que cuenta con diversos estudios de fauna y caracterizaciones de sus asociaciones vegetales. Sin embargo, en el ámbito de la ecología vegetal, el estudio con un enfoque integrado en zonas kársticas es incipiente y representa un área emergente de investigación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la estructura y diversidad vegetal, en un gradiente geomorfológico de la laguna El Desempeño, ubicada en la zona de amortiguamiento de la reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche. La geoforma El Desempeño, en la que se realizó el estudio, corresponde al tipo "aguada" y en ella se realizó un muestreo de vegetación mediante el establecimiento de 3 transectos de 380 m cada uno y 12 unidades de muestreo (UM) de 10 X 12 m (200 m^2), circundantes para el análisis de diversidad y estructura vegetal; también se realizó un sobrevuelo con dron para obtener un ortomosaico y un modelo digital de superficies. El análisis de datos consistió en obtener la diversidad y estructura de la vegetación mediante la aplicación de diversos índices. Se registraron 296 individuos y 44 especies de plantas, con mayor representatividad en las familias Fabaceae y Euphorbiaceae (34% de las especies); la especie con mayor número de individuos fue *Lonchocarpus guatemalensis*, seguida de cuatro especies más que, juntas, representan el 48% de los individuos registrados. Las UM cercanas al cuerpo

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Edzná, Campeche. *maya.aixchel@inifap.gob.mx
[2] Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst (AMEK) A.C.
[3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Sureste, Yucatán.

de agua presentaron especies de vegetación secundaria derivada de una selva baja inundable; mientras que las UM a mayor distancia son características de selva mediana subperennifolia. El tipo de asociaciones vegetales indican procesos de regeneración natural; la información obtenida representa una línea base útil para orientar las acciones de manejo y conservación de la geoforma.

Palabras clave: vegetación secundaria; selva baja inundable; selva mediana subperennifolia; aguada

Introducción

Los territorios kársticos se desarrollan en rocas solubles como las calizas, dolomitas y yesos, entre otras. La disolución de las rocas genera una gran variedad de geoformas tanto superficiales como subterráneas. Por su alta heterogeneidad espacial, en el ámbito internacional se reconoce que los ecosistemas kársticos son biodiversos, incluso con importantes endemismos (Geekiyanage *et al*., 2019).

En México, la Península de Yucatán (PY) es la región kárstica más extensa y continua (Espinasa-Pereña 2007), con presencia de planicies, lomeríos, montañas bajas, pero con diferentes formas y tamaños de depresiones kársticas, coloquialmente conocidos como cenotes, aguadas, rejolladas, hondonadas y bajos inundables (Bautista y Palacio, 2005).

La región de Calakmul, ubicada en el estado de Campeche de la PY, cuenta con diversos estudios de fauna (Martínez-Kú *et al*., 2008; González-Jaramillo *et al*., 2016; Sandoval-Serés *et al*., 2016) y caracterizaciones de sus asociaciones vegetales (Báez-Vargas *et al*., 2017; Hernández-Dzib *et al*., 2021); sin embargo, a pesar de ser la región de la entidad en mejor estado de conservación y contener la mayor reserva de la Biósfera en cuanto a superficie se refiere, los estudios sobre la vegetación ligados a las formas del relieve aún son necesarios.

Por lo que el presente trabajo es un ejercicio exploratorio que tiene como objetivo evaluar la estructura y diversidad vegetal, en un gradiente geomorfológico de la laguna El Desempeño, ubicada en la zona de amortiguamiento de la reserva de la Biósfera de Calakmul, Campeche.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

La geoforma en la que se realizó el estudio corresponde al tipo conocido coloquialmente como “aguada”, una depresión que se caracteriza por tener pendientes ligeramente inclinadas y que alberga un cuerpo de agua poco profundo expuesto en la superficie; asimismo, pueden ser artificiales o naturales; las primeras fueron construidas, aparentemente, por los mayas para la conservación del agua durante la época de secas; mientras que las naturales pueden ser aguadas que se inundan principalmente en la época de lluvias, aunque también las hay permanentes (INEGI, 2016).

El estudio se realizó en una aguada conocida como laguna “El Desempeño” que se ubica en los 18°28’28.5’’ Latitud Norte y 89°53’20.4’’ Longitud Oeste, en el km 7 de la carretera que va a la Zona Arqueológica de Calakmul, Campeche. En la región predomina un clima cálido subhúmedo, con una precipitación anual que va de los 600 a los 1200 msnm y una temperatura promedio de 26°C; el período de lluvias es de junio a octubre. El tipo de vegetación predominante es selva mediana subperennifolia (Figura 1).

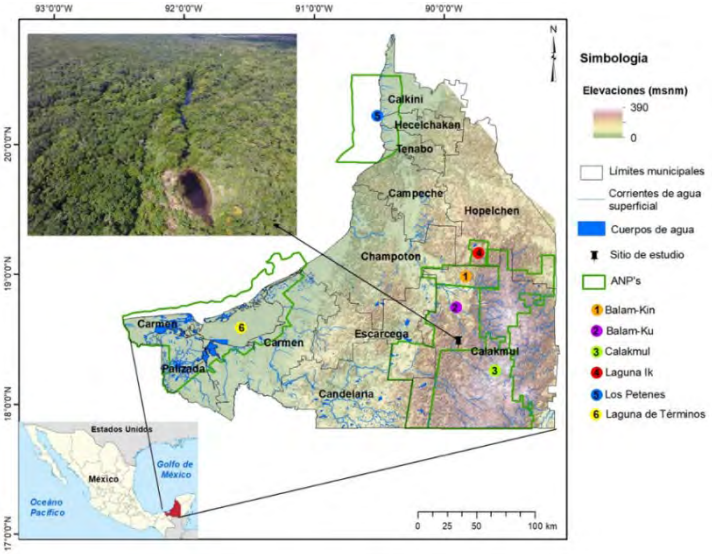


Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro del contexto estatal. La fotografía presenta una vista área de la Laguna El Desempeño como sitio de estudio.

Muestreo

Se trazaron tres transectos de 380 m cada uno en diferentes direcciones de la laguna; los dos primeros transectos son opuestos y perpendiculares; el tercero es longitudinal. En cada transecto se establecieron cuatro unidades de muestreo (UM) de 10 X 20 m (200 m^2); la distancia entre cada UM fue de 100 m, de tal manera que cada UM estuvo localizada a 0 m, 100, 200 y 300 m. En cada UM se registraron todos los árboles cuyo diámetro normal (DN) fuera mayor a 7.5. En cada individuo se registró el DN, la altura total (AT), el nombre común y el nombre científico.

Adicional al muestreo, se realizaron sobrevuelos autónomos con un dron *DJI Phantom* 4 para obtener imágenes aéreas del sitio. La misión se planeó con la aplicación *Pix4Dcapture*, utilizando los siguientes parámetros de vuelo: altura 120 m, traslape frontal 80%, traslape lateral 75%, área 96 ha y velocidad de 15 m/s. Posteriormente las imágenes se procesaron con la técnica fotogramétrica *Structrure from Motion* (SfM) a través de la plataforma *DroneDeploy* (https://www.dronedeploy.com/) para obtener el ortomosaico y un modelo digital de superficie.

Análisis de datos

Para conocer la diversidad vegetal de la geoforma, se obtuvo la riqueza específica mediante la lista de especies por transecto; la nomenclatura utilizada fue la que maneja la plataforma *The World Flora Online* (WFO, 2022). La variación de la riqueza y la distribución de los individuos dentro de las especies se calculó con el índice de Shannon-Wiener (H'): $H'=-\Sigma pi*logpi$, en donde *pi* = es la abundancia relativa y *log* = logaritmo natural de *pi*. Mediante el índice de equidad (J') se corroboró el ajuste entre la diversidad observada y la diversidad máxima esperada: $J'=H'/H'_{max}$, donde *H'* = índice de Shannon-Wiener y H'_{max} = ln S (S = número de especies). Para la estructura de la vegetación, se estimó la densidad como el número de individuos por transecto (individuos/ha) y el área basal (g): $g = \pi (DN/2)^2$. La contribución de cada especie se determinó mediante el valor de importancia relativa (VIR): VIR = (AR+DR+FR)/3 en donde AR = abundancia relativa (individuos/ha), FR = frecuencia relativa y DR = dominancia relativa (m^2/ha); AR = ((# de individuos por especie)/(# total de individuos de todas la especies))x100, DR = ((área basal de cada especies)/(Área basal de todas las especies))x100, FR=((Frecuencia de una especie)/(Suma de las frecuencias de todas las especies))x100. Mientras que para la estructura horizontal (DN) y vertical (AT) de la vegetación

se realizó un análisis con las distribuciones de las frecuencias agrupadas por clase: $K = 1 + 3.33 \times \log(n)$ (*K* = número de clases y *n* = número de árboles).

Resultados y Discusión

Se registraron 13 órdenes, 24 familias, 41 géneros y 44 especies. La familia con un mayor número de especies fue Fabaceae (11), seguida por Euphorbiaceae (4), mismas que representan el 34% de la riqueza del área de estudio; mientras que el resto de las familias presentaron una o dos especies. La geoforma evaluada tuvo una abundancia absoluta de 296 individuos; la especie con mayor número de individuos fue *Lonchocarpus guatemalensis* Benth. (55), seguida por *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (37), *Havardia albicans* (Kunth) Britton & Rose (18), *Thouinia paucidentata* Radlk. (17) y *Forchhammeria trifoliata* Radlk. ex Millsp. (16), es decir, el 48% de la diversidad de la aguada (Cuadro **Cuadro 1**1). Condición compartida con estudios realizados en la zona y en el trópico húmedo de la península de Yucatán, particularmente para las dos familias con mayor riqueza y las especies *L. guatemalensis* y *B. simaruba* (Báez-Vargas *et al.*, 2017).

Cuadro 1. Riqueza y abundancia vegetal en la laguna El Desempeño.

Orden Familia Especie	T 1				T 2				T 3				Total			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Boraginales																
Boraginaceae																
Ehretia tinifolia L.		1/2.06 x											1/0.90			
Brassicales																
Capparaceae																
Forchhammeria trifoliata Radlk. ex Millsp.							16/39.61	x					16/11.91			
Caryophyllales																
Nyctaginaceae																
Neea choriophylla Standl.		6/7.18		x									6/ 3.32			
Polygonaceae																
Gymnopodium floribundum Rolfe		4/5.58		x		2/4.92 x							6/ 4.22			

Manejo Forestal Sustentable y Servicios Ambientales

Continúa Cuadro 1…

Orden Familia Especie	T 1				T 2				T 3				Total			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Neomillspaughia emarginata (H. Gross) S.F. Blake		2/4.27 x		x										2/ 1.86		
Ericales																
Ebenaceae																
Diospyros bumelioides Standl.						1/2.81 x								1/ 0.90		
Primulaceae																
Parathesis cubana (A.DC.) Molinet & M.Gómez						1/2.98		x						1/ 0.96		
Sapotaceae																
Manilkara zapota (L.) P.Royen						1/5.00 x								1/ 1.63		
Fabales																
Fabaceae																
Acacia dolichostachya S.F.Blake						1/3.15 x								1/ 1.01		
Bauhinia erythrocalyx Wunderlin		2/2.85 x												2/ 1.30		
Caesalpinia vesicaria L.									x	8/24.53 x	x			8/5.63		
C. yucatanensis Greenm.										10/24.23 x	x			10/5.46		
Chloroleucon mangense (Jacq.) Britton & Rose						1/2.81 x								1/0.90		
Haematoxylum campechianum L.	x	4/10.33							x	5/68.29				9/22.65		
Havardia albicans (Kunth) Britton & Rose										18/41.79	x	x		18/9.51		
Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit	x	3/3.79			x	1/2.81				2/6.44 x				6/4.11		
Lonchocarpus guatemalensis Benth.		32/37.08 x	x	x	x	18/35.66	x	x	x	5/16.12 x		x		55/31.28		
Lysiloma latisiliquum (L.) Benth.		1/10.25		x		4/27.79		x						5/13.07		
Pithecellobium lanceolatum (Willd.) Benth.									x	1/4.05				1/0.90		
Gentianales																
Apocynaceae																
Cascabela gaumeri (Hemsl.) Lippold		3/4.08 x												3/1.86		
Rubiaceae																
Coutarea hexandra (Jacq.) K.Schum.						3/5.85 x								3/ 1.75		
Lamiales																
Lamiaceae																

Continúa Cuadro 1…

Orden Familia Especie	T 1				T 2				T 3				Total			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Vitex gaumeri Greenm.		1/2.20		x										1/ 0.96		
Magnoliales																
Annonaceae																
Annona reticulata L.					x	3/8.54								3/2.64		
Mosannona depressa (Baill.) Chatrou						x		x						5/3.43		
Malpighiales																
Erythroxylaceae																
Erythroxylum rotundifolium Lunan						2/6.09	x							2/1.91		
Euphorbiaceae																
Croton arboreus Millsp.		9/14.70	x	x		1/2.64		x						10/7.37		
C. icche Lundell	x	1/2.20								2/7.69	x	x		3/2.65		
C. oerstedianus Müll.Arg.						3/7.06	x	x						3/2.20		
Gymnanthes lucida Sw.		4/5.45		x										4/2.48		
Malpighiaceae																
Malpighia glabra L.		4/6.57	x	x		2/7.27	x							6/5.23		
Salicaceae																
Zuelania guidonia (Sw.) Britton & Millsp.		8/10.46	x	x										8/4.78		
Malvales																
Malvaceae																
Guazuma ulmifolia Lam.	x	5/7.24												5/3.26		
Hampea trilobata Standl.						3/9.44	x	x						3/3.04		
Myrtales																
Combretaceae																
Bucida buceras L.						1/2.64	x		x	4/20.55				5/5.95		
Myrtaceae																
Eugenia ibarrae Lundell		4/6.02	x											4/2.70		
Psidium sartorianum (O.Berg) Nied.		1/1.92	x											1/ 0.85		
Sapindales																
Anacardiaceae																
Metopium brownei (Jacq.) Urb.		2/3.43		x	x	1/3.99								3/2.87		

Continúa Cuadro 1…

Orden / Familia / Especie	T 1				T 2				T 3				Total			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Spondias mombin L.										4/9.82		x		4/2.20		
Burseraceae																
Bursera simaruba (L.) Sarg.		35/53.25 x	x	x		2/13.02 x	x							37/28.09		
Meliaceae																
Cedrela odorata L.						1/5.00 x								1/1.63		
Swietenia macrophylla King										4/9.82		x		4/2.20		
Sapindaceae																
Matayba oppositifolia (A.Rich.) Britton		10/15.35 x	x											10/6.86		
Thouinia paucidentata Radlk.		12/16.77	x	x		5/14.46 x	x							17/12.09		
Zygophyllales																
Zygophyllaceae																
Guaiacum sanctum L.						1/8.53 x								1/2.81		
Total de individuos		154				79				63				296		

T=Transecto (# de individuos/VIR=Valor de importancia relativa por transecto); los números del 1 al 4 debajo de T1, T2 y T3 corresponden a las UM de cada uno (con x se marca presencia de la especie); Total (# de individuos/VIR por especie). En rojo las especies de mayor VIR por transecto y por especie.

Los transectos que presentaron mayor número de especies fueron el uno (23) y el dos (24), que son perpendiculares a la geoforma y van de un gradiente de mayor a menor humedad; mientras que el tres solo tuvo 11 especies. Además de ser más ricos en especies, los dos primeros transectos presentaron mayor diversidad (riqueza-abundancia) que el tres (Cuadro 1); este resultado también se refleja con H', ya que se observó una mayor diversidad en los dos primeros transectos que, según la interpretación del propio índice (valores entre 0 y 5), se podría sugerir que es intermedia; mientras que el T3 es de baja diversidad. Asimismo, el índice de equidad (J') arrojó que los tres transectos presentaron una distribución equitativa de las abundancias de las especies de cada uno de ellos (Cuadro 2).

Entre los transectos solo fueron dos especies las compartidas: Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit y L. guatemalensis; entre el T1 y el T2 se compartieron siete especies; entre el uno y el tres se compartieron Haematoxylum campechianum L. y Croton icche Lundell; mientras que entre el dos y el tres solo Bucida buceras L. Por su parte, el T1 contó con 12 especies que no

se registraron en ninguno de los otros dos transectos, el T2 con 14 y el T3 con seis (Cuadro 1), situación que pudiera estar indicando heterogeneidad ambiental, la cual pudiera ser ocasionada por gradientes ambientales o por ser una matriz con parches en diferente estado sucesional de sus comunidades vegetales.

Cuadro 2. Medidas de diversidad vegetal de la geoforma El Desempeño. N=Número de individuos; S=Número de especies; g=Área basal (m^2); H'=índice Shannon-Wiener; J'=índice de equidad.

Transecto	N	S	Densidad	g	H'	J'
1	154	23	405.26	6.05	2.56	0.82
2	79	24	207.89	5.77	2.64	0.83
3	63	11	165.79	4.69	1.95	0.81
Total	296	44				

El T1 fue el que presentó los valores más altos de densidad (405.26 individuos/hectárea), aunque el área basal tanto del uno como del dos fue de valores similares, mientras que el tres presentó menor densidad y área basal (Cuadro 2); que son valores similares a los ya reportados en estudios de la región (García-Licona *et al*., 2014; Hernández-Dzib *et al*., 2021). Las especies de mayor VIR, tanto por transecto como en general para la aguada, fueron *F. trifoliata* (39.52 para T2 y 11.89 para la aguada), *H. campechianum* (T1=10.37, T3=68.36 y aguada=22.65), *L. guatemalensis* (T1=37.03, T2=35.57, T3=16.08 y aguada=31.28), *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. (T1=10.27, T2=27.69 y aguada=13.06), *B. simaruba* (T1=53.28, T2=13.06 y aguada=28.08) y *T. paucidentata* (T1=16.76, T2=14.54 y aguada=12.12); algunas de estas especies han sido reportadas, como de mayor VIR, para bosques tropicales secos de la península de Yucatán, así como para la vegetación secundaria derivada de estos (*L. guatemalensis*. B. simaruba) (Báez-Vargas *et al*., 2017).

En cuanto a la estructura horizontal y vertical, al igual que en la mayoría de las selvas secundarias de la península de Yucatán, cada uno de los transectos y la aguada presentaron una gráfica en forma de "J" invertida para los diámetros y de campana para las alturas, es decir, que la mayoría de los individuos se encuentran en las clases diamétricas más chicas y en las alturas intermedias, situación que indica que la vegetación del área está en un proceso de regeneración natural (Báez-Vargas *et al*., 2017) (Figura 2; Figura 3).

Asimismo, en cuanto a la composición específica, en las UM cercanas a la geoforma se encontraron especies típicas de vegetación inundable, tales como *Haematoxylum campechanum* L. y *Bucida buceras* L. Sin embargo, también se observaron especies típicas de vegetación secundaria y cultivadas, tales como *Guazuma ulmifolia* Lam., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y *Annona reticulata* L.

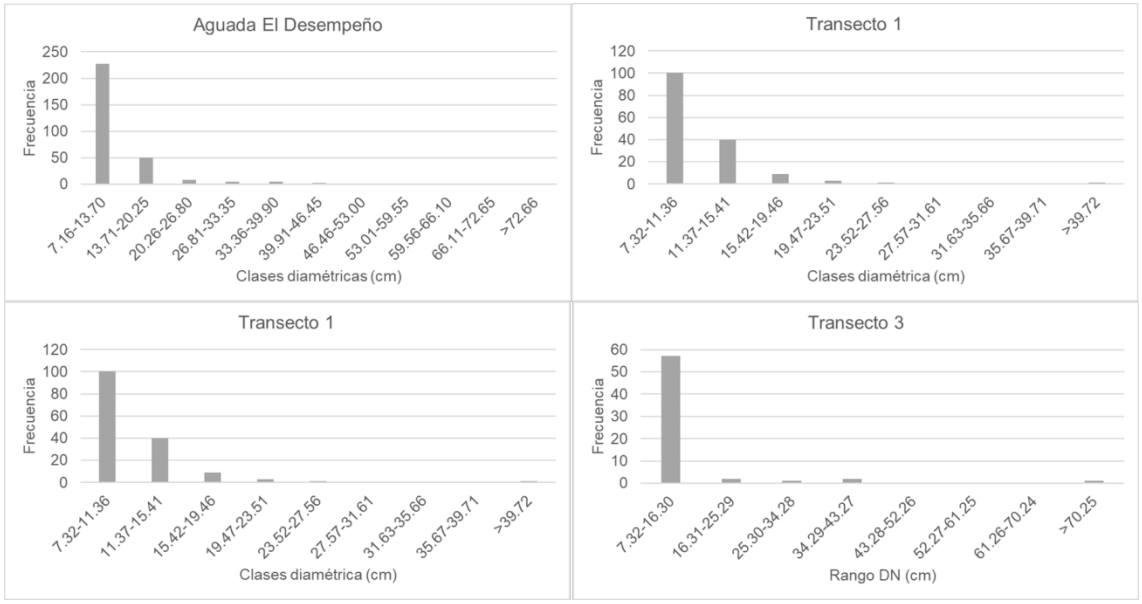


Figura 2. Clases diamétricas de los árboles de la aguada El Desempeño, Calakmul, Campeche.

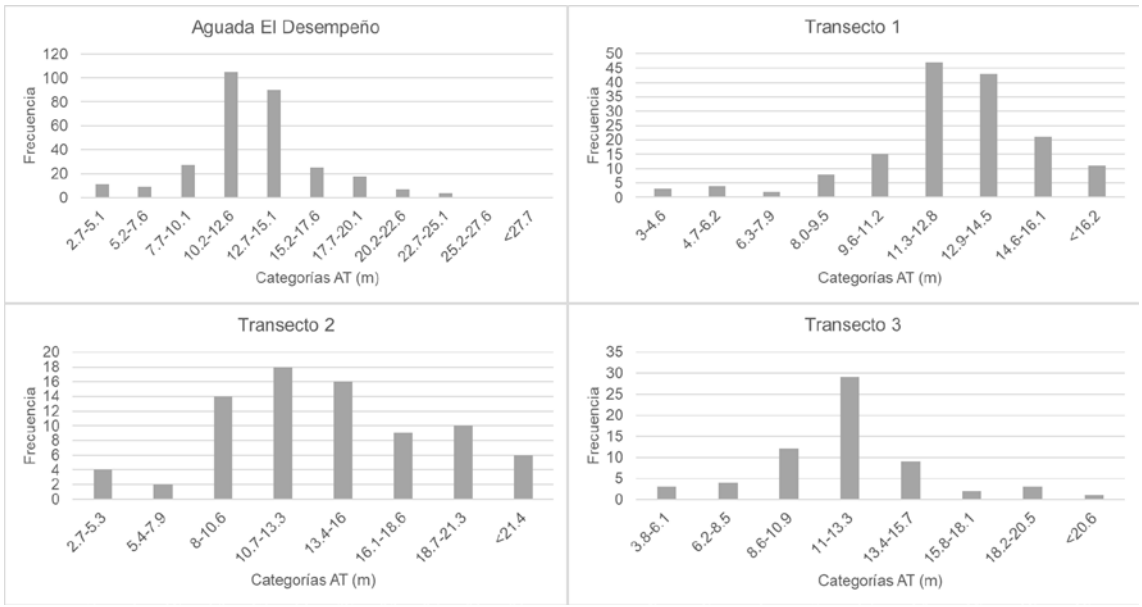


Figura 38. Clases por alturas de los árboles de la aguada El Desempeño, Calakmul, Campeche.

Lo anterior sugiere que a pesar de que la geoforma El Desempeño se localiza dentro de un área natural protegida, el área alrededor del cuerpo de agua se encuentra en un estado de perturbación. Por lo que la vegetación puede ser clasificada como vegetación secundaria derivada de una selva baja inundable (Flores *et al*., 1994).

Al respecto, las selvas bajas inundables, también llamados bajos, son comunidades arbóreas con individuos entre 4 y 8 m de altura, que se encuentran localizadas sobre suelos llamados Akalches, según la terminología maya o Gleysoles. Los Akalches se caracterizan por ser suelos arcillosos, con poca materia orgánica y ausencia de rocas y por encontrarse inundados durante varios meses del año (Bautista and Zinck, 2010). Aunque esta comunidad es muy diversa con respectos a la composición de especies reportada, en este trabajo se encontró lo que Martínez y Galindo-Leal (2002) denominan como bajo mixto, dominado por individuos de H. campechianum (Figura 4).

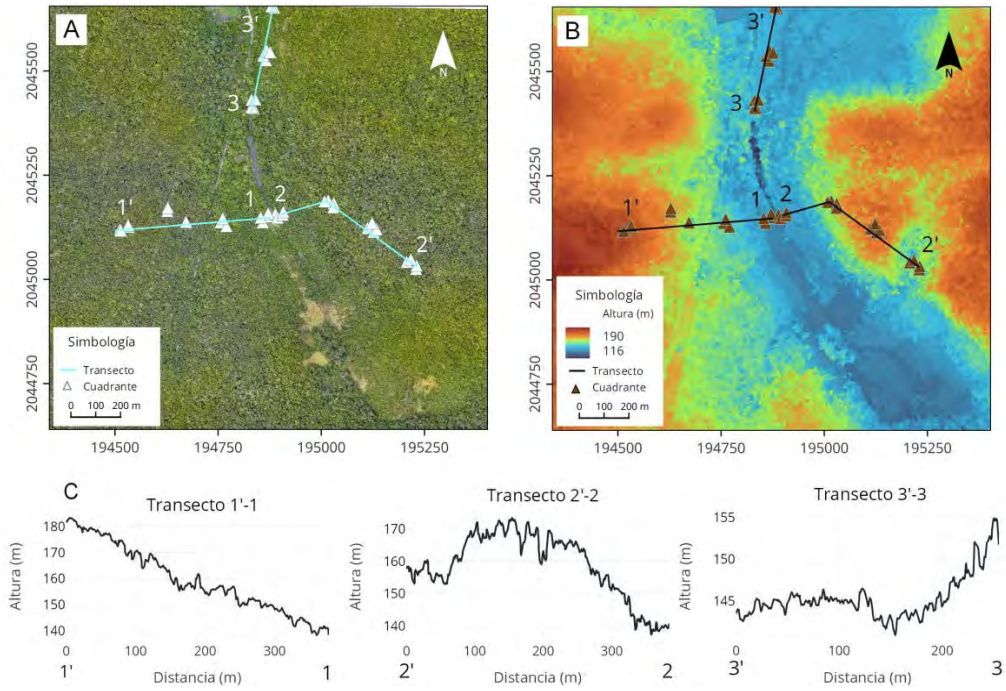


Figura 4. A) ortomosaico del sitio de estudio y ubicación de los transectos; B) modelo digital de superficies, se aprecia las diferencias en alturas y los perfiles de vegetación

Por otro lado, a medida que las UM se alejan de la laguna se apreciaron elementos típicos de selva mediana subperennifolia, tales como Manilkara zapota (L.) P. Royen, Lysiloma latisiliquum (L.) Benth, Vitex gaumeri Greenm., Swietenia macrophylla King y Zuelania guidonia

(Sw.) Britton & Millsp. Este tipo de vegetación ha sido descrita previamente en Calakmul y es la más abundante por extensión en la península de Yucatán (Martínez y Galindo-Leal, 2002). A diferencia de los bajos o selvas inundables, estas comunidades se desarrollan sobre suelos someros rocosos, con buena filtración y contenido de materia orgánica. Los árboles son más altos, llegando a medir hasta 35 m y entre 25 y 50% de los individuos pierden las hojas en cierta época del año (Palacio Aponte *et al*., 2012; Peña-Chocarro *et al*., 2011) (Figura 4).

Conclusiones

1. La vegetación del área bajo estudio indica que se está en un proceso de regeneración natural. 2. La vegetación circundante de la geoforma puede ser clasificada como vegetación secundaria derivada de una selva baja inundable o bajo mixto. 3. La vegetación alejada del borde del cuerpo de agua es característica de una selva mediana subperennifolia, la cual es la más abundante en la región de Calakmul. 4. La información obtenida en este trabajo es una línea base que permite orientar las acciones de manejo y conservación de la geoforma hacia un aprovechamiento sustentable.

Agradecimientos

Al INIFAP por el financiamiento al proyecto “Elementos del paisaje kárstico de la península de Yucatán para el aprovechamiento de sus recursos naturales “(número: 11161434635). A la comunidad de Conhuas, la Reserva de la Biósfera de Calakmul Campeche y al Campamento Yax’che por las facilidades otorgadas en la realización de este trabajo.

Literatura Citada

Báez-Vargas, A. M., L. Esparza-Olguín, E. Martínez-Romero, S. Ochoa-Gaona, N. Ramírez-Marcial y N. A. González-Valdivia. 2017. Efecto del manejo sobre la diversidad de árboles en vegetación secundaria en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México. Revista de Biología Tropical 65(1):41-53.

Bautista, F. and A. J. Zinck. 2010. Construction of a Yucatec Maya soil classification and comparison with the WRB framework. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 6(7):11.

Bautista F. y G. Palacio (eds). 2005. Caracterización y manejo de suelos en la Península de Yucatán, implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Instituto de Nacional de Ecología. Ciudad de México, México. 181 p.

Espinasa-Pereña R. 2007. El Karst de México, Mapa NA III 3. p. 1-2. *In*: Coll-Hurtado, A. (coord.). Nuevo Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México, México.

Flores, J. S., I. Espejel y I. E. Carvajal. 1994. Etnoflora Yucatanense: Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, Dirección General de Extensión. Yucatán, México. 35 p.

García-Licona, J. B., L. G. Esparza-Olguín y E. Martínez-Romero. 2014. Estructura y composición de la vegetación leñosa de selvas en diferentes estadios sucesionales en el ejido El Carmen II, Calakmul, México. Polibotánica (38):01-26.

Geekiyanage, N., U. M. Goodale, K. Cao and K. Kitajima. 2019. Plant ecology of tropical and subtropical karst ecosystems. Biotropica 51(5):626-640.

González-Jaramillo, M., E. Martínez, L. G. Esparza-Olguín y J. L. Rangel-Salazar 2016. Actualización del inventario de la avifauna de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, península de Yucatán, México: abundancia, estacionalidad y categoría de conservación. Huitzil 17(1):54-106.

Hernández-Dzib, G. A., L. Esparza-Olguín, E. Martínez-Romero, L. Pat-Fernández y A. Maya-Martínez. 2021. Diversidad arbórea, uso y carbono almacenado en áreas con restauración productiva en Calakmul, Campeche. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 8(3): e2821.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2016. Estudio de información integrada del acuífero cárstico Península de Yucatán. INEGI. Aguascalientes, Aguascalientes. 120 p.

Martínez, E. y C. Galindo-Leal. 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. Botanical Sciences 71:7–32.

Martínez-Kú, D. H., G. Escalona-Segura, J. A. Vargas-Contreras, C. Lorenzo, E. Espinoza y J. Ortega. 2008. Importancia de las aguadas para los mamíferos de talla mediana y grande en Calakmul, Campeche, México. Avances en el estudio de los mamíferos II. Asociación Mexicana de Mastozoología AC México: 449-468.

Palacio A., A. G., R. Noriega T. y P. Zamora C. 2012. Caracterización físico-geográfica del paisaje conocido como “bajos inundables”. El caso del Área Natural Protegida Balamkín, Campeche. Investigaciones Geográficas 49:57-73.

Peña-Chocarro, M., J. Tun-Garrido y S. D. Knapp (eds). 2011. Árboles del mundo maya. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 263 p.

Sandoval-Serés, E., R. Reyna H., M. Briceño-Méndez y R. D. L. Cerda-Vega. 2016. Uso de aguadas y abundancia relativa de *Tapirus bairdii* en la región de Calakmul, Campeche, México. Therya 7(1):39-50.

WFO. 2022. World Flora Online. Published on the Internet; http://www.worldfloraonline.org [consultado el 16 de junio de 2022

MODELOS PARA DESCRIBIR EL PERFIL FUSTAL DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. EN OCAMPO, MICHOACÁN, MÉXICO

Abel Joseph Hernández Martínez[1*], Gerónimo Quiñonez Barraza[2], Valentín José Reyes Hernández[1], Jonathan Hernández Ramos[3], Xavier García Cuevas[3] y Rafael Sánchez Concha[4]

Resumen

Las ecuaciones de ahusamiento predicen el diámetro comercial en una determinada altura del árbol y su respectivo volumen. Son herramientas indispensables en la gestión y la planeación del manejo forestal que permiten al silvicultor llevar a cabo la distribución de productos maderables de los árboles para una mejor toma de decisiones en el aprovechamiento forestal. Se evaluaron doce modelos de ahusamiento para describir el perfil del fuste y estimar el diámetro en un punto específico del fuste para árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Los modelos se clasificaron en segmentados y simples-polinómicos; siete corresponden al primer grupo y el resto al segundo. La información del diámetro-altura se obtuvo a través de métodos destructivos provenientes de una muestra de 37 árboles. Los individuos seleccionados se ubicaron en diferentes condiciones de crecimiento en los bosques naturales del ejido El Paso, Ocampo, Michoacán. Se utilizaron siete indicadores estadísticos para evaluar los modelos, así como una evaluación gráfica de la estimación del ahusamiento del fuste. En la mayoría de los modelos utilizados, los parámetros fueron significativos, con excepción de los modelos de Zepeda-Domínguez, Parresol y Zhang que obtuvieron un parámetro no significativo ($p>0.05$). El modelo segmentado de Fang fue el que mostró una evaluación superior en la bondad de ajuste respecto a los otros modelos evaluados. La evaluación visual de la estimación del ahusamiento fue mejor para los modelos segmentados respecto a las ecuaciones simples. El perfil fustal puede ser estimado con el modelo segmentado de Fang, porque mostró una evaluación superior en la significancia de sus parámetros, indicadores estadísticos y

[1] Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, México. *ajhmtz@gmail.com
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) - Campo Experimental Valle del Guadiana Durango, Durango, México.
[3] INIFAP-Campo Experimental Chetumal, Chetumal, Quintana Roo, México.
[4] Asesoría y Servicio Ambientales y Forestales S.A. de C.V., Uruapan, Michoacán, México.

proyección gráfica del ahusamiento. Con lo anterior, una nueva herramienta biométrica puede ser utilizada para caracterizar la distribución de productos de *Pinus pseudostrobus* en ejido El Paso de Ocampo, Michoacán.

Palabras claves: diámetro límite superior, altura relativa, ahusamiento

Introducción

El pino blanco (*Pinus pseudostrobus* Lindl.) es una de las especies de coníferas que tiene una distribución biogeográfica amplia en los bosques de clima templado de México. Esta conífera se encuentra en la Sierra Madre Oriental, Occidental y Sur, así como en el Eje Neovolcánico (CONABIO, 2022). En el Estado de Michoacán, el pino blanco presenta una importancia económica amplia y forma parte de las especies del género *Pinus* con mayor aprovechamiento forestal. Además, es la principal fuente de materia prima que abastece a las industrias del aserrío que se encuentran en el estado (SNIF, 2022) y se considera como una madera de calidad alta por sus características físicas y mecánicas para la elaboración de muebles y acabados (CONABIO, 2022). Actualmente se han desarrollado diferentes herramientas para modelar la forma fustal y estimar el volumen de *Pinus pseudostrobus*. Entre estas, algunos sistemas compatibles de ahusamiento-volumen se construyeron para el Norte de México (Návar *et al*., 2013) y para la meseta purépecha del estado de Michoacán (García *et al*., 2019). Por otro lado, el Sistema Biométrico Forestal (SiBiFor) de la Universidad Juárez de Durango también han propuesto varias ecuaciones de ahusamiento-volumen, las cuales fueron construidas para las distintas Unidades de Manejo Forestal (UMAFOR) de México (Vargas *et al*., 2017).

A pesar de contar con varias ecuaciones de ahusamiento desarrolladas en México Vargas *et al*., 2017), es indispensable que cada sitio con manejo forestal cuente con sus propias herramientas. En ocasiones no todas las ecuaciones propuestas en la literatura cubren la diversidad de condiciones climáticas, edafológicas y ecológicas donde se distribuye *Pinus pseudostrobus*. Además, es importante considerar que existe un factor adicional a los mencionados, tal es el caso de las condiciones del rodal después de las intervenciones

silvícolas, el cual influye directamente en la forma y crecimiento de los árboles (Cruz *et al*., 2008; García *et al*., 2019). En la literatura existe una diversidad de modelos que ayudan a describir el perfil del fuste. Los modelos de ahusamiento se han clasificado en cuatro grupos conocidas como: funciones simples, segmentadas, ecuaciones trigonométricas y modelos de ahusamiento de forma variable (Návar *et al*., 2013). Los modelos segmentados son más apropiados para describir el perfil del fuste en comparación con las otras formulaciones (García *et al*., 2019). El objetivo del presente estudio fue evaluar y comparar la predicción de diferentes ecuaciones de ahusamiento para describir el perfil del fuste de árboles de *Pinus pseudostrobus* en Ocampo, Michoacán.

Materiales y Métodos

Un total de 37 árboles, distribuidos en rodales con manejo forestal, fueron usados en el presente estudio. Los árboles seleccionados se localizaron en el área de uso común del Ejido El Paso, Ocampo, Michoacán, México. El diámetro normal (DN, 1.3 m sobre el suelo) fue medido con precisión de 0.1 cm en cada árbol. Después, los árboles fueron derribados a una altura aproximada de 0.3 m (hb, altura del tocón), la longitud del fuste completo fue medido con precisión de 0.01 m (H, altura total). Los intervalos de medición por arriba del DN variaron de 1 m a 2.6 m y la longitud de la punta fue variable (h, longitud de la punta). En cada una de las secciones se realizaron dos mediciones del diámetro con corteza de forma perpendicular, el promedio de las dos mediciones fue obtenido de forma aritmética (d, diámetro o ahusamiento). Los estadísticos descriptivos se muestran en la Cuadro 1.

Un total de 12 modelos de ahusamiento fueron ajustados a 679 pares de datos de d-h. Las ecuaciones 1-7 corresponden a modelos segmentados propuestos por McClure y Czaplewski (1986), Fang *et al*. (2000), Max y Burkhart (1976), Zepeda y Domínguez (1997), Cao *et al*. (1980), Parresol *et al*. (1987) y Zhang *et al*. (2002), respectivamente. Para el caso de las ecuaciones 8, 10 y 11 formaron parte de los modelos simples polinómicos y fueron propuestos por Rentería y Ramírez (1998), además se utilizó la modificación de la ecuación 8 realizada por Cruz *et al*. (2008), la cual se señaló con el numeral 9. Por último, se incorporó en el análisis la ecuación 12 desarrollada Demaerschalk (1972) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de datos de ahusamiento de *Pinus pseudostrobus*.

Variable	Mínimo	Media	Máximo	Desviación estándar
H (m)	36.1	41.1	49.8	3.19
DN (cm)	60.7	78.6	99	8.05
h (m)	0.3	20.2	49.8	13.2
d (cm)	0	47.8	108	24.3

H = altura total del árbol, DN = diámetro normal, h = altura del fuste a partir del tocón y d = diámetro a alturas variables desde el nivel del tocón.

Cuadro 2. Ecuaciones de ahusamiento evaluadas para modelar el perfil fustal.

Eq.	Expresión
1	$d = \frac{\theta_0 DN^{\theta_1} H^{\theta_2}}{kH}\sqrt{(2(1-\beta_1)z + 3\beta_1 z^2 + \beta_2(z-p_1)^2 I_1 + \beta_3(z-p_2)^2 I_2)}$ $z = (H-h)/H,\ I_1 = \begin{cases} 1, z \geq p_1 \\ 0,\ de\ otra\ forma \end{cases},\ I_2 = \begin{cases} 1, z \geq p_2 \\ 0,\ de\ otra\ forma \end{cases}$
2	$d = c_1\sqrt{H^{(k-\beta_1)/\beta_1}(1-z)^{(k-\beta)/\beta}\alpha_1^{(I_1+I_2)}\alpha_2^{I_2}},\ \begin{cases} I_1 = 1, p_1 \leq z \leq p_2; 0 \\ I_2 = 1, p_2 < z \leq 1; 0 \end{cases},\ p_1 = \frac{h_1}{H}, P_2 = \frac{h_2}{H}$ $\beta = \beta_1^{1-(I_1+I_2)} + \beta_2^{I_1} + \beta_3^{I_2},\ \alpha_1 = (1-p_1)^{(\beta_2-\beta_1 k)/\beta_1\beta_2},\ \alpha_2 = (1-p_2)^{(\beta_3-\beta_2 k)/\beta_2\beta_3},$ $t_0 = \left((1-h_b)/H\right)^{k/\beta_1},\ t_1 = (1-p_1)^{k/\beta_1},\ t_2 = (1-p_2)^{k/\beta_2},\ z = \frac{h}{H}$ $c_1 = \sqrt{\frac{\theta_0 DN^{\theta_1} H^{\theta_2 - h/\beta_1}}{\beta_1(t_0 - t_1) + \beta_2(t_1 - \alpha_1 t_2) + \beta_3 \alpha_1 t_2}}$
3	$d = DN\sqrt{\beta_1(z-1) + \beta_2(z^2-1) + \beta_3(p_1-z)^2 I_1 + \beta_4(p_2-z)^2 I_2}$ $z = h/H,\ I_1 = \begin{cases} 1, z \leq p_1 \\ 0, z > p_1 \end{cases},\ I_2 = \begin{cases} 1, z \leq p_2 \\ 0, z > p_2 \end{cases}$
4	$d = DN(\beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3(p_1 - X)^2 I_1 + \beta_4(p_2 - X)^2 I_2)$ $X = \left(\frac{H-h}{H-1.3}\right),\ I_1 = \begin{cases} 1, X \geq p_1 \\ 0,\ de\ otra\ forma \end{cases},\ I_2 = \begin{cases} 1, X \geq p_2 \\ 0,\ de\ otra\ forma \end{cases}$
5	$d = \frac{\beta_0 D}{k}\sqrt{(2z + \beta_1(3z^2 - 2z) + \beta_2(z-p_1)^2 I_1 + \beta_3(z-p_2)^2 I_2)}$ $z = (H-h)/H,\ I_1 = \begin{cases} 1, z \geq p_1 \\ 0,\ de\ otra\ forma \end{cases},\ I_2 = \begin{cases} 1, z \geq p_2 \\ 0,\ de\ otra\ forma \end{cases}$
6	$d = DN\sqrt{z^2(\beta_1 + \beta_2 z) + (z-p_1)^2(\beta_3 + \beta_4(z + 2p_1))I_1}$ $z = (H-h)/H,\ I_1 = \begin{cases} 1, z \geq p_1 \\ 0,\ de\ otra\ forma \end{cases}$
7	$d = DN\left(\frac{H}{H-1.3}\right)^{(k_1-\beta_1)/2\beta_1}\sqrt{a^{I_2}(1-z)^{\left(k_1-\beta_1^{1-I_1}\beta_2^{I_1}\right)/\left(\beta_1^{1-I_1}\beta_2^{I_1}\right)}}$ $a = (1-p_1)^{k(\beta_2-\beta_1)/\beta_1\beta_2},\ k_1 = \pi/8,\ z = h/H,\ I_1 = \begin{cases} 1, z > p_1 \\ 0, z \leq p_1 \end{cases}$

Manejo Forestal Sustentable y Servicios Ambientales

Continúa Cuadro 2…

Eq.	Expresión
8	$d = DN\sqrt{\beta_1\left(\frac{H-h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{H-h}{H}\right)^2 + \beta_3\left(\frac{H-h}{H}\right)^3}$
9	$d = \sqrt{DN^{\beta_0}\left(\beta_1\left(\frac{H-h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{H-h}{H}\right)^2 + \beta_3\left(\frac{H-h}{H}\right)^3\right)}$
10	$d = DN\sqrt{\beta_0 + \beta_1\left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{h}{H}\right)^2 + \beta_3\left(\frac{h}{H}\right)^3}$
11	$d = DN\sqrt{\beta_1\left(\frac{H-h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{H-h}{H}\right)^{\beta_3}}$
12	$d = DN\sqrt{\beta_0\left(\frac{1}{DN^2H}\right)\left(\frac{H-h}{H}\right)^{\beta_1} + \beta_2\left(\frac{H-h}{H}\right)^{\beta_3}}$

Eq. = ecuación.

Los modelos fueron ajustados con el paquete estadístico R (R Development Core Team, 2020) por medio de la técnica de mínimos cuadrados ordinarios no lineales. Por problemas de convergencia la ecuación 7 se ajustó con el algoritmo Levenberg-Marquatd. Los parámetros fueron evaluados con la prueba de *t-student* con un nivel de significancia de 5%. La bondad de ajuste de los 12 modelos se evaluó con la raíz cuadrada media del error (RMSE), el coeficiente de determinación ajustado (R^2_a), el criterio de información de Akaike (AIC), el criterio de información bayesiano (BIC), el logaritmo de la verosimilitud (LL), el sesgo promedio absoluto (SP) y el coeficiente de variación (CV, %).

La selección del mejor modelo se hizo con el método propuesto por Poudel y Cao (2013), el cual consiste en obtener un ranking relativo para cada modelo y cada uno de los siete indicadores estadísticos. Para los estadísticos RMSE, AIC, BIC, SP y CV se usó la ecuación (13). Además, se realizó una modificación a la ecuación propuesta por Poudel y Cao (2013), con la finalidad de incluir en el ranking los estadísticos de R^2_a y LL (ecuación (14)). El ranking promedio (R_p) de los valores de R_i de cada estadístico correspondió al mejor modelo.

$$R_i = 1 + \left(\frac{(w-1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{\min}}\right) \quad (13)$$

$$R_i = 1 + \left(\frac{(w-1)(S_{max} - S_i)}{S_{max} - S_{\min}}\right) \quad (14)$$

Para evitar problemas de convergencia en la estimación de los parámetros, especialmente cuando $h = H$, se asignó un valor aditivo a H en este punto (0.00001). Además, para cumplir con la condición $d = 0$ cuando $h = H$, se fijó una variable indicadora principalmente en la observación de la punta del árbol. Conforme a lo anterior se consiguió obtener estimaciones lógicas en el ahusamiento de los fustes (Fang *et al*., 2000).

Resultados y Discusión

Las estimaciones de los parámetros de los modelos utilizados se muestran en el Cuadro 3. En la mayoría de las ecuaciones evaluadas, las estimaciones de los parámetros fueron significativos (*p<0.001*). Sin embargo, se encontraron algunos parámetros que fueron iguales a cero (*p>0.05*) de acuerdo con la prueba de *t-student*; como es el caso de las ecuaciones 4, 6 y 7. Con relación a los modelos segmentados con alturas relativas de 0 a 1 (Fang *et al*., 2000; Max y Burkhart, 1976), el primer punto de inflexión se estimó al 6.4% y 11.8% de la altura total, mientras que el segundo punto de inflexión se estimó al 72.6% y 81.5% con las ecuaciones 2 y 3, respectivamente. Los modelos segmentados con alturas relativas de 1 a 0 (Cao *et al*., 1980; McClure y Czaplewski, 1986; Zepeda y Domínguez, 1997), presentaron estimaciones variables en el primer punto de inflexión. Sin embargo, la estimación del segundo punto de inflexión fue de 82% al 92% respecto a la relación establecida en la altura relativa (Cuadro 3)

Los modelos segmentados de Parresol *et al*. (1987) y Zhang *et al*. (2002) solo estimaron un punto de inflexión. En el primer caso, la estimación del parámetro fue diferente de cero, pero en el segundo caso no fue significativo. Las ecuaciones de ahusamiento de forma simple y polinómicas mostraron estimaciones significativas (*p<0.001*) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros estimados con el error estándar en cursiva para los modelos de ahusamiento analizados.

Eq.	Estimadores y errores estándar									
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	θ_0	θ_1	θ_2	p_1	p_2
1		0.993	-3.455	30.573		0.001*	1.600	0.767	0.185	0.883
		0.020	0.076	5.949		0.0001	0.059	0.082	0.015	0.010
2		$1.028x10^{-5}$	$4.033x10^{-5}$	$2.594x10^{-5}$		0.0004*	1.601	0.792	0.064	0.726
		$1.098x10^{-6}$	$4.776x10^{-7}$	$7.112x10^{-7}$		0.0002	0.058	0.081	0.007	0.011
3		-6.597	3.290	33.263	-3.819				0.118	0.815
		0.623	0.332	6.274	0.309				0.010	0.016
4		1.882	-1.173	1.216^{ns}	23.997				0.635	0.927
		0.037	0.072	0.652	6.088				0.088	0.018
5	$1.008x10^{-6}$	0.990	-3.452	29.820					0.187	0.879
	$7.408\ x10^{-8}$	0.039	0.145	10.650					0.028	0.019
6		3.284	-0.377^{ns}	-9.963	4.432*				0.256	
		0.385	1.792	0.923	1.965				0.020	
7		0.165	0.176						0.487^{ns}	
		0.002	0.003						5.256	
8		0.503	0.831	-0.342						
		0.038	0.136	0.110						
9		2.959	4.919	-2.044*			1.595			
		1.015	1.827	0.936			0.077			
10	1.140	-4.205	11.986	-16.257	7.348					
	0.015	0.189	0.700	0.953	0.431					
11		0.833	0.441	27.173						
		0.008	0.037	4.251						
12	91070	48.090	0.937	1.194						
	12400	11.980	0.013	0.019						

Eq. = ecuación, ns = estimación del parámetro no significativo con *p>0.05,* * estimación del parámetro con *p>0.01*, parámetros sin superíndice con *p<0.001*.

La evaluación de bondad de ajuste mostró que los modelos segmentados explicaron más del 96% de la variación de las observaciones, excepto los modelos de Cao *et al*. (1980) y Zhang *et al*. (2002). En el caso de los modelos simples y polinómicos, la ecuación 10 presentó un coeficiente de determinación mayor a 96% y fue superior a los dos modelos segmentados con

menor coeficiente de determinación. Los otros cuatro modelos simples mostraron coeficientes de determinación por debajo del 95% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadísticos de bondad de ajuste para los modelos analizados.

Eq.	RMSE	R_a^2	AIC	BIC	LL	SP	CV	R_p	Ranking
1	4.188	0.970	3881.947	3922.632	-1931.973	0.023	8.709	2.58	3
2	4.152	0.971	3869.995	3910.681	-1925.998	0.040	8.633	2.51	2
3	4.349	0.968	3931.144	3962.788	-1958.572	0.131	9.053	3.10	4
4	4.500	0.970	3486.322	3517.042	-1736.161	0.170	9.359	1.53	1
5	7.713	0.899	4709.178	4740.822	-2347.589	1.209	15.862	12.00	12
6	4.566	0.965	3996.076	4023.200	-1992.038	0.144	9.510	3.63	6
7	5.350	0.952	4209.402	4227.484	-2100.701	0.197	11.159	5.51	8
8	5.559	0.948	4261.337	4279.420	-2126.669	0.074	11.601	5.82	10
9	5.452	0.950	4235.983	4258.586	-2112.991	0.179	11.364	5.72	9
10	4.480	0.966	3970.278	3997.401	-1979.139	0.110	9.333	3.38	5
11	5.436	0.950	4231.171	4249.254	-2111.586	0.609	11.275	6.24	11
12	5.038	0.957	4128.683	4151.286	-2059.341	0.087	10.505	4.65	7

Eq. = ecuación. Rp = Ranking promedio.

Los modelos de McClure y Czaplewski (1986), Fang *et al*. (2000) y Max y Burkhart (1976) fueron los que mostraron los menores valores en los indicadores de la RMSE, AIC, BIC, SESGO y CV; y un LL mayor en comparación con el resto de los modelos. El modelo de Zepeda y Domínguez (1997) también presentó una evaluación similar a las tres ecuaciones mencionadas anteriormente. Sin embargo, por presentar un parámetro igual a cero, no se consideró dentro de los mejores modelos. Conforme a lo anterior y de acuerdo con el ranking propuesto por Poudel y Cao (2013), se encontró que el menor valor fue para el modelo de Fang *et al*. (2000), el cual fue considerado para describir el perfil del fuste de los árboles de *Pinus pseudostrobus*. Este modelo también fue seleccionado por García *et al*. (2019), quienes realizaron un estudio en plantaciones forestales de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán para la misma especie analizada en el presente estudio.

La evaluación de los residuales del modelo de Fang *et al*. (2000) se muestran en la Figura 1**Figura 1**. La mayor variación de los residuales se presenta en las partes superiores del fuste, principalmente en donde el ahusamiento comienza a ser menor. En las alturas inferiores e

intermedias, la estimación que genera el modelo seleccionado se aproxima a las observaciones reales (Figura 1). Lo contrario sucedió con los resultados de García *et al*. (2019), quienes encontraron una mayor variación en la parte más baja del fuste respecto a la más alta para la misma especie.

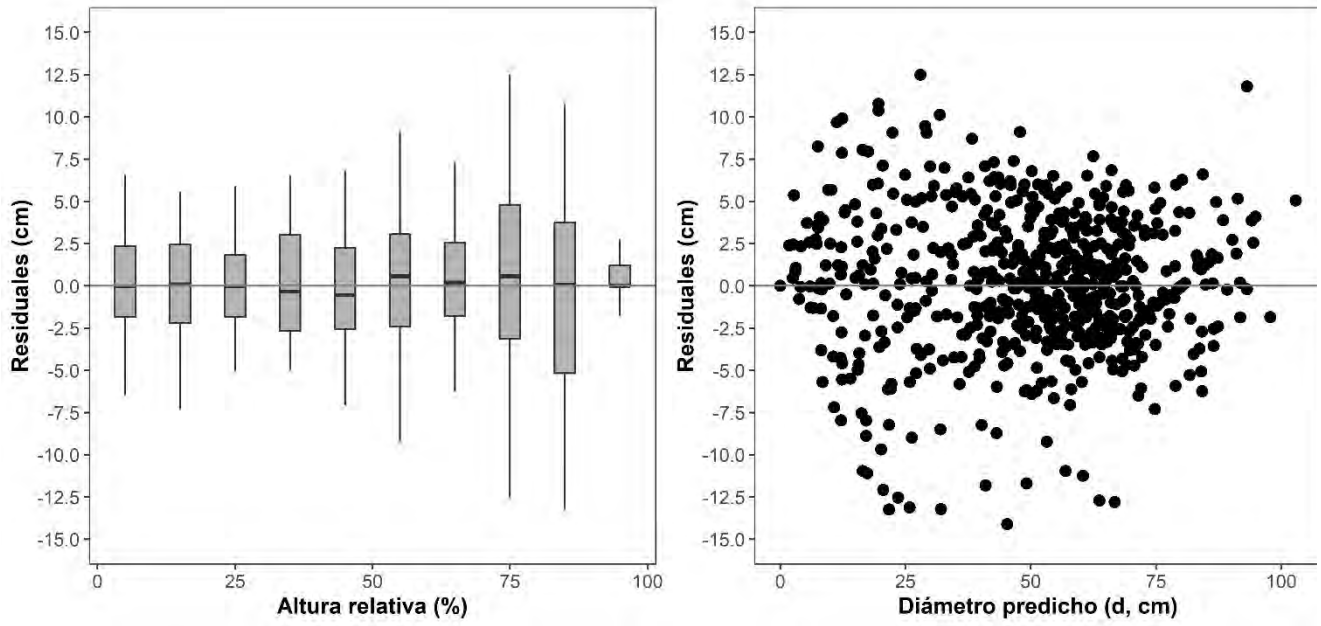


Figura 1. Panel izquierdo: gráfica de cajas y bigotes de los residuales respecto a las alturas relativas (h/H). Panel derecho: distribución de los residuales respecto a los valores predichos de d.

Los parámetros β_i del modelo de Fang *et al*. (2000) tienen la ventaja de describir los tipos de cuerpos dendrométricos que se ubican entre los dos puntos de inflexión. En la parte inicial del fuste se encontró un neiloide (factor de forma $= ff = 0.13$); mientras que la sección intermedia del fuste se encontró un $ff = 0.51$, el cual se asocia con un paraboloide y el último segmento se relacionó con un cono ($ff = 0.33$). La forma que predomina en los árboles analizados es de un cono ($ff = 0.33$), el cual fue diferente al encontrado por García *et al*. (2019), quienes asociaron una forma promedio de tipo paraboloide ($ff = 0.46$).

Una evaluación gráfica y visual se realizó para verificar el ajuste generado con el modelo segmentado de Fang *et al*. (2000). Se seleccionaron tres árboles de forma aleatoria para proyectar los valores reales y predichos por el modelo en mención. La predicción del perfil del

fuste fue adecuada para la parte inferior e intermedia de los árboles. Sin embargo, en la sección superior del fuste la predicción subestimó el ahusamiento en el "árbol 1" y la sobrestimó en el "árbol 2" (Figura 2). Esta falta de ajuste se notó principalmente después del segundo punto de inflexión estimado por el modelo.

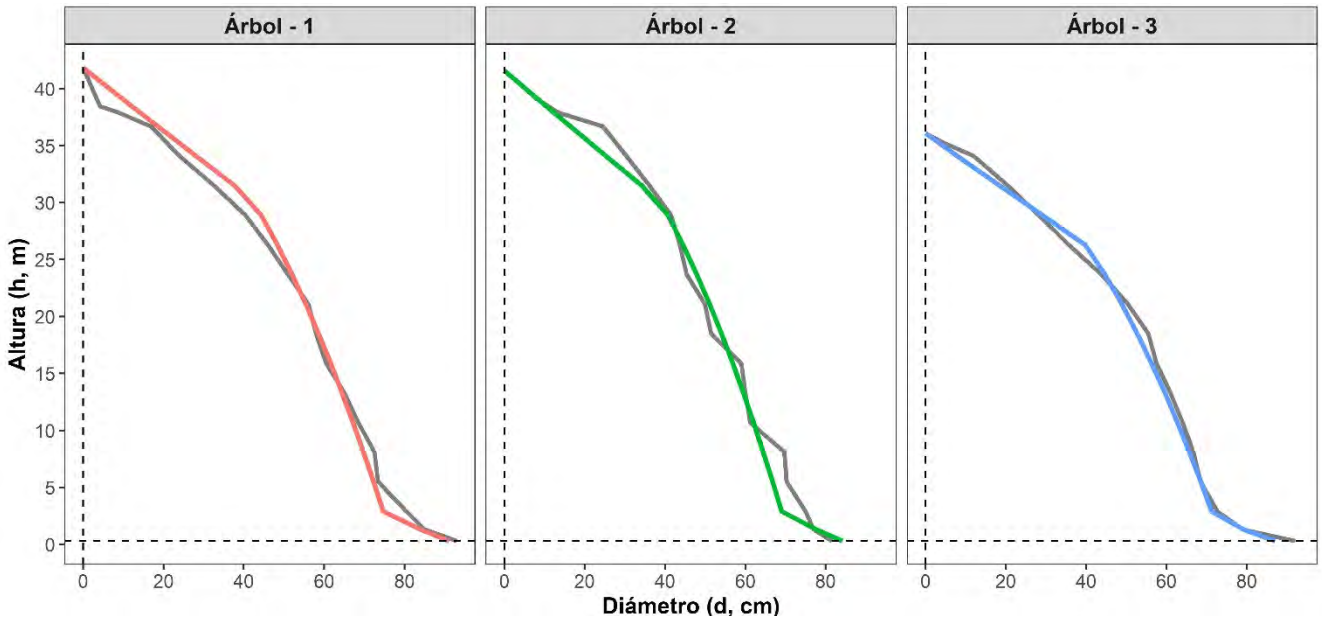


Figura 2. Ahusamiento observado (línea gris) y predicho (líneas roja, verde y azul) con el modelo de Fang *et al*. (2000) para tres árboles seleccionados al azar.

La forma del fuste y ahusamiento de los árboles es variable entre los individuos de la misma especie (Návar *et al*., 2013). Los patrones de variabilidad pueden ser resultado de las prácticas silvícolas que se ejecuten en los rodales bajo manejo forestal (García *et al*., 2019). Finalmente, las ecuaciones de ahusamiento son herramientas analíticas útiles para cuantificar la producción de las masas forestales (Vargas *et al*., 2017).

Conclusiones

Los modelos segmentados de ahusamiento fueron superiores en los indicadores estadísticos respecto a las ecuaciones simples y polinómicas. El modelo de Fang *et al*. (2000) mostró la mejor evaluación en las pruebas de bondad de ajuste, con el cual se pueden realizar

predicciones del diámetro a distintas alturas del fuste. Los resultados indicaron que los árboles analizados presentan factores de forma bajo, ya que en promedio mostraron un patrón cónico. El modelo de ahusamiento mejora la toma de decisiones para tener un mejor control en la planeación del manejo forestal, así como en las decisiones de la implementación de tratamientos silvícolas.

Literatura Citada

Cao, Q. V., H. E. Burkhart and T. A. Max 1980. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of Loblolly pine to any merchantable limit. Forest Science 26(1): 71-80.

CONABIO. 2022. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.snib.mx/ejemplares/descarga/ [consultado el 01 de junio de 2022]

Cruz, C. F., H. M. de los Santos P. y J. R. Valdez L. 2008. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. Agrociencia 42(4): 473-485.

Demaerschalk, J. P. 1972. Converting volume equations to compatible taper equations. Forest Science 18(3): 241-245.

Fang, Z., B. E. Borders and R. L. Bailey. (2000). Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. Forest Science 46(1): 1-12.

García, E. G. G., O. A. Aguirre C., B. Vargas L., L. Martínez Á., J. J. García M. y J. Hernández R. 2019. Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Agrociencia 53(1): 115-131.

Max, T. A. and H. E. Burkhart. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. Forest Science 22(3): 283-289.

McClure, J. P. and R. L. Czaplewski. 1986. Compatible taper equation for loblolly pine. Canadian Journal of Forest Research 16(6): 1272-1277.

Návar, J., F. de Jesús Rodríguez F. and P. A. Domínguez C. 2013. Taper functions and merchantable timber for temperate forests of northern Mexico. Annals of Forest Research 56(1): 165-178.

Parresol, B. R., J. E. Hotvedt and Q. V. Cao. 1987. A volume and taper prediction system for bald cypress. Canadian Journal of Forest Research 17(3): 250-259.

Poudel, K. P. and Q. V. Cao. 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. Forest Science 59(2): 243-252.

R Development Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. In R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Rentería, A. J. y H. Ramírez M. (1998). Sistema de cubicacion para *Pinus cooperi* blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en Durango. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 4(2): 315-321.

SNIF. (2022). Sistema Nacional de Información Forestal. México. Comisión Nacional Forestal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SNIF -Sistema Nacional de Información Forestal (cnf.gob.mx) [consultado el 1 de junio de 2022]

Vargas, L. B., J. J. Corral R., O. A. Aguirre C., J. O. López M., H. M. de los Santos P., F. J. Zamudio S. et al. 2017. SiBiFor: Sistema Biométrico Forestal para el manejo de los bosques de México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 23(3): 473-455.

Zepeda, B. M. y A. Domínguez P. 1997. Ecuaciones de ahusamiento para tres especies de pino, del ejido El Largo, Chihuahua. *In*: III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales 1997. Linares, Nuevo León, México.

Zhang, Y., B. E. Borders and R. L. Bailey. 2002. Derivation, fitting, and implication of a compatible stem taper-volume-weight system for intensively managed, fast growing loblolly pine. Forest Science, 48(3): 595-607.

PRODUCCIÓN DE CONOS DE *Pinus greggii* ENGELM., EN UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS/PROGENIE DE LA REGIÓN DE PEROTE, VERACRUZ

Elba Olivia Ramírez García[1*], Blanca Aidé Ceballos Martínez[2], Juan Alba Landa[1], Lilia Mendizábal Hernández[1], Juan Márquez Ramírez[1] y Héctor Cruz Jiménez[1]

Resumen

El impacto del cambio climático sobre la pérdida de la diversidad genética promueve la investigación sobre la biología de las especies, con la cual se podrán generar estrategias de manejo con el fin de aumentar, conservar o usar una especie. La modificación de los patrones de precipitación y aumento de temperatura tienen efectos sobre los organismos individuales, afectando su desarrollo, fisiología, reproducción y crecimiento. Los estudios sobre la producción de conos y semillas proporcionan información que permite elaborar estrategias de conservación y uso en algunas especies, por lo que se realizó el presente estudio con el objetivo de cuantificar la producción y ubicación de conos de los árboles, en un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm., a los 11 años de ser establecido en la localidad de Cerro de León, Veracruz. El ensayo se conforma de ocho bloques incompletos al azar, dos procedencias y 21 familias (Naolinco con 11 familias y Huayacocotla con 10), con cuatro y dos repeticiones por familia. Se contaron los conos de cada individuo componente del ensayo y para conocer la distribución de conos en la copa y determinar la zona de mayor producción, fue dividida visualmente en tres tercios definidos como zona inferior, intermedia y superior, en cada una de estas se realizó el conteo. Con los datos registrados se realizaron estadísticas descriptivas, análisis de varianza y prueba de comparación de medias, con el software Statistica. Naolinco resultó la procedencia con mayor promedio para la producción de conos (247), encontrando la familia 13 con la mayor producción (611). Se detectó que en la zona intermedia del árbol se concentra la mayor producción de conos en ambas procedencias y el análisis de varianza reveló diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$), entre

[1] Instituto de Investigaciones Forestales. *Autor de correspondencia: elramirez@uv.mx
[2] Fac. Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz, Méx.

procedencias y entre familias dentro de procedencias para la producción de conos. Este estudio brindará información útil para seleccionar los individuos con mayor producción de conos, de esta manera, a través de su selección y propagación se lograría un aumento en la producción de semillas ya que esta depende del número de conos y así garantizar su permanencia como fuentes parentales futuras.

Palabras clave: variación, distribución, estróbilos

Introducción

El impacto que tiene el cambio climático sobre la pérdida de la diversidad genética fomenta la investigación sobre la biología de las especies, con la cual se podrán generar estrategias de manejo con el fin de aumentar, conservar o usar una especie. La modificación de los patrones de precipitación y aumento de temperatura tienen efectos directos sobre los organismos individuales, afectando la abundancia de las poblaciones de algunas especies. En cuanto a los individuos, se ha encontrado que el cambio climático podría afectar su desarrollo, fisiología y su comportamiento durante las fases de reproducción y crecimiento (Uribe, 2015).

Las plantaciones forestales son una fuente para elevar la productividad y de conciliar la creciente demanda de productos y servicios forestales, reduciendo el impacto que se ejerce sobre los bosques naturales y de esa manera contribuir a su conservación como hábitat, fuente de diversidad genética y mejorar el clima (FAO, 2022).

Los estudios sobre la producción de conos y semillas se utilizan en los programas de manejo forestal, proporcionan información que permite elaborar estrategias de mejora genética en algunas especies, por lo tanto, es necesario generar información de estas características. Por lo anteriormente expuesto, la cuantificación individual de la producción de conos en un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm., brindará información útil para seleccionar los individuos con mayor producción de conos, de esta manera, a través de su selección y propagación se lograría un aumento en la producción de semillas ya que esta depende del número de conos y así garantizar su permanencia como fuentes parentales (Ramírez-García *et al*., 2013).

Objetivo

Evaluar la producción y ubicación de conos de los árboles, en un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm., establecido en la localidad de Cerro de León, municipio de Villa Aldama, Veracruz.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en el ensayo de procedencias/progenie de *P. greggii* Engelm., ubicado en el paraje La Gravera en Cerro de León, municipio de Villa Aldama, localizado en la parte alta de la región central (Capital) del estado de Veracruz. El Ejido Cerro de León se encuentra en la zona de influencia de la estación meteorológica de Perote, presenta un clima templado con lluvias de verano, una temperatura normal anual promedio de 12.7°C con variaciones que van de 4.4°C hasta 21°C, la precipitación normal anual es de 507.8 mm (COMAGUA 2021). El suelo es de tipo andosol, derivado de cenizas volcánicas y susceptibles a la erosión, en general son claros y pobres en materia orgánica. Cerro de León está a una altitud de 2380 m. Las coordenadas geográficas son 19°37' LN, 97°12' LO. El ensayo fue establecido en el año 2009, constituido por ocho bloques incompletos al azar, con cuatro y dos repeticiones, dos procedencias del estado de Veracruz; Huayacocotla con 10 familias y Naolinco con 11 familias (Alba-Landa *et al*., 2009), se realizó el conteo total de conos por cada árbol del ensayo (209 procedentes de Naolinco y 160 de Huayacocotla, en noviembre de 2020). Para determinar la distribución de los conos en la copa y la zona de mayor producción de los árboles, la copa fue dividida visualmente en tres tercios definidos como zona inferior, media y superior. En cada una de estas zonas se realizó el conteo de conos. Con los datos registrados en campo se estimaron estadísticas descriptivas y gráficos de barras con el paquete Statistica (Stat-Soft, 2010). La comprobación de la existencia de diferencias significativas, en la producción de conos, entre y dentro de procedencias, se realizó con el análisis de varianza y el procedimiento GLM (95% de confiabilidad), el modelo de efectos fijos utilizado fue: $Y_{ijk} = \mu + P_i + F_j (P_i) + \varepsilon_{ijk}$.

Dónde:

Y_{ijk} =Valor observado de la variable

μ = Media general

P_i = Efecto de la procedencia i-ésima

$F_j(P_i)$ = Efecto de la familia j-ésima dentro de la procedencia i-ésima

ε_{ijk} = Error experimental

Finalmente se utilizó la prueba de Tukey, para comparar medias de la producción de conos y determinar la diferencia entre familias y procedencias.

Resultados y Discusión

De los 369 árboles sobrevivientes a la fecha de evaluación, 224 presentaron producción de conos y en 145 árboles no se encontraron conos. La mayor cantidad de árboles que producen conos pertenecen a la procedencia de Naolinco (157) en comparación de la procedencia de Huayacocotla (67)

La producción promedio de conos para Huayacocotla fue menor (41) que la de Naolinco (247), Cuadro 1.

Cuadro1. Estadísticas descriptivas para la producción de conos de *P. greggii* por procedencia.

Procedencia	Promedio ± Desv. Est.	Suma	Mínimo	Máximo
Huayacocotla	41±27.37	414	6	85
Naolinco	247±189.08	2722	50	611

Huayacocotla fue la procedencia con menos producción de conos por familia, sobresalió la familia cuatro que presentó el máximo número de conos y las familias cinco, seis y ocho por presentar más de 45 conos (promedio general de la procedencia). Naolinco presentó familias con mayor producción de conos y las familias 12, 13, 16 y 19 presentaron más de 247 conos (promedio general para la procedencia), (Figura 1).

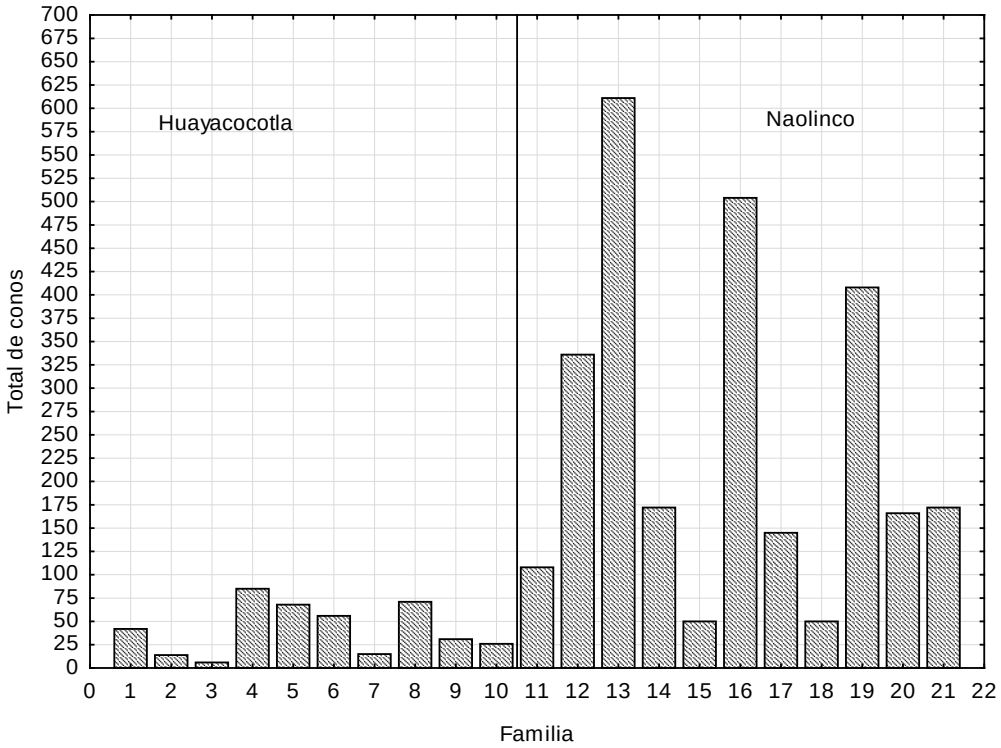


Figura 1. Total, de conos por familia dentro de procedencias.

En la evaluación se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre procedencias y entre familias dentro de procedencias para el potencial productivo de conos (Cuadro 2)

Cuadro 2. Análisis de varianza para producción de conos de *P. greggii*.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	P
Bloque	7	2148.18	307	1.35	0.22490
Procedencia	1	3307	3307	15	0.00017
Familia (Procedencia)	19	10988	578.32	3	0.00062
Error	196	44271.45	226		
Total	223	63444			

La comparación de medias (con un 95% de confiabilidad) entre procedencias mostró que la procedencia de Naolinco es significativamente diferente por presentar el mayor promedio para la producción de conos (17.33, grupo B), con respecto a la procedencia Huayacocotla (6.17, grupo A).

El análisis de Tukey evidenció la formación de diferentes grupos para la producción de conos entre las familias dentro de procedencias, la producción promedio de conos más baja la obtuvo la familia tres (grupo A) de la procedencia de Huayacocotla, y es diferente a las familias 19, 16 y 13 (grupos BCD, CD y D) de la procedencia de Naolinco, la familia 13 presentó el promedio más alto de la producción de conos (Cuadro 3). Los grupos con letras diferentes significan diferencias significativas.

Cuadro 3. Producción de conos por familia/procedencia.

Procedencia	Familia	Media	Grupos
Huayacocotla	3	3	A
Huayacocotla	10	3.8	AB
Huayacocotla	7	3.8	AB
Huayacocotla	1	4.20	AB
Huayacocotla	2	4.7	AB
Naolinco	15	5.6	AB
Huayacocotla	4	5.7	AB
Naolinco	18	7.14	ABC
Huayacocotla	9	7.8	ABC
Huayacocotla	8	7.9	ABC
Naolinco	17	8.05	ABC
Naolinco	11	9	ABC
Huayacocotla	6	9.33	ABC
Huayacocotla	5	9.8	ABC
Naolinco	21	13.23	ABC
Naolinco	20	13.9	ABC
Naolinco	14	14.33	ABC
Naolinco	12	19.8	ABCD
Naolinco	19	22.7	BCD
Naolinco	16	25.20	CD
Naolinco	13	32.15	D

En este estudio se encontró que los árboles varían en la producción de conos, aunque son de la misma edad, vigor y de una misma procedencia; sin embargo, factores genéticos y ambientales pueden ser causa de esta variación, Calma y Montero (2007) mencionan que la

cantidad de conos producidos de manera natural puede ser variable año tras año y que las plagas y depredaciones son factores que influyen en la producción. Son pocos los trabajos realizados sobre estas variables y uno de ellos es el de González *et al*. (2006) que coinciden con los resultados obtenidos en el presente trabajo, reportaron diferencias significativas en la producción de conos entre árboles de *Pinus cembroides*. Sin embargo, los trabajos realizados por Martínez *et al*., (2020) difieren con lo reportado con el análisis de *Pinus cooperi* y *Pinus durangensii*, y Domínguez *et al*., (2016), con *P. pseudostrobus.*

En cuanto a la distribución de los conos en la copa de los árboles de *P. greggii*, la mayor cantidad de conos se distribuyeron en la zona intermedia, seguido de la zona superior, por consiguiente, donde menos se distribuyeron fue la zona inferior (Figura 2).

Los resultados obtenidos para esta variable coinciden con los presentados por González *et al*. (2006), para *Pinus cembroides* mencionando que la distribución de los conos en la copa de los árboles se encontró en una transición del tercio medio al distal. De igual manera, Clarke y Malcolm (1998), reportaron que la mayor cantidad de conos tendían a concentrarse en la corona superior en los brotes distales. Probablemente lo anteriormente mencionado se deba a que de manera natural y fisiológica en los pinos se producen conos femeninos en las ramas de la zona intermedia, podría deberse a la luz solar, donde más se capta es en la zona media y superior de los árboles, incluso pudiese ser debido a la densidad en el que están situados los individuos en el ensayo de procedencias/progenie.

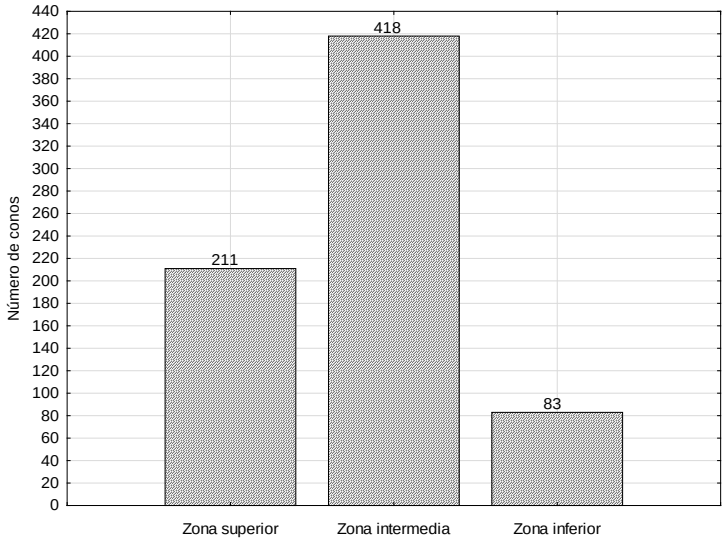


Figura 2. Distribución de conos en la copa de los árboles.

Conclusiones

La mayor cantidad de árboles que producen conos pertenecen a la procedencia de Naolinco. Huayacocotla fue la procedencia con menos producción de conos por familia. Se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre procedencias y entre familias dentro de procedencias para el potencial productivo de conos.

En cuanto a la distribución de los conos en la copa de los árboles de *P. greggii*, la mayor cantidad de conos se distribuyeron en la zona intermedia, seguido de la zona superior, por consiguiente, donde menos se distribuyeron fue la zona inferior.

Las diferencias reportadas por análisis de varianza y prueba de Tukey en el presente estudio permitirán seleccionar los progenitores sobresalientes en cuanto a la producción de conos.

Literatura Citada

Alba-Landa, J., J. E. Mundo Z., H. Cruz-Jiménez, E.O. Ramírez-García. 2009. Diseño y establecimiento de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm. Foresta Veracruzana. 11(1):39-42.

CONAGUA. 2021. Servicio Meteorológico Nacional. https://smn.conagua.gob.mx/es/. [Consulado 20 de mayo del 2022].

Calma, R. y Montero, G. 2007. Cone and seed production from stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Central Range (Spain) European Journal of Forest Research. 126(1):23-25.

Clarke, G. y Malcolm, D. 1998. Location of cones in the crown and along shoots of sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) and the influence of coning intensity and shoot size. Can. J. For. Res. 28:1756-1772.

Domínguez, C. P. A., J.J. Navar-Chaidez, M. Pompa-García, y E.J. Treviño-Garza. 2016. Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Foresta Veracruzana. 18(2): 29-36.

FAO. 2022. Versión resumida de El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles. Roma, FAO. 28 p. https://doi.org/10.4060/cb9363es [consultado 20 de mayo del 2022]

González-Ávalos, J., E. García-Moya, J.J. Vargas-Hernández, A. Trinidad-Santos, A. Romero Manzanares y V.M. Cetina-Alcalá. 2006. Evaluación de la Producción y Análisis de Conos y Semillas de *Pinus cembroides* Zucc. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 12(2), 133-138

Martínez, R. J. A, F. Cruz, C., J. G. Gurrola, A. y J.A. Nájera, L. 2020. Potencial productivo de conos y semillas de dos especies del género *Pinus*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 11(58):26-42

Ramírez-García, E.O., J. Sánchez, R., J. Márquez-Ramírez y H. Cruz-Jiménez. 2013. Características de estructuras reproductivas en progenitores seleccionados de *Pinus patula* Schtl. et Cham. Foresta Veracruzana 15(1): 37-44.

STATSOF INC. 2010. STATISTICA: Data Analysis Software System. Versión 10.

Uribe, B. E. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. CEPAL. Santiago de Chile, Chile. 86 p.

GENERALIDADES DE LA ANATOMÍA DEL *Quercus canbyi* Trel.

Vicenta Constante García[1]*, José Villanueva Díaz[1], Erika Nava Reyna[1], José Alberto Urrieta Velázquez[1] y Artemio Carrillo Parra[2]

Resumen

El género *Quercus* (encino) presenta una vasta diversidad de especies en México, además de un gran potencial maderero; no obstante, a la fecha no se cuenta con suficiente información acerca de sus crecimientos anuales y de anatomía de su madera, lo cual es relevante para su aprovechamiento y conservación. En este sentido, los estudios anatómicos de la madera pueden aportar información para implementar planes de manejo y evaluar su vulnerabilidad ante el cambio climático. El objetivo del trabajo fue determinar algunas características anatómicas tales como la distribución, diámetro y frecuencia de vasos, descripción de los radios y punteaduras de la especie *Quercus canbyi* Trel ubicado en el municipio de Iturbide, Nuevo León. Se realizaron cortes anatómicos a partir de tres árboles del encino. La medición de los rasgos se realizó con el programa ImageJ. La categorización de los rasgos anatómicos se efectuó siguiendo los criterios de la Asociación Internacional de Anatomistas de Madera (IAWA, por sus siglas en inglés). El Índice de Vulnerabilidad de Carlquist estimó el grado de seguridad o eficiencia de caudillaje de los elementos de conducción. En el plano transversal *Q. canbyi* evidencia poros solitarios de baja densidad (5 – 20 µm), una porosidad de tipo semi-anular, un índice de Vulnerabilidad de Carlquist mayor a 1.0. La madera temprana presenta generalmente una hilera de vasos de diámetros mayores (284 µm) a la madera tardía (125 µm), con una distribucion de vasos de tipo dendrítico. En el plano tangencial muestra radios uniseriados con una altura promedio de 7 célululas; con menos frecuencia presenta radios multiseriados (más de 10 células) predominantemente altos (mayores a 1 mm), además el sistema horizontal en este plano exhibe radios homogéneos con células procumbentes. Los

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. Canal Sacramento Km. 6.5, Gómez Palacio, Durango. *Autor de correspondencia: constante.garcia@inifap.gob.mx
[2] Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera (ISIMA), Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Boulevard del Guadiana 501, Ciudad Universitaria.

elementos de vaso presentan punteaduras opuestas de diámetros pequeños (4 a 7 µm), de forma rectangular y arregladas en filas horizontales. Se concluye que *Q. canbyi* presenta crecimientos anuales definidos. De acuerdo a la relación entre el diámetro y densidad de vasos, y la particularidad de ser una especie anisohídrica, ésta puede ser vulnerable ante eventos climáticos extremos como las sequías.

Palabras Clave: edad, encino, vasos, vulnerabilidad

Introducción

El género *Quercus* se extiende ampliamente en América (Nixon, 2006). El sur de México alberga la mayor diversidad de especies de encinos del continente Americano (Nixon, 2006), y se estima que en territorio mexicano, existen alrededor de 160 especies, de las cuales 109 son endémicas (Valencia, 2004). Esto significa que México posee entre 32.2 - 40.2% del total mundial y aproximadamente el 75% de las especies americanas. Por otra parte, el género *Quercus* es el segundo de mayor importancia forestal maderable después del *Pinus* (Pino); tan solo para el 2016, el pino presentó una producción maderera de 5.0 millones de m^3r (75%) y el encino con 0.7 millones de m^3r (11%) (SEMARNAT, 2016). Sin embargo, a pesar de su importancia maderable, en este género son escasos los estudios relacionados con la formación de crecimientos anuales (CONAFOR, 2013; Villanueva-Díaz *et al.*, 2021) a pesar de la gran diversidad que presenta (Valencia., 2004). El conocer la anatomía y definición de los incrementos anuales de este género, permitiría proponer mejores alternativas de uso y manejo (De la Paz-Pérez y Dávalos-Sotelo, 2008). De la misma forma, conocer las características y propiedades anatómicas de la madera de las especies de este género en su área de distribución, pudiera ayudar para entender la variabilidad geográfica de los elementos que la constituyen (Montaño-Arias *et al.,* 2011).

Por otra parte, ante el estrés hídrico un mayor diámetro de los vasos o traqueidas puede favorecer la ruptura de la fuerza de cohesión del líquido xilemático, permitiendo la entrada de aire en su interior, hasta producir una émbolo en las membranas del lumen, el cual interrumpen el movimiento ascendente del agua provocando la eventual muerte de tejidos hacia donde se

dirigía el líquido o inclusive este puede producir la muerte del árbol (Hacke y Sperry, 2001). Actualmente el embolismo es considerado uno de las principales causas de mortalidad de árboles en condiciones de sequía (Brodribb y Cochard, 2009; Anderegg *et al.*, 2016). Dato que se vuelve relevante ante un aumento en las temperaturas y sequías frecuentes intensas (IPCC, 2018; Allen *et al.*, 2021). Así, utilizando aspectos fundamentales del tejido de conducción tales como el diámetro y la frecuencia de los elementos traqueos se estima la vulnerabilidad a la sequía de las plantas (Carlquist, 1977). Esta información coadyuva a disponer de un mejor entendimiento de su vulnerabilidad y capacidad de resiliencia ante un clima cada vez más adverso (Chen *et al.,* 2017). Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar características anatómicas como el diámetro y densidad de los vasos para determinar la vulnerabilidad a la sequía, además, analizar la distribución de vasos para evidenciar los crecimientos anules, asimismo, describir algunas otras características como los rayos medulares relacionadas al uso de la madera de la especie *Q. canbyi* en el municipio de Iturbide, Nuevo León.

Materiales y Métodos

Se extrajeron pequeñas secciones de madera de la especie *Q. canbyi* a partir del fuste principal del encino, tomado a una altura de 1.30 m del suelo sobre el fuste principal del arbolado, el muestreo se llevó a cabo en el centro-sureste del estado de Nuevo León, específicamente en rodales de encino presentes en el municipio de Iturbide, dentro del Campus Ecológico Iturbide de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), en las coordenadas 24°42’27’’LN y 99°51’42’’LO. El área en general se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, sub-provincia Gran Sierra Plegada; la geología del sito de muestreo está compuesta por una serie de capas de roca sedimentaria surgida del lecho marino durante el cretácico superior (INEGI., 1986). El área de trabajo se encuentra dentro de un tipo de vegetación denominado Bosque Mixto de *Quercus* y *Pinus* (Salinas-Rodríguez *et al.*, 2013).
Los cortes anatómicos se realizaron a partir de tres árboles de la madera de *Q. canbyi* utilizando cubos con dimensiones de 2.0 x 2.0 cm (De la Paz-Pérez y Dávalos-Sotelo, 2008; Franke y Quenneville, 2011; Pacheco *et al.*, 2016). Una vez hecho el corte anatómico se

procedió a realizar un manchado o tinción utilizando los tintes safranina y Astar Blue. Posteriormente, se realizó el proceso de deshidratación, montado y secado de los cortes (Gärtner y Schweingruber, 2013). La medición de los rasgos anatómicos se llevó a cabo utilizando el programa ImageJ (http://imagej.nih.gov). La descripción, medición y categorización de los rasgos anatómicos se fundamentaron con base a los criterios definidos por el IAWA (IAWA, 1989). El Índice de Vulnerabilidad de Carlquist fue el resultado de dividir el diámetro promedio de vasos entre el número de vasos por mm^2 (Carlquist, 1977) .

Resultados y Discusión

En el plano transversal *Q. canbyi* exhibe la pared célular de las fibras, con mayor grosor al final de la madera tardía y de menor grosor en la madera temprana, contribuyendo a la defincion entre una banda y otra. Esta especie presentó poros solitarios en forma oval a circular, con una densidad de 12.08 /mm^2 (5 – 20 poros con poca densdiad), los cuales se exhibieron bajo un pantron de porosidad semi-anular (Figura 1a); los vasos ocasionalmente presentaron la presencia de tílides (Figura 1b). La madera temprana ostentó generalmente una hilera de vasos con mayor diámetro promedio (284.01 ± 46.52 µm) en relación al diámetro de los vasos de la madera tardía (124.62 ± 32.61 µm), la cual mostró una disposición de tipo dendrítico (Figura 1c). El Indice de Vulnerabilidad Calrquit presentó un valor mayor a uno (13.16). Con relación al plano tangencial, los elementos de vaso (Figura 1d) revelaron punteaduras opuestas de diámetro pequeño 4.61±1.38 µm (4 a 7 µm rango para la categoria de diámetros pequeños), de forma rectangular y arregladas en filas horizontales (Figura 1e). Dentro de este mismo plano, el parénquima del radio mostró una mayor densidad de radios uniseriados 25/mm^2, en comparacion con con los radios multiseriados con menos de un radio por mm^2: los pirmeros con una altura promedio de 8 células, mientras que los radios multiseriados contaron con altura promedio mayor a 1.0 mm y ocacionalmente se presentaron en agregados (Figura 1f y g). Finalmente, en el plano radial, los radios fueron homogéneos con céluas principalmente procumbentes y presencia de parenquima axial (Figura 1h).

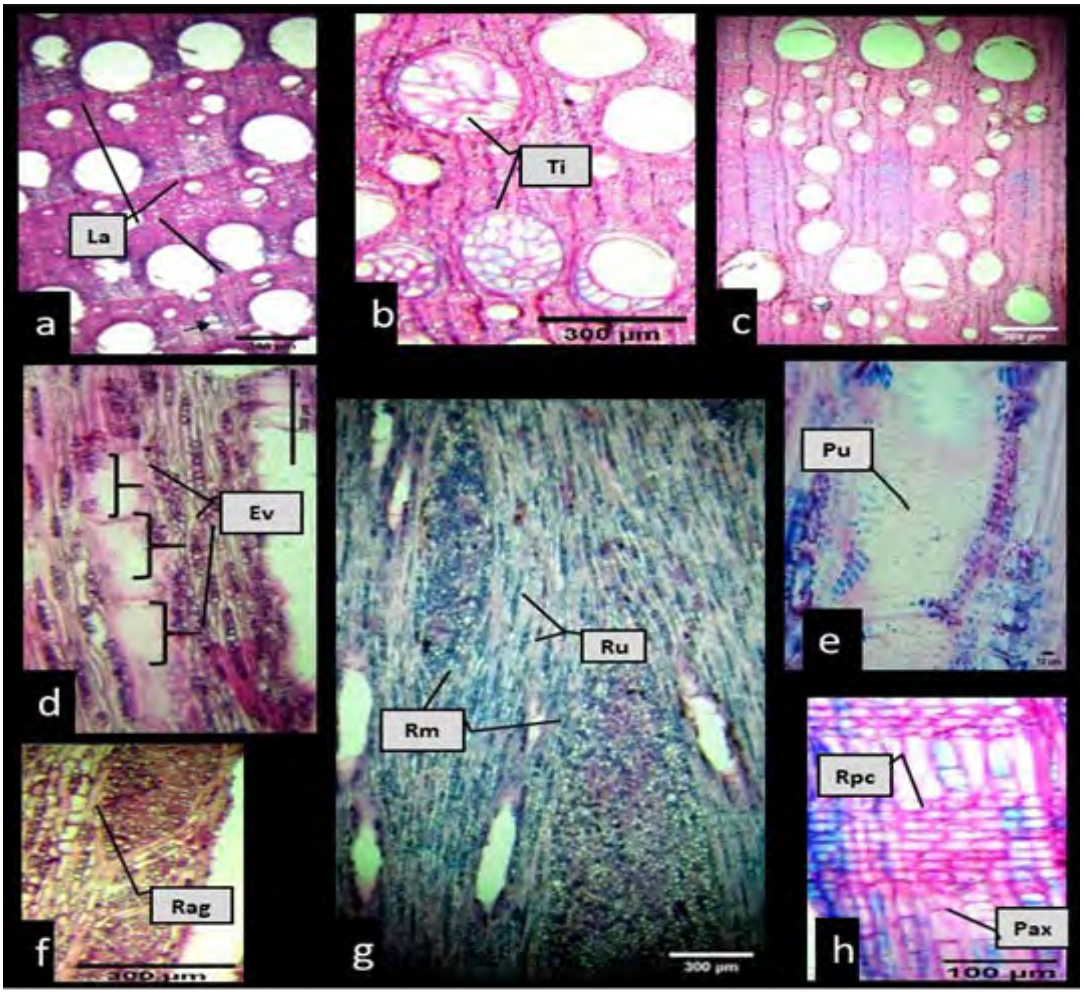


Figura 1. Composición anatómica de los anillos de crecimiento de *Q. canbyi* a) La = Limite del anillo demarcado por el grosor de fibras; b) Ti = Tílides en vasos; c) Distribución de poros en un arreglo dendrítico en un anillo anual; d) Ev = Elementos de vaso; e) Pu = Punteaduras de vaso; f) Reg = Rayos agregados; g) Rm = Radios multiseriados y Ru = Radios uniseriados; h) Rec = Radios procumbentes, Pax = Parénquima axial.

Los resultados de la composición anatómica en los diferentes planos de corte, así como la definición del crecimiento anual, fueron concordantes con las más de 20 especies de encino analizadas para México (De la Paz-Pérez y Quintanar-Isaias, 1994; De la Paz-Pérez y Dávalos-Sotelo, 2016). La forma oval y circular de los vasos y la presencia de tílides en *Quercus canbyi* fue también reportada en encinos del estado de Oaxaca (Ruiz-Aquino *et al.,* 2016). De acuerdo con un analisis en crecimeinto de angiospermas para el sur de México (Roig-Juñent *et al.,* 2012) el patrón semi-anular es determinante en la definicion de los crecimientos anuales del las angiospermas leñosas; aunado a esto, el grosor de la pared celular de las fibras ayudó a

delimitar con gran firmesa el límite entre las bandas interanuales y anuales de la especie en estudio. De acuerdo a la relación entre el diámetro de vaso y la densidad. La especie *Q. canbyi* se considera vulnerable a la cavitación en períodos de estrés hidrico, lo cual resulta relevante, ya que al ser una especie que no cierra sus estomas en períodos de sequía (Himmelsbach *et al.,* 2012), la vuelve vulnerable a eventos extremos con deficit de agua y de incrementos en temperatura. Por otra parte, el *Q. canbyi* presenta radios multiseriados, ligados principalmente al color, brillo, vetado y textura, características que proporcionan la apariencia hermosa y alto valor decorativo de las especies de encino (Díaz-Rivera, 2015). En general, la mayoría de las característica anatómicas muestran variaciones para las especies de encino consultadas (González y Eckstein, 2003; Gricar *et al.*, 2013; Ruiz-Aquino *et al.*, 2016; Souto, 2015).

Conclusión

Quercus canbyi forma anillos de crecimiento anual, los cuales se caracterizan por la presencia de vasos de tipo semi-anular, además de un patrón dendrítico en la madera tardía. La formación de crecimientos anuales permite determinar la edad de la especie, aspecto importante para un manejo sustentable y conservación de sus poblaciones. Por otra parte, la presencia de radios multiseriados asegura una belleza típica de la madera de encinos, no obstante, la densidad y diámetro de los vasos indica ser una especie vulnerable a sequías, por lo que se requiere de protección o manejo que asegure una baja competencia en las áreas en donde se distribuye.

Agradecimientos y fuente financiera

Los resultados son parte del proyecto fiscal No. 856534886 “Estudios dendrocronológicos de poblaciones de encino (*Quercus* spp) en el norte de México para reconstrucción de clima, biomasa y captura de carbono”.

Literatura Citada

Allen, S. K., V. Barros, I. Burton, D. Campbel., O.D. Cardona, S.L. Cutter, *et al.* 2021. Summary for Policymakers. p. 3–22. *In:* C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, y Q. Dahe (Eds.). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, (Vol. 9781107025,). Cambridge University Press. https://doi.org/:10.1017/9781009157896.001

Anderegg, W. R. L., T. Klein, M. Bartlett, L. Sack, A.F.APellegrini, B. Choat, B., y S. Jansen. 2016. Meta-analysis reveals that hydraulic traits explain cross-species patterns of drought-induced tree mortality across the globe. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 113(18)5024–5029. https://doi.org/10.1073/pnas.1525678113

Brodribb, T. J., y H. Cochard. 2009. Hydraulic failure defines the recovery and point of death in water-stressed conifers. Plant Physiology. 149(1)575–584. https://doi.org/10.1104/pp.108.129783

Carlquist, S. (1977). Ecological Factors in Wood Evolution: a Floristic Approach. American Journal of Botany. 64(7)887–896. https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb11932.x

Chen, L., J. G. Huang, K. J. Stadt, P.G. Comeau, L. Zhai, ADawson y S.A. Alam. 2017. Drought explains variation in the radial growth of white spruce in western Canada. Agricultural and Forest Meteorology. 233:133–142. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.012

CONAFOR. 2013. Importancia de los Encinos en el Manejo y Aprovechamiento Forestal. Foro: Manejo y aprovechaminto de Pino-Encino en el estado de Michoacan. https://slideplayer.es/slide/5399465/ Consultado el 20 Enero 2021

De la Paz-Pérez, C., y A. Quintanar-Isaias. 1994. Características anatómicas de la madera de cinco especies del estado de Jalisco, México. Acta Botanica Mexicana. 27:75. https://doi.org/10.21829/abm27.1994.711

De la Paz-Pérez, O. C., y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. Madera y Bosques.14(3)43–80. https://doi.org/10.21829/myb.2008.1431206

De la Paz-Pérez O. C. y R. Dávalos-Sotelo. 2016. Anatomía de la madera de seis especies de Pinus (Pinaceae) del estado de Durango, México. Madera y Bosques. 22(3)113–132. https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231460

Díaz-Rivera, E. 2015. Características Anatómicas, Físico-Mecánicas y Químicas de Quercus Rugosa y Quercus Eduardii de La Sierra Lobos, Guanajuato. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Franke, B. y P. Quenneville. 2011. Numerical Modeling of the Failure Behavior of Dowel Connections in Wood. Journal of Engineering Mechanics. 137(3)186–195. https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000217

Gärtner, H., y F. Schweingruber. 2013. Microscopic Preparation Techniques for Plant Stem Analysis. *In:* IAWA Journal (Vol. 34, Issue 4.). https://www.researchgate.net/publication/253341899_Microscopic_Preparation_Techniques_for_Plant_Stem_Analysis

González, I. G., y D. Eckstein. 2003. Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. Tree Physiology. 23(7)497–504. https://doi.org/10.1093/treephys/23.7.497

Gricar, J., M. De Luis, P. Hafner y T. Levanic. 2013. Anatomical characteristics and hydrologic signals in tree-rings of oaks (*Quercus robur* L.). Trees - Structure and Function. 27(6)1669–1680. https://doi.org/10.1007/s00468-013-0914-9

Hacke, U. G., y S.J. Sperry. (2001). Functional and ecological xylem anatomy. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 4(2)97–115. https://doi.org/10.1078/1433-8319-00017

Himmelsbach, W., E.J. Treviño-Garza, H. González-Rodríguez, M.A. González-Tagle, M.V. Gómez Meza, O.A Aguirre Calderón, Eduardo Estrada Castillón, A., y R. Mitlöhner. 2012. Acclimatation of three co-occurring tree species to water stress and their role as site indicators in mixed pine-oak forests in the Sierra Madre Oriental, Mexico. European Journal of Forest Research. 131(2)355–367. https://doi.org/10.1007/s10342-011-0507-3

IAWA. (1989). IAWA List of Microscopic Features for Hardwood Identification. International Association of Wood Anatomists (IAWA). IAWA Bull. 10(3)219–332. https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA list of microscopic features for hardwood identification.pdf

INEGI. (1986). Síntesis geográfica del estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto. http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/mapas/1728-OYB-7212-A.jpg

Montaño-Arias, S., S. Camargo-Ricalde, R. Grether y C. De la Paz Pérez-Olvera. 2011. La madera en función del ambiente: un análisis ecoanatómico. Elementos: Ciencia y Cultura, 18(83)19–23. www. e l e me n t o s .buap.mx

Nixon, K. C. 2006. Global and Neotropical Distribution and Diversity of Oak (genus *Quercus)* and Oak Forests. In Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests. 185:3-13. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/3-540-28909-7_1

Pacheco, A., J.J. Camarero y M. Carrer. 2016. Linking wood anatomy and xylogenesis allows pinpointing of climate and drought influences on growth of coexisting conifers in continental Mediterranean climate. Tree Physiology. 36(4)502–512. https://doi.org/10.1093/treephys/tpv125

Roig-Juñent, F. A., J. Villanueva-Díaz, J.J. Jiménez-Osornio,W.J. Hayden, J. Barajas-Morales y B.H. Luckman. 2012. Anatomía de maderas en comunidades rurales de Yucatán. Libro Cientifico No. 4. SAGARPA. INIFAP. CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango, México.

Ruiz-Aquino, F., M.M. González-peña, J.l.Valdez-hernández y A. Romero-manzanares. 2016. Estructura anatómica de la madera de dos encinos de Oaxaca. 22:177–189.

Salinas-Rodríguez, M. M., E. Estrada-Castillón y J.A. Villareal-Quintanilla. 2013. Flora And Phytogeography of The Cañon de Iturbide, Nuevo Leon, Mexico. Journal of the Botanical Research Institute of Texas, 7(2)803–819.

SEMARNAT. 2016. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadera 2016. Dierección General de Gestión Forestal y de Suelos, 1:1–156. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/%0Ahttp://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario-agricola-ganadera2016_210917_0.pdf

Souto, H. . 2015. Análisis espacio-temporal de los vasos primaverales de *Quercus robur* L. y *Quercus pyrenaica* Willd.: Respuesta al estrés climático en la transición atlántico mediterránea. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España. 211p http://hdl.handle.net/10347/14755.

Valencia., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Botanical Sciences. 53(75)33. https://doi.org/10.17129/botsci.1692

Villanueva-Díaz, J., A.R. Martínez-Sifuentes, G. Quiñonez-Barraza, J. Estrada-Ávalos, E.R. Perez-Evangelista, F Del R. Reyes-Camarillo y R. Reyes-Camarillo. 2021. Annual radial growth and climatic response of *Quercus crassifolia* bonpl. in northwestern Durango, Mexico. Trees - Structure and Function. 35(3)783–798. https://doi.org/10.1007/s00468-020-02077-5

IMPORTANCIA CULTURAL DE ESPECIES DE SOMBRA EN CAFETALES DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA

Luis Eduardo García Mayoral[1]*, Luis Antonio Gálvez Marroquín[1], Finlandia Barbosa Moreno[1], Ubaldo Edgar López Lobato[2], Martha García Sibaja[3] y Rosalío López Morgado[4]

Resumen

El estado de Oaxaca cuenta con la mayor riqueza de plantas vasculares del país, los agroecosistemas cafetaleros se desarrollan en ambientes con una diversidad biológica elevada, que ofrecen una amplia gama de beneficios o servicios a sus pobladores. El conocimiento de la riqueza biológica y cultural es fundamental para proponer alternativas de manejo forestal sustentable, el objetivo de esta investigación fue identificar las especies arbóreas más útiles, a través del cálculo del Índice de Importancia Cultural (IIC) en cuatro municipios productores de café de la región Mixteca del estado de Oaxaca, mediante talleres participativos y entrevistas semiestructuradas con productores y productoras de café. Se registraron 101 nombres comunes de árboles y se determinaron taxonómicamente 69 hasta especie, 11 hasta género, se registraron un total de 16 diferentes usos para especies arbóreas presentes en cafetales; el más importante fue el uso dendroenergético; el 75% de las especies registradas se aprovechan para leña, los géneros *Inga* spp. y *Quercus* spp. destacan por su frecuencia de mención; el segundo uso más importante fue la sombra para el cafetal el cual registro el 66% de las especies y el tercer uso fue el alimenticio con el 42% del total de las especies mencionadas, donde las más representativas son *Diphysa robinioides, Psidium guajava, Mangifera indica, Citrus sp, Casimiroa sapota*. Las familias con mayor IIC fueron Fabaceae (10.6) y Fagaceae (9.4), ambas representadas por seis especies cada una. Las especies más valoradas por los productores de café fueron *Diphysa robinioides* Benth. (nueve

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. *Autor de correspondencia: garcia.eduardo@inifap.gob.mx
[2] Técnico Agroecólogo del Programa Producción para el Bienestar.
[3] Estudiante residente de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García sede Tlacolula de Matamoros.
[4] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla- Sitio Experimental Teocelo.

usos), Inga spp. (ocho usos), *Quercus crassifolia* (ocho usos), *Heliocarpus donnellsmithii* (siete usos) y *Pinus* spp. (cinco usos). Lo cual refleja una amplia diversidad de especies y un gran conocimiento de éstas por parte de los habitantes de las comunidades, es importante que estas especies de usos múltiples sean conocidas, a fin de promover su conservación y aprovechamiento sustentable.

Palabras clave: árbol, usos, valor de uso, frecuencia de mención

Introducción

A nivel nacional el cultivo de café es el quinto más importante en cuanto a superficie sembrada; las condiciones geográficas, socioeconómicas y culturales en donde se cultiva el café son muy diversas siendo los principales estados productores por superficie cosechada Chiapas (37.3%), Veracruz (19.7%) y Oaxaca (17.6%) (SIAP, 2021); asimismo, es un sistema producto con mayor cantidad de unidades de producción, lo cual hace que sea considerada una actividad estratégica, debido a que permite la integración de cadenas productivas, la generación de divisas y empleos, además de ser el modo de subsistencia de muchos productores de bajos ingresos y de alrededor de 30 grupos indígenas (López y Díaz, 2021).

En México la manera tradicional de cultivar café es en asociación con especies arbóreas y arbustivas, que generan interacciones positivas entre los diferentes componentes del agroecosistema (Moguel y Toledo, 2004); al generar ingresos diversificados y con menor riesgo, lo cual refleja el desarrollo de una agroforestería incipiente que se fundamenta en saberes campesinos (Budowski, 1993); los cuales incluyen conocimientos de usos, fenología, distribución y características de las especies arbóreas asociadas al cafetal (López *et al*., 2013). Existen algunos trabajos que documenten la diversidad de especies arbóreas en cafetales (Soto *et al*., 2001; Villavicencio y Valdez, 2003; Méndez *et al.*, 2007; García *et al*., 2015), sin embargo, son pocos estudios que mencionan la relación de las comunidades con sus recursos naturales y sus conocimientos locales; en la región Mixteca de Oaxaca existen estudios que son principalmente enfocados a las plantas y su uso como alimento (De Ávila, 2004; Caballero *et al*., 2004), o enfocados a sitios específicos que registran la enorme diversidad de plantas

(Casas *et al*., 1996; Katz 1997; Reyes, 1993; García *et al*., 2004), que dejan fuera el enfoque etnobiológico.

La etnoecología se enfoca en el estudio de los sistemas de conocimiento, prácticas y creencias que los diferentes grupos humanos tienen sobre su medio ambiente (Toledo, 2002). Así, la etnoecología aporta cada vez más, de manera relevante, herramientas y métodos para estudios relacionados con la interacción de las familias rurales y el medio ambiente (Padilla, 2007). La etnobotánica, como parte de la etnoecología, estudia lo concerniente al conocimiento y sus relaciones con las plantas por parte de un entorno comunitario de población local (Flores y Albizu, 2005), donde el análisis cuantitativo de tales relaciones de la gente con las plantas, suele aportar herramientas para medir el valor de uso de las especies vegetales para una comunidad (Padilla, 2007).

Algunos recursos vegetales silvestres están gravemente amenazados por la pérdida de hábitat y la sobreexplotación selectiva de especies, además de que el conocimiento local sobre sus usos y aprovechamiento sustentable, está desapareciendo rápidamente del entorno de las comunidades rurales. En un contexto de conservación y uso sostenible de los recursos vegetales, la etnobotánica cuantitativa puede contribuir como base científica para la toma de decisiones (Höft *et al*., 1999), basándose en la premisa de que un alto valor de importancia de determinadas especies, indica mayor presión de uso y extracción del recurso vegetal, vía especies muy singulares por sus caracteres.

Existen diversos índices de importancia cultural, los cuales son medidas cuantitativas diseñadas para transformar el complejo concepto multidimensional de “importancia” en escalas o valores numéricos estandarizados y comparables. El grupo de métodos que ha tenido más influencia para el cálculo de la importancia cultural, es el de “consenso de informantes”, basado en el supuesto de que la frecuencia de mención es un indicador de importancia; cada mención para cierta planta se registra por separado y se refiere como un "evento", y la misma planta y el mismo informante puede participar en muchos eventos (Hoffman y Gallaher, 2007).

Con base en lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo identificar y calcular la importancia de las especies vegetales útiles en los diferentes sistemas agroforestales de café, para incorporar el conocimiento tradicional a los procesos de investigación y así contribuir a generar y establecer bases para el diseño de nuevas propuestas agroforestales; ya que la diversidad de especies arbóreas presentes en el estrato de sombreado es amplia, sin duda

cuenta con algún atributo que le permite ocupar un espacio en el cafetal, atributos diversos de uso actual, ya sea como sombra, madera, leña, alimento, medicina, ceremonial y ornamental, entre otros.

Materiales y Métodos

En cuatro municipios del estado de Oaxaca, ubicados en la región mixteca (Santa Maria Yucuhiti, Santiago Nuyoo, Heroica Ciudad de Tlaxiaco y Santa Lucia Monte Verde), se realizaron talleres de evaluación rural participativa con la finalidad de conocer la importancia cultural que los cafeticultores dan a las especies arbóreas nativas presentes en el cafetal, recabándose la información en una base de datos con los usos de las especies, su frecuencia de mención y valoración cuantitativa que dan a cada uso. Por cada especie se calculó el índice de importancia cultural (IIC), la metodología implica calcular antes los parámetros que se describen a continuación:

Intensidad de uso *(Iu)*: porcentaje de usos en los que aparece una especie.

$$Iu = \left(\frac{u_z}{u}\right)100$$

Dónde:

u_z = número de usos de la especie *z* para todos los informantes.

u = número total de usos mencionados.

Frecuencia de mención *(Fm)*: sumatoria de menciones para una especie, en todos los usos y de todos los informantes.

$$Fm = \Sigma\, m_x$$

Dónde:

m_x = número de menciones por todos los informantes para el uso *x* de la especie *z*.

Valor de uso x *(Vux)*: porcentaje de usos en los que aparece una especie para un uso determinado.

$$Vu_x = \left(\frac{u_{zx}}{u_x}\right)100$$

Dónde:

u_{zx} = número de menciones de la especie z para un uso x por todos los informantes.

u_x = número total de menciones de todas las especies para un uso *x* por todos los informantes.

Con Vu_x se obtuvo el **valor de uso total de la especie z** *(Vu_{tz})*, el cual es la sumatoria de los valores de uso x de una especie:

$$Vu_{tz} = \Sigma Vu_x$$

Para finalmente calcular el **índice de importancia cultural** (IIC) propuesto por Figueroa (2000) y modificado por López y Valdez (2011), el cual tiene un cálculo semejante al índice de valor de importancia el cual es un índice estructural desarrollado por Curtis y McIntosh (1951), para jerarquizar la dominancia de cada especie en rodales mezclados, por lo que de esta manera es posible realizar comparaciones entre el valor cultural dado por las personas y el valor ecológico dado por la interacción de las plantas con su ambiente en trabajos posteriores.

$$\boldsymbol{IIC = (Iu\,rel + Fm\,rel + Vu_{tz}rel)/3}$$

Intensidad de uso relativa:

$$Iu\,rel = \left(\frac{u_z}{u_t}\right)100$$

Dónde:

u_z = número de usos de la especie *z* para todos los informantes.

u_t = número total de usos para todas las especies y todos los informantes.

Frecuencia de mención relativa:

$$Fm\,rel = \left(\frac{Fm}{Fm_t}\right)100$$

Dónde:

Fm = frecuencia de mención.

Fm_t = número total de menciones para todas las especies, todos los usos y todos los informantes.

Valor de uso total relativo:

$$Vu_{tz}\,rel = \frac{Vu_{tz}}{u}$$

Dónde:

Vutz = valor de uso total de la especie z.

u = número total de usos mencionados.

Área de estudio: El estado de Oaxaca se caracteriza por contar con el mayor número de municipios en el país, la región mixteca ocupa 189 municipios, sin embargo, en región Mixteca los municipios productores del aromático son: Putla Villa de Guerrero, Santa Cruz Itundujia, Santa María Zacatepec, Santiago Nuyoó, Santa Lucía Monteverde, La Reforma, Santa María Yucuhiti, San Andrés Cabecera Nueva, Constancia del Rosario y Heroica Ciudad de Tlaxiaco. En la Figura 1 se muestra el área de estudio que comprende cuatro municipios productores de café.

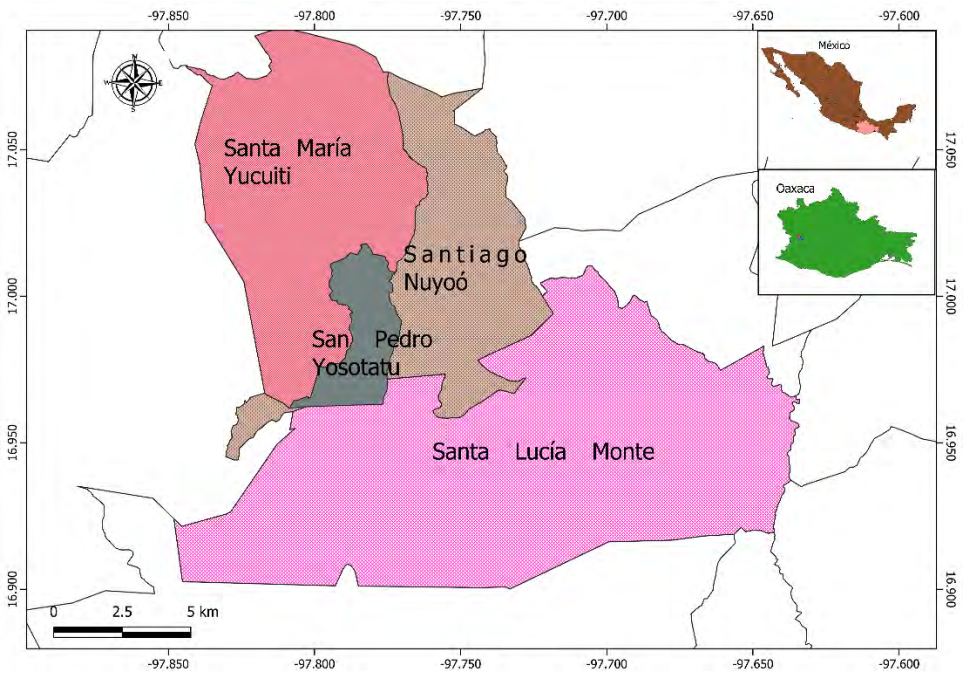


Figura 1. Municipios de estudio en la región Mixteca del estado de Oaxaca.

En el área de estudio se presenta el parteaguas entre tres cuencas hidrológicas, la parte noreste pertenece a la cuenca del Balsas y el resto se divide entre la cuenca del Rio Verde y del Rio Atoyac (CONAGUA, 2007). En la primera dominan los suelos del tipo Litosol con una textura media. En el resto del territorio, el suelo predominante es un Regosol lítico con textura media. Los climas registrados en esta área son: templado subhúmedo C(w2), semicálido húmedo (A)C(w) y cálido húmedo Am. La vegetación debido a lo abrupto del territorio y la variación altitudinal que éste presenta. (desde el nivel del mar, en la costa, hasta superar los tres mil metros, en las partes montañosas), se pueden encontrar matorrales xerófilos y selvas bajas caducifolias en las partes bajas; bosques de encinos, encino - pino y pino en las partes

más altas y templadas; así como otros tipos de vegetación importante como algunos reductos de bosques mesófilos de montaña, bosques de táscate y chaparrales (Rzedowski, 2006).

Talleres y entrevistas. Con el fin de obtener información del manejo forestal en los diferentes sistemas, se llevaron a cabo talleres con productores de café donde se les hacían las preguntas ¿Qué arboles tiene presente en su cafetal?, ¿Qué usos tiene dicho árbol?, Durante los talleres se identificaron informantes clave a los cuales se les aplicaron entrevistas semiestructuradas, tomando como rango de edades a productores de 20 a 60 años. En la entrevista se tomaron datos generales tales como: nombre del productor, edad, superficie agrícola y forestal aprovechada que a lo largo del año es necesaria y permite obtener ingresos económicos. De la misma forma la entrevista incluyó un apartado específico del manejo forestal y su aprovechamiento a lo largo del año, y del conocimiento de las diferentes especies arbóreas, basado en la utilidad que tienen a estas especies forestales a través del tiempo, esto con el fin de obtener el índice de valor cultural de las especies arbóreas.

Las especies mencionadas fueron determinadas taxonómicamente mediante recorridos de campo apoyados de guías de identificación (Pennington y Sarukhan 2005; Rodríguez *et al.,* 2009), además para algunos especímenes se recolectó material botánico y se cotejo en el herbario XAL del INECOL.

Resultados y Discusión

Se realizaron cuatro talleres donde se tuvo una participación de 197 personas, de las cuales 116 fueron hombres y 81 mujeres, el 80% de los entrevistados sobrepasaron los 50 años de edad. Además, se entrevistó a 15 informantes clave los que apoyaron en recorridos, identificación de especies y valoración en cuanto a tres usos: calidad de madera, leña y sombra para el cafeto. Los participantes en los talleres mencionaron 101 nombres comunes de árboles tanto en español como en mixteco, pertenecientes a 31 familias, y 64 géneros, de los cuales se logró identificar hasta especie 69; 12 hasta género y 11 hasta familia; no se lograron determinar taxonómicamente 5 morfoespecies. La familia de mayor importancia cultural fue la Fabaceae con el mayor IIC (10.63) representada por seis especies, seguida de la familia

Fagaceae con un ICC de 9.43 representada de igual manera por seis especies. En el Cuadro 1 se puede observar la distribución del IIC por familia.

Cuadro 1. Principales familias encontradas en cafetales de la región Mixteca de Oaxaca.

Familia	Sp.	No. usos	Iu rel.	Fm rel.	Vutz rel.	IIC
Fabaceae	6	6	9.24	11.87	10.78	10.63
Fagaceae	6	6	8.40	8.62	11.27	9.43
Rutaceae	3	3	4.48	8.75	4.18	5.80
Malvaceae	3	3	3.08	3.30	7.96	4.78
Pinaceae	4	4	3.64	4.04	4.99	4.22
Myrtaceae	2	2	2.80	5.50	3.53	3.94
Lauraceae	3	3	2.80	3.55	1.63	2.66
Sapindaceae	2	2	2.24	3.00	2.21	2.48
Rosaceae	2	2	2.52	3.24	1.66	2.48
Anacardiaceae	1	1	1.68	4.16	1.33	2.39
Otras 21 familias	69	5	59.10	43.98	50.46	51.18
Total	**101**	**16**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**

La distribución de las principales familias respecto a su IIC, coincide con lo reportado por García *et al*., 2021 en la región central de Veracruz, al ser la misma familia la que acumula el mayor IIC= 27.7, solamente que para esa región es representada por 8 especies de las 38 reportadas en total. Lo cual denota una fuerte valoración de los cafeticultores de la zona centro de Veracruz a especies de leguminosas. Si bien en la región Mixteca la segunda familia en orden de importancia son los encinos los cuales son bastante valorados al igual que las leguminosas, es posible observar que existe mayor equidad en la valoración de la distribución de la importancia; lo que expone un grado mayor de diversidad cultural en la valoración y conocimiento de especies arbóreas en cafetales.

Existe una relación positiva entre la proximidad del cafetal a la comunidad, su riqueza en agrobiodiversidad y el nivel de presión sobre los recursos del agroecosistema café. La presión generada sobre la agrobiodiversidad del cafetal por la obtención de recursos vegetales, es una variable importante para la formulación de hipótesis etnoecológicas (Jiménez y Rangel, 2012), considerando que en función del uso real y el conocimiento de uso pueden generar efectos positivos o negativos en el uso sostenible de las especies. Si bien las dos especies más

valoradas por productores de café de la región mixteca coinciden con las mismas especies de la zona centro del estado de Veracruz según lo reportado por García *et al*., 2021, lo cual denota que las comunidades rurales productoras de café desempeñan un papel operante en la preservación de los recursos naturales, uniéndose con apego y conocimiento a los procesos ecológicos que definen los recursos vegetales locales, con los cuales satisfacen necesidades básicas y culturales.

Se registraron especies con frecuencia de mención y abundancia baja (Cuadro 2), raramente presentes en las fincas de café, que sin embargo, son importantes para la comunidad, tales como *Bursera simaruba*, *Quercus magnoliifolia*, *Trema micrantha* o *Cecropia obtusifolia,* que son especies con un IIC alto debido a la cantidad de usos, pero que sólo fueron mencionadas en no más de uno o dos municipios, lo que podría indicar la necesidad de realizar acciones en pro de una mayor difusión de sus atributos para promover su uso y preservación.

Cuadro 2. Especies con mayor importancia cultural (IIC) en la ZCEV.

Familia	Nombre común	Nombre científico	Municipio de mención	No. usos	IIC
Fabaceae	Guachipil	*Diphysa robinioides* Benth.	1,2,3,4	9	**3.83**
Fabaceae	Cuajinicul	*Inga* spp.	1,2,3,4	8	**3.43**
Fagaceae	Encino negro	*Quercus crassifolia* Humb. Et. Bonpl.	1,2,3,4	8	**3.39**
Malvaceae	Gusanillo	*Heliocarpus donnellsmithii*	1,3,4	7	**3.21**
Pinaceae	Ocote	*Pinus teocote* Schltdl. & Cham.	1,2,3,4	5	**2.47**
Rutaceae	Zapote blanco	*Casimiroa sapota* Oerst.	1,2,3,4	8	**2.46**
Anacardiaceae	Mango	*Mangifera indica* L.	1,2,3,4	6	**2.39**
Myrtaceae	Guayaba	*Psidium guajava* L.	1,2,3,4	4	**2.18**
Rutaceae	Naranja	*Citrus* sp.	1,2,3,4	5	**2.11**
Burseraceae	Mulato	*Bursera simaruba* (L.) Sarg.	1	6	**2.02**
Sapindaceae	Guananche	*Cupania glabra* Sw.	1,2,3	5	**2.01**
Fagaceae	Encino amarillo	*Quercus magnoliifolia* Nee	1,3	7	**1.98**
Oleaceae	Fresno	*Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh.	1,2,3,4	6	**1.95**
Fagaceae	Encino rojo	*Quercus eliptica* Née	1,3	6	**1.91**
Bignoniaceae	Tronadora	*Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth	1,2,3,4	5	**1.88**
		Otras 86 especies			
		TOTAL			

ICC: Índice de Importancia Cultural. 1=Santa Ma. Yucuhiti; 2=Santiago Nuyoo; 3=San Pedro Yosotatu; 4=Sta. Lucia Monteverde.

Los principales usos descritos por los productores de café fueron: leña, sombra, alimento, materia orgánica y melífero; estos cinco usos de los 16 registrados en total, representan el 75% de las menciones registradas. Lo anterior se puede explicar por las condiciones geográficas y sociales que imperan en la zona de estudio, a diferencia de otras regiones cafetaleras el uso maderable de los arboles no está considerado entre los más significativos (Cuadro 3), para la región Mixteca el uso dendroenergético es el más importante.

Cuadro 3. Usos registrados de los árboles de sombra en cafetales de la región mixteca.

Clave	Uso	Menciones		Especies más usadas
		Total	%	
Le	Leña	126	23.42	*Inga* spp., *Quercus* spp., *Psidium guajava, Alnus acuminata*
So	Sombra	107	19.89	*Inga* spp., *Alnus acuminata*, *Quercus crassifolia*
Al	Alimento	73	13.57	*Diphysa robinioides, Psidium guajava, Mangifera indica, Citrus* sp, *Casimiroa sapota*
Mo	Materia orgánica	60	11.15	*Inga* spp. *Alnus acuminata*, *Cupania glabra, Heliocarpus donnellsmithii*
Ml	Melifero	40	7.43	*Heliocarpus donnellsmithii*, *Cupania glabra*
Md	Medicinal	37	6.88	*Psidium guajava, Croton draco*
Ma	Madera	37	6.88	*Diphysa robinioides*, *Pinus* spp., *Cedrela odorata*, *Fraxinus uhdei*
Av	Aves	12	2.23	Inga spp., *Bursera simaruba*, *Cecropia obtusifolia*, *Eriobotrya japónica*, *Zyzygium jambos*
Po	Postes/orcones	8	1.49	*Quercus crassifolia*
Fo	Forraje	8	1.49	*Diphysa robinioides*, *Heliocarpus donnellsmithii*
Ho	Hongos	7	1.30	*Quercus* spp., *Diphysa robinioides*, *Cupania glabra, Maclura tinctoria*, *Trema micrantha*
Fa	Fauna	6	1.12	*Ficus sp*., *Cecropia obtusifolia*, *Arbutus xalapensis*, *Brysonimia crassifolia*
In	Insectos	6	1.12	*Heliocarpus donnellsmithii*
Cr	Ceremonial	5	0.93	*Brysonimia crassifolia*, *Attalea butyracea*, *Pinus* sp.
Or	Ornamental	4	0.74	*Plumeria rubra*, *Jacaranda mimosifolia*
Cv	Cercas vivas	2	0.37	*Bursera simaruba*, *Ceiba pentandra*

Conclusiones

En la región Mixteca de Oaxaca las especies arbóreas con mayor valor cultural en los cafetales son: *Diphysa robinioides*, *Inga* spp., *Quercus crassifolia, Heliocarpus donnellsmithii y Pinus teocote,* siendo el uso dendroenergético el de mayor importancia seguido por el uso de la sombra y como fuente de alimentos.

Existe una gran diversidad de especies arbóreas de usos múltiples; el 63% de las especies solo fue mencionado en un municipio lo que denota la elevada tasa de cambio y la riqueza cultural generada por la heterogeneidad de las condiciones ambientales.

Es de suma importancia conocer las especies más valoradas en los cafetales, a fin de propiciar su aprovechamiento sustentable ya que dichas especies tienen mayor presión de extracción; lo que las hace propensas a mermar sus poblaciones.

Literatura Citada

Budowski, G. 1993. Agroforestería: una disciplina basada en el conocimiento tradicional. Revista Forestal Centroamericana 2(3)14-18.

Caballero J., L. Cortés M.A., Martínez A.R. Lira S. 2004. Uso y manejo tradicional de la Biodiversidad vegetal. p. 541-564. *In*: A.J. García-Mendoza, M.J. Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. México.

Casas, A., C. Vázquez, J. L. Viveros, J. Caballero. 1996. Plant management among the Nahua and the Mixtec in the Balsas River Basin, México: an ethnobotanical approach to the study of domestication. Human Ecology. 24(4):455-478.

CONAGUA (Comisión Nacional de Agua). 2007. Regiones, cuencas y subcuencas hidrológicas. Sistema Nacional de Información del Agua. http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=mapa&o=4&n=nacional

Curtis, J. T. y R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border región of Wisconsin. Ecology 32: 476-496.

De Ávila B. A. 2004. La clasificación de la vida en las lenguas de Oaxaca. p. 481-539. *In*: A.J. García M., M.J. Ordoñez y M. Briones S. (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. México.

Figueroa S. E. 2000. Uso agroecológico, actual y potencial, de especies arbóreas en una selva baja caducifolia perturbada del suroeste del Estado de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 120 p.

Flores, R. K. V. y F. M. M. Albizu. 2005. Caracterización del uso de plantas en el área de amortiguamiento de la reserva biológica Indio Maíz, Nicaragua. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua. 39 p.

García M. A., P. Tenorio L., J. Reyes S. 2004. El Endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. Acta Botánica Mexicana. 27:53-73.

García, M.L.E., G. Bárcenas P., R. López M. 2021. Valoración participativa de atributos de especies arbóreas nativas en el sombreado de cafetales. p. 155-176. *In*: López M. R. y Díaz P. G. (Eds.) Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: Estudios regionales y de caso.

García M. L. E., Valdez H. J. I., Luna C. M., López M. R. 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. Madera y Bosques 21(3): 68-82.

Hoffman, B. y T. Gallaher. 2007. Importance indices in ethnobotany. Ethnobotany Research & Applications 5:201-218.

Höft, M., S. K. Barik and A. M. Lykke. 1999. Quantitative ethnobotany. Applications of multivariate and statistical analysis in ethnobotany. People and Plants. Working Paper 6:1-49.

Jiménez, E. N. D. y J. O. Rangel Ch. 2012. La abundancia, la dominancia y sus relaciones con el uso de la vegetación arbórea en la Bahía de Cispatá, Caribe Colombiano. Caldasia 34(2):347-366.

Katz, E. 1997. Las plantas exógenas en la taxonomía mixteca (México). p. 53-58. *In*: J. E. Hernández Bermejo *et al*. (Eds.). Etnobotánica 92. Actas I. Ayuntamiento de Córdoba. Jardín Botánico de Córdoba. Universidad de Córdoba.

López, M. R., G. Díaz P., J. G. Salazar G., L. E. García M. y R. A. Guajardo P. 2013. Árboles nativos en el sombreado de cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz. Libro Técnico No. 35. INIFAP. Veracruz, México. 184 p.

López M. R. y Díaz P. G. 2021. Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: Estudios regionales y de caso. Libro Técnico No. 39, INIFAP. Veracruz, México. 409 p.

López, T. J. F y J. I. Valdez H. 2011. Uso de especies arbóreas en una comunidad de la reserva de la biosfera la Sepultura, estado de Chiapas p. 57-80. *In:* Endara, A. A. R., A. Mora, S., J. I. Valdez, H. (eds.). Bosques y Árboles del Trópico Mexicano: Estructura, Crecimiento y Usos. Universidad de Guadalajara, Jal., México.

Méndez, V. E., S. R. Gliessman and G. S. Gilbert. 2007. Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape western El Salvador. Agriculture, Ecosystems and Environment 119(1-2):145-159.

Moguel, P. y V. M. Toledo. 2004. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. Biodiversitas 55:2-7.

Padilla, G. E. 2007. Estudio ecológico y etnobotánico de la vegetación del municipio de San Pablo Etla, Oaxaca. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. 162 p.

Pennington, T. D., y J. Sarukhán. 2005. Árboles Tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3a ed. Ediciones científicas universitarias. UNAM-Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 523 p.

Reyes, S. J. 1993. Estudio florístico y fitogeográfico en el Municipio de San Juan Mixtepec, Distrito de Juxtlahuaca, Oaxaca. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales - Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 112 p.

Rodríguez V. J., Sinaca C.P. y Jamangape G. G., 2009. Frutos y semillas de árboles tropicales de México, México D.F. 123 p.

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ª. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Soto P. L., Y. Romero A., J. Caballero N., G. Segura W. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. Revista de Biología Tropical. 49(3-4):977-987.

Toledo, V. M. 2002. Ethnoecology: a conceptual framework for the study of indigenous knowledge of nature. p. 511-522. *In*: Ethnobiology and Biocultural Diversity. Stepp, J. R., F. S. Wyndham and K. Zarger R. (eds.). International Society of Ethnobiology. Athens, Georgia, USA.

Villavicencio, E. L. y J. I. Valdez H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rustican de café en San Miguel, Veracruz, México. Agrociencia 37:413-423.

ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD ARBÓREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ EN UNA LOCALIDAD DE ZONGOLICA, VERACRUZ

Rolando Misael Tlaxcala Méndez[1]*, María del Carmen Pablo Mendoza[1], Martín Aquino Ramírez[2] y Olga Santiago Trinidad[1]

Resumen

Los sistemas agroforestales de café (SAFC) bajo manejo tradicional por su estructura y composición de árboles son importantes en la conservación de la biodiversidad y provisión de servicios ambientales. Sin embargo, el conocimiento sobre la estructura y la diversidad de árboles en localidades cafetaleras específicas del estado de Veracruz es limitada. El objetivo de este trabajo fue evaluar la estructura horizontal y vertical, y cuantificar la diversidad alfa de los árboles presentes en los SAFC de la localidad de Xochiojca, Zongolica, Ver. Para ello se establecieron aleatoriamente 45 sitios de muestreo de 400 m^2 en seis fincas de café bajo sombra diversificada. Los árboles de sombra se identificaron por familia, género y en la mayoría hasta nivel especie. A todos los individuos se les midieron sus variables dasométricas. Para el análisis general de la estructura arbórea se empleó el Índice de Valor de Importancia (IVI), el Índice de Valor de Importancia Familiar (IVIF) y el Índice de Valor Forestal (IVF). Para cuantificar la diversidad alfa global se empleó el Índice de Equidad de Pielou (J´), el Índice de Diversidad de Margalef (D_{Mg}), el Índice de Diversidad de Shannon (H´). Se registró un total de 61 especies de árboles de sombra, las más importantes en el IVI y el IVF fueron *Quercus corrugata* (23.8% - 28.9%), *Cedrela odorata* (20.3% - 25.2%), *Cupania glabra* (15.8% - 16.7%), *Cordia alliodora* (14.7%-17.2%) y *Quercus lancifolia* (13.1%-17.7%), respectivamente. El IVIF indicó que la familia de las Fabáceas es la más importante (39.1%) por su alta abundancia y riqueza de especies. En cuanto a la diversidad alfa se obtuvieron valores altos en los índices

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental El Palmar. Tezonapa, Veracruz, México. * tlaxcala.rolando@inifap.gob.mx
[2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Edzná. Campeche, Campeche, México.

de D_{Mg} (8.96), H´ (3.70) y J´ (0.90), lo que sugiere una alta riqueza de especies y una disminución escalonada o gradual del número de individuos entre especies. Para finalizar, los SAFC tienen una sombra diversificada y estructura multi-estratificada, por lo que tienen potencial para incursionar en mercados que compensan a los productores por la conservación de la biodiversidad y provisión de servicios ambientales.

Palabras clave: diversidad alfa, SAFC, Xochiojca

Introducción

El estado de Veracruz posee una riqueza florística alta con 7,482 a 7,855 especies registradas, entre 950 a 1,117 son plantas leñosas que se encuentran distribuidas en la entidad (Benítez *et al*., 2010; CONABIO, 2011). Las causas principales de la perdida de la biodiversidad en Veracruz es el cambio de uso de suelo hacia diversas actividades productivas intensificadas, además de la sobreexplotación y comercio ilegal de especies, la perdida de cobertura forestal debido a la deforestación y a los incendios forestales, así como la introducción de especies invasoras y efectos derivados del cambio climático sobre los ecosistemas, conforman un conjunto de amenazas que impactan de forma negativa la biodiversidad del estado (Sarukhán *et al*., 2017).

En Veracruz se estima que la vegetación restante es del 26% (incluyendo áreas perturbadas) y solo se conserva el 8.6% de la vegetación primaria, en este contexto, entre el 70% y 80% de la superficie del estado se ha transformado a uso de suelo agropecuario (Gómez *et al*., 2010). Estos patrones resaltan la necesidad de comprender la capacidad de los sistemas agroforestales de café (SAFC) bajo manejo tradicional, para conservar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas boscosos (Manson *et al*., 2008), además, los estudios de estructura y composición arbórea, permiten entender y fortalecer el conocimiento ecológico autóctono de los productores en el manejo de sus fincas cafetaleras.

En Veracruz se han realizado varios estudios sobre el tema de estructura y composición arbórea en los SAFC (García *et al*., 2015; Villavicencio y Valdés, 2003; Williams y López, 2008; Williams *et al*., 2005). Sin embargo, el conocimiento en localidades especificas es aun limitado,

principalmente en la región cafetalera de Zongolica, por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar la estructura y la diversidad alfa arbórea de los SAFC en una localidad del municipio de Zongolica, Veracruz.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en los SAFC de la localidad de Xochiojca, Zongolica, Ver. entre los paralelos 18º38'10'' y 18º37'10'' N y los meridianos 96º55'34'' y 96º54'41'' W, las condiciones ambientales de la región son las siguientes: clima semicálido húmedo con lluvias todo el año (Acf), temperaturas de 14 a 26°C, precipitaciones de 2,400 a 3,100 mm, la altitud es de 900 a 1,200 m, la topografía es de sierra de cumbres tendidas, los tipos de suelos predominantes son luvisoles y acrisoles (INEGI, 2009).

Toma de datos

Durante el primer cuatrimestre del 2022, de forma aleatoria se establecieron 45 unidades de muestreo (UM) de 20 x 20 m (400m^2) en seis fincas de café con sombra diversificada. En las UM se registró la identidad taxonómica de cada árbol (≥5 cm de DN) a nivel familia, género y en su caso hasta nivel especie, con la ayuda de manuales de identificación (Lascurain *et al*., 2010; Niembro *et al*., 2010; Pennington y Sarukhán, 2005) y mediante los nombres comunes proporcionados por los productores y, en algunos ejemplares se empleó la aplicación móvil iNaturalist para su identificación. A los árboles se les midió el diámetro normal (DN en cm) a 1.30 m sobre el suelo con una cinta diamétrica Forestry Suppliers, Inc., la altura total (H en m) con un clinómetro Suunto y el diámetro de la copa (DC en m) con una cinta métrica, considerando la proyección de la misma sobre el suelo.

Índices estructurales arbóreos

Para el análisis estructural horizontal se utilizó el Índice de Valor de Importancia (IVI) y el Índice de Valor de Importancia Familiar (IVIF), estos son indicadores de la importancia fitosociológica de las especies o familias en una comunidad a través de la jerarquización de las abundancias, frecuencias y dominancias de las mismas (Lozada, 2010). También se empleó el Índice de Valor Forestal (IVF) con el fin de evaluar la estructura bidimensional de la vegetación arbórea

considerando tres variables dasométricas, en primer lugar, el DN ubicada en el estrato inferior en el sentido horizontal, en segundo lugar, la H que abarca desde el estrato inferior al superior en el sentido vertical y finalmente la cobertura de copa (CC) ubicada a nivel del estrato superior en el plano horizontal (Graciano *et al*., 2017) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Índices utilizados para evaluar la estructura arbórea en los SAFC.

Plano	Nivel	Ecuación	Fuente
Horizontal	Especie	$IVI = AR_i + FR_i + DR_i$	Vásquez *et al*., 2018
Horizontal	Familia	$IVIF = AR_j + DR_j + DIVR_j$	García *et al*., 2015
Horizontal y vertical	Especie	$IVF = DNR_i + HTR_i + CCR_i$	Corella *et al*., 2001

Dónde: AR_i es la abundancia relativa de la especie *i* (%); FR_i es la frecuencia relativa de la especie *i* (%); DR_i es la dominancia relativa de la especie *i* (%); AR_i es la abundancia relativa de la familia *j* (%); DR_j es la dominancia relativa de la familia *j* (%) y $DivR_j$ es la diversidad relativa de la familia *j* (%); DNR_i es el diámetro normal relativo de la especie *i* (%); HTR_i es la altura total relativa de la especie *i* (%) y CCR_i es la cobertura de copa relativa de la especie *i* (%).

Índices de diversidad alfa

Se obtuvieron los valores de diversidad alfa a nivel global y a nivel sitio (Cuadro 2). Para la riqueza específica (S), fue contabilizado el número total de especies. Para la estimación de la equidad se usó el índice de Pielou, su rango es de 0 a 1, un valor cercano a cero sugiere que una especie domina sobre las demás, un valor cercano a la unidad indica que todas las especies son igualmente abundantes (Soler *et al*., 2012). Para la diversidad alfa fueron empleados dos índices, el primero fue de Margalef considera solo la riqueza de especies, resultados mayores a 5 hacen referencia a una alta diversidad, mientras que valores menores a 2 indican ecosistemas antropizados con baja diversidad (Margalef, 1995), y el segundo es el de Shannon, que considera la riqueza y la equidad de las especies, los valores varían entre 0.5 a 5, aunque su valor frecuente se encuentra entre 2 a 3, resultados menores a 2 señalan baja diversidad y superiores a 3 apuntan a una diversidad alta (Mora *et al*., 2017).

Cuadro 2. Formulas empleadas para medir la diversidad arbórea en los SAFC.

Índices	Formula	Fuente
Equidad de Pielou	$J = H/\ln S$	Moreno, 2001
Diversidad de Margalef	$D_{Mg} = S - 1/\ln N$	Moreno, 2001
Diversidad de Shannon	$H' = -\sum p_i \times \ln p_i$	Moreno, 2001

Dónde: p_i es la abundancia relativa de la especie *i*; ln es el logaritmo natural; S es el número de especies; N es el número total de individuos.

Resultados y Discusión

Estructura

En los SAFC fueron registrados un total de 61 especies de sombra pertenecientes a 55 géneros y 36 familias, respectivamente. Las cinco especies con mayor importancia estructural vertical según el IVI son *Quercus corrugata, Cedrela odorata, Cupania glabra, Cordia alliodora* y *Quercus lancifolia*. Los árboles de sombra de *Quercus corrugata* que se encontraron en los SAFC obtuvieron diámetros normales promedio de 50 cm, superiores al resto de las especies, incluso algunos individuos superaron los 80 cm, esta dominancia causó un incremento significativo en el IVI, aun cuando la abundancia y frecuencia fue relativamente menor de esta especie (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índice de Valor de Importancia (IVI) para las 10 especies más importantes en los SAFC.

No.	Especie	AR (100%)	FR (100%)	DR (100%)	IVI (300%)
1	*Quercus corrugata*	4.46	2.84	16.51	23.81
2	*Cedrela odorata*	4.95	3.55	11.82	20.33
3	*Cupania glabra*	7.05	5.21	3.60	15.87
4	*Cordia alliodora*	6.31	3.32	5.07	14.70
5	*Quercus lancifolia*	3.22	2.13	7.76	13.11
6	*Tapirira mexicana*	4.70	2.61	4.84	12.15
7	*Trema micrantha*	3.47	3.08	4.22	10.77
8	*Leucaena leucocephala*	4.83	4.50	1.22	10.55
9	*Citrus* sp.	4.95	4.50	0.87	10.33
10	*Inga vera*	3.837	3.79	0.99	8.62
11	Especies restantes (51)	52.228	64.455	43.081	159.764

Dónde: AR es la abundancia relativa; FR frecuencia relativa; DR es la dominancia relativa.

En cuanto a la importancia estructural horizontal y vertical, el IVF muestra resultados similares al IVI, las cinco especies sobresalientes fueron *Quercus corrugata*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Quercus lancifolia* y *Cupania glabra*. En particular, estas últimas tres especies cambiaron su orden de importancia con respecto al IVI debido a los valores obtenidos en variables de altura total y cobertura de copa, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índice de Valor de Forestal (IVF) para las 10 especies más importantes en los SAFC.

No.	Especie	DNR (100%)	ATR (100%)	CCR (100%)	IVI (300%)
1	*Quercus corrugata*	9.14	8.07	11.76	28.97
2	*Cedrela odorata*	8.19	7.52	9.50	25.22
3	*Cordia alliodora*	5.94	6.27	4.99	17.20
4	*Quercus lancifolia*	5.44	4.99	6.73	17.17
5	*Cupania glabra*	5.61	6.28	4.87	16.76
6	*Tapirira mexicana*	4.68	4.94	5.39	15.00
7	*Trema micrantha*	4.37	4.11	4.75	13.23
8	*Ficus cotinifolia*	3.38	3.22	4.93	11.54
9	*Pinus patula*	3.99	4.43	2.83	11.25
10	*Leucaena leucocephala*	2.88	3.54	2.05	8.47
11	Especies restantes (51)	46.39	46.61	42.19	135.20

Dónde: DNR es el diámetro normal relativo; ATR es la altura total relativa; CCR Cobertura de copa relativa.

La familia de las fabáceas es la más importante por los altos valores obtenidos en abundancia y diversidad (10 especies), aun cuando los árboles son no dominantes con diámetros normales promedio de 16 cm. Las fagáceas son la segunda más importante, principalmente por su alta dominancia arbórea con diámetros normales promedio de 44 cm (Cuadro 5).

En otros SAFC dentro del municipio de Zongolica se ha determinado que las especies más importantes estructuralmente son *Cordia alliodora*, *Inga* sp, *Cedrela odorata*, *Cupania glabra* y *Diphysa robinoides*; mientras que a nivel familia las más importantes son la Fabaceae, la Boraginaceae y la Meliaceae (Tlaxcala *et al*., 2020), estas diferencias y similitudes con el presente estudio se deben a las preferencias particulares que tienen los productores por sus especies de árboles.

Cuadro 5. Índice de Valor de Importancia Familiar (IVIF) para las 10 familias más importantes en los SAFC.

No.	Familia	AR (100%)	DR (100%)	DIVR (100%)	IVIF (300%)
1	Fabaceae	16.71	6.01	16.39	39.11
2	Fagaceae	7.43	24.23	3.28	34.93
3	Lauraceae	7.92	9.64	8.20	25.75
4	Anacardiaceae	6.81	7.18	6.56	20.55
5	Meliaceae	5.32	11.89	3.28	20.49
6	Malvaceae	4.58	6.49	6.56	17.62
7	Sapindaceae	7.30	3.93	3.28	14.51
8	Boraginaceae	6.31	5.07	1.64	13.02
9	Cannabaceae	3.71	4.55	3.28	11.54
10	Pinaceae	5.07	2.20	1.64	8.92
11	Familias restantes (26)	28.84	18.81	47.54	95.19

Dónde: AR es la abundancia relativa; DR es la dominancia relativa; DIVR es la diversidad relativa.

Diversidad

A nivel global se obtuvo una riqueza alta, con 61 especies de árboles de sombra, los cuales presentaron una equitatividad de Pielou cercana a la unidad, los índices de diversidad de Margalef y de Shannon presentaron valores considerados como altos (Cuadro 6) (Mora *et al*., 2017; Margalef, 1995), por lo tanto, cada finca juega un papel único e importante en la conservación de la diversidad total de la localidad, al aportar cada una de ellas diferentes especies de árboles (Manson *et al*., 2018).

Cuadro 6. Valores de diversidad alfa a nivel global.

Nivel	Riqueza (S)	Abundancia	Equidad de Pielou (J)	Diversidad de Margalef (D_{Mg})	Diversidad de Shannon (H´)
Global	61	808	0.90	8.96	3.70

La curva de rango-abundancia (Whittaker) muestra una alta composición de especies, nueve de estas son muy abundantes con 31 a 57 árboles, entre estas se encuentran *Cupania glabra*, *Cordia alliodora*, *Pinus patula*, *Cedrela odorata* y otros. Así mismo, se tienen 20 especies raras cuya densidad poblacional es baja con menos de 5 individuos, como, por ejemplo, *Croton draco*, *Pouteria sapota*, *Dendropanax arboreus* y otros (Figura 1).

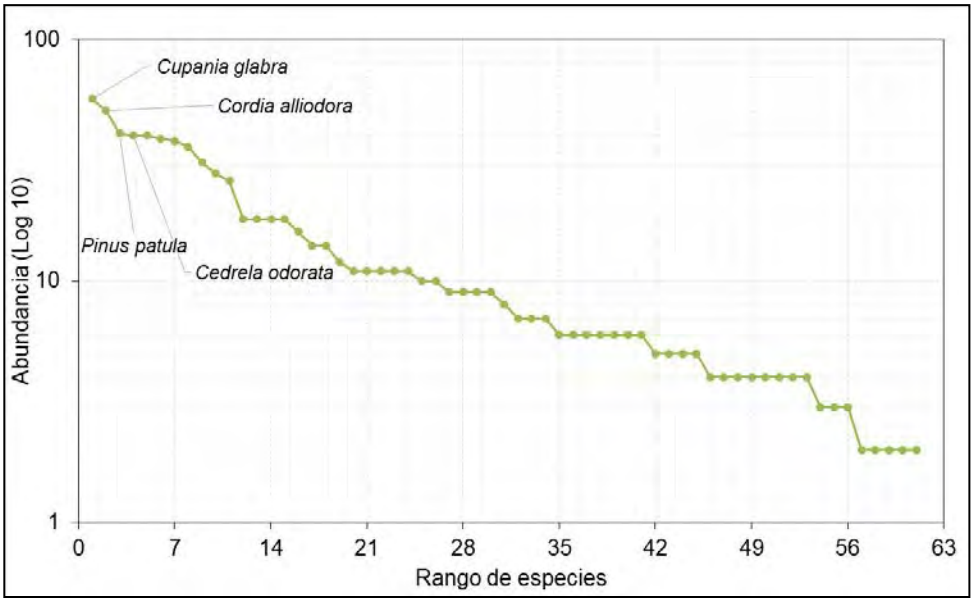


Figura 1. Curva de rango - abundancia o de Whittaker.

Conclusiones

1.- Las cinco especies arbóreas más importantes en la estructura horizontal y vertical según los valores del IVI y el IVF fueron: *Quercus corrugata* (23.8% - 28.9%), *Cedrela odorata* (20.3% - 25.2%), *Cupania glabra* (15.8% - 16.7%), *Cordia alliodora* (14.7%-17.2%) y *Quercus lancifolia* (13.1%-17.7%).

2.- Las tres familias más importantes en el plano horizontal con base a los resultados del IVIF son la Fabaceae (39.1%), la Fagaceae (34.9%) y la Lauraceae (25.7%).

3.- De forma global, los SAFC tienen una alta diversidad alfa según los valores de S (61 especies de sombra), J (0.90), H´ (3.70) y D_{Mg} (8.96).

Agradecimientos

Se agradece a los productores de la localidad de Xochiojca, Zongolica, Ver., por permitir realizar la toma de datos dentro de sus fincas de café.

Literatura Citada

Benítez, B. G., A. Hernández H., M. Equihua Z., M. T. P. Pulido S., S. Ibáñez B. y L. M. Martín Del C. 2010. Biodiversidad. P. 171-202. *In*: J. Ortiz E. y E. Florescano. Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz. Universidad Veracruzana. México.

CONABIO. 2011. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.

García M. L., E., J. I. Valdez H., M. Luna C. y R. López M. 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. Madera y Bosques 21(3):69-82.

Gómez P. A., Krömer, T., y Castro Cortés, R. 2010. Atlas de la flora de Veracruz: un patrimonio natural en peligro. Gobierno del Estado de Veracruz. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. Universidad Veracruzana.

Graciano A. G., E. Alanís R., O. A. Aguirre C., M. A. González T., E. J. Treviño G. y A. Mora O. 2017. Caracterización estructural del arbolado en un ejido forestal del noroeste de México.Madera y bosques 23(3):137-146.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Zongolica, Veracruz de Ignacio de la Llave.

Lascurain, M., S. Avendaño, S. del Amo y A. Niembro. 2010. Guía de frutos silvestres comestibles en Veracruz. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Conafor-Conacyt, México.

Lozada, D. J. R. 2010. Consideraciones metodológicas sobre los estudios de comunidades forestales. Revista Forestal Venezolana 54(1):77-88.

Manson, R. H., López, F., Sosa, V., y Ortega, A. 2018. Biodiversidad y otros servicios ambientales en cafetales: manual de mejores prácticas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Ed). Ciudad de México.

Margalef, R. 1995. Ecología. Editorial Omega. Barcelona, España. 951 pp

Mora D. C. A., O. N. Burbano V., C. Méndez O., y D. F. Castro R. 2017. Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un Bosque de Encino (*Quercus* L.) en la Sierra Madre del Sur, México. Revista Forestal Mesoamericana Kurú 14(35):68-75.

Niembro, R. A., M. Vázquez y O. Sánchez. 2010. Árboles de Veracruz 100 especies para la reforestación estratégica. Comisión del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Centro de Investigaciones Tropicales. Secretaría de Educación del Estado de Veracruz.

Pennington, T. D., y Sarukhán, J. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. UNAM.

Sarukhán, J., P. Koleft., J. Carabias., J. Soberón., R. Dirzo., J. Llorente B. *et al*. 2017. Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Soler, P., Berroterán, J., Gil, J., y Acosta, R. 2012. Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. Agronomía Tropical 62(1-4):025-038.

Tlaxcala, M. R. M., M. Aquino R., O. Santiago T., M. del C. Pablo M. y C. R. Monroy R. 2020. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. en Zongolica, Veracruz. p. 764-772. *In*: Memoria del III Congreso Nacional y 1ro Internacional de Ciencias Agropecuarias del TecNM 2020. Celaya, Gto., México.

Villavicencio, E. L. y J. I. Valdez, H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. Agrociencia 37(4):413-423.

Williams L., G. y A. López G. 2008. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. *In*: R. H. Manson, V. Hernández O., S. Gallina y K. Mehltreter, eds. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación. INECOL, INE-Semarnat. México, D.F. p:55-63.

Williams L., G., A. M. López G., y M. A. Muñiz C. 2005. Complementariedad y patrones de anidamiento de especies de árboles en el paisaje de bosque de niebla del centro de Veracruz (México). *In*: Halffter G, Soberon J, Koleff P, editores. Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma. Monografía Tercer Milenio, Vol. 4, Sociedad Entomológica Aragonesa, CONABIO, DIVERSITAS-México, CONACYT. p. 153-164.

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE CLONES DE HULE (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) EN LA REGIÓN CENTRAL DE VERACRUZ

Elías Ortiz Cervantes[1]

Resumen

El rendimiento promedio de las plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en México es inferior a 1200 kg/ha, el cual es posible mejorar con la introducción, evaluación y difusión de nuevo material genético promisorio. En la región central de Veracruz, se evaluó durante 15 años el crecimiento y rendimiento de 18 clones introducidos de Malasia y Brasil con el objetivo de identificar clones con características superiores para establecer plantaciones comerciales. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con tres repeticiones y ocho árboles por unidad experimental con bordo común. Las variables evaluadas fueron sobrevivencia, altura de planta (AP) y circunferencia del tallo (CT), espesor de corteza, rendimiento en g/árbol/pica, rendimiento en kg/árbol y rendimiento en kg/ha/año. Todas las variables presentaron diferencias estadísticas significativas ($p<0.0001$). A los 10 años de la plantación, los clones IAN873 (testigo) y RRIM901 presentaron el mejor comportamiento, con CT de 68.88 y 56.15 cm, respectivamente; durante los primeros cinco años de plantados (periodo preproductivo) ambos presentaron incremento anual en CT superior a 8 cm, pero durante la etapa productiva presentaron incrementos en CT de 4.11 y 3.23 cm, respectivamente. Los clones con mayor rendimiento fueron IAN873 y RRIM901 con promedio de 54.93 y 46.38 g/árbol/pica, 5.27 y 4.47 kg/árbol, 2394 y 1524 kg/ha/año, respectivamente. El clon IAN754 fue el más vigoroso con 71.23 cm de CT, pero su rendimiento promedio anual fue el menor con 767 kg/ha/año.

Palabras clave: precocidad, espesor de corteza, vigor clonal, caucho

[1] Campo Experimental El Palmar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México. Correo: ortiz.elias@inifap.gob.mx.

Introducción

Actualmente, en México se reportan 25,668 hectáreas de plantaciones en etapa productiva, que producen 36,036 toneladas de hule seco al año, con valor de $1,035.6 millones de pesos. El estado de Veracruz es el principal productor, ocupa una superficie de 15,748 hectáreas y una producción anual de 18,190 toneladas de hule seco, con valor de 523 millones de pesos (SIAP, 2019).

Para mejorar la productividad del cultivo, se han realizado múltiples esfuerzos; sin embargo, el rendimiento de las plantaciones de hule en México aún permanece por debajo de 1200 kg/ha/año (Picón *et al*., 1997). El material genético es el componente tecnológico que más influye en el rendimiento unitario de las plantaciones (Rodríguez, 1993). Los principales clones recomendados a escala comercial en México son IAN-873, IAN-710 y RRIM-600, que presentan rendimiento potencial superior a 1600 kg/ha/año (Picón *et al*., 1997; Ortiz, 2019).

En la colección de clones introducidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) existen materiales que no han pasado por un proceso de evaluación y validación bajo las condiciones agroclimáticas locales que permita recomendarlos a escala comercial. El objetivo del trabajo fue identificar clones precoces y con alto potencial de rendimiento, que propicien el incremento de la superficie plantada y coadyuven a consolidar al cultivo del hule como actividad rentable entre los productores de las regiones tropicales**.**

Materiales y Métodos

Características del sitio experimental

El experimento se estableció en el Campo Experimental El Palmar (CEPAL) del INIFAP, ubicado en el municipio de Tezonapa, Veracruz, a los 18° 32’N y 96° 47’W, altitud de 180 msnm. El clima es cálido húmedo con lluvias en verano, con precipitación de 2,885 mm anuales. La temperatura promedio anual es de 24.4°C, mínima 16.1°C y máxima 35.4°C (Rodríguez *et al*., 1983).

Material vegetativo

Los clones evaluados (Cuadro 1), se injertaron en patrones policlonales de 10 meses de edad y más de 1.0 cm de diámetro; los injertos se destaparon a los 18 días de realizados, ocho días después se descoparon los patrones y cinco días más tarde se realizó el arranque de los tocones a raíz desnuda y yema dormida. Los tocones se trasplantaron en bolsas de polietileno de 20 x 40 cm y después de la madurez del segundo ciclo foliar del brote clonal, se plantaron en campo.

Cuadro 1. Nombre, progenitores y país de origen de los clones de hule evaluados en el experimento.

Clones	Progenitores	Origen	Clones	Progenitores	Origen
IAN754(T*)	F4542 x PB86	BR	RRIM709	RRIM605 x RRIM71	MY
IAN873(T)	PB86 x F1717	BR	RRIM710	RRIM605 x RRIM71	MY
PB235	PB5/51 x PBS/78	MY	RRIM711	RRIM605 x RRIM71	MY
PB-260	PB5/51 x PB49	MY	RRIM802	RRIM501 x RRIM71	MY
PB280	PBIG (semilla)	MY	RRIM803	RRIM501 x RRIM623	MY
PB330	PB5/51 x PB32/36	MY	RRIM804	RRIM501 x 44/553	MY
PB340	---	MY	RRIM805	RRIM628 (auto)	MY
RRIM701	44/553 x RRIM501	MY	RRIM901	PB-5/51 x RRIM600	MY
RRIM703	RRIM600 x RRIM500	MY	RRIM921	PB5/51 x FORD351	MY

T*= Testigo; BR =Brasil; MY = Malasia.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un bloque al azar, con 18 tratamientos (clones) y tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por ocho árboles plantados a 6 x 3 m y delimitados por un bordo común del clon IAN-873. El manejo se efectuó de acuerdo con la tecnología recomendada por el INIFAP (Picón *et al*., 1997).

Variables evaluadas

Durante el periodo preproductivo se evaluó la sobrevivencia en % (SO) y el vigor expresado en altura de planta en centímetros (AP) y circunferencia del tallo en cm (CT). La sobrevivencia se evaluó anualmente mediante el conteo de plantas vivas. La AP se midió desde la unión injerto patrón hasta el ápice de los árboles, usando una regla graduada de 10 m de longitud, semestralmente durante los primeros dos años de la plantación. La CT se midió a 1.20 m de

altura de la unión injerto-patrón, utilizando una cinta métrica de 1.50 m, desde los 18 meses hasta los 15 años de la plantación.

Durante la etapa productiva se evaluó el rendimiento mensual en gramos por árbol por pica (GAP), rendimiento anual por árbol (KA), rendimiento en kilogramos por hectárea por año (KHA) y espesor de corteza virgen (EC). Los árboles se abrieron a pica al sexto año, cuando tenían circunferencia del tallo mayor a 45 cm a la altura de 1.20 m de la unión injerto-patrón, mediante un sistema en semi espiral descendente con picas en día alterno (S/2 d/2 6 d7). El rendimiento por árbol mensual se obtuvo mediante la coagulación del látex en las tazas con ácido acético al 2%, recolección de quesillos, inserción en un alambre colgado al árbol y secado a la intemperie durante un mes. El rendimiento mensual de hule fresco por árbol se dividió entre el número de "quesillos" (picas), para obtener el rendimiento fresco promedio en gramos por árbol, por pica, para cada clon. El rendimiento de hule fresco promedio se multiplicó por el porcentaje de hule seco obtenido mediante el secado de muestras en un horno de secado marca RIOSSA Mod. H-33, para obtener el rendimiento en GAP. A partir del rendimiento de hule seco se estimó el rendimiento en KA y en KHA, siguiendo la recomendación de Gonçalves *et al.* (2011). Se consideraron 90 picas anuales y el número de árboles en pica en la unidad experimental fue extrapolado a una hectárea (NAP). Las mediciones del espesor de corteza virgen (EC) se realizaron con calibrador digital modelo H-7352, a la altura de 1.0 m a partir del suelo.

Análisis de información

El análisis estadístico se hizo a través de análisis de varianza (ANOVA), pruebas de comparación de medias de Tukey (α=0.05) y transformación arcoseno a los valores en %, utilizando el paquete estadístico SAS (2002).

Resultados y Discusión

Variables en etapa preproductiva

De acuerdo con el Cuadro 2, al realizar el ANOVA se encontraron diferencias significativas entre clones ($p<0.0001$) en la sobrevivencia de árboles (SO), altura de planta (AP), circunferencia del tallo (CT) y espesor de corteza (EC).

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables relacionadas con el crecimiento hasta los 10 años de la plantación.

Fuentes de variación	GL	Cuadrados medios				
		SO	AP	CT	ICT	EC
Bloques	2	0.739*	14960.5**	33.19 ns	25.18 ns	3.876**
Clones	17	0.563**	61038.4***	12648.44***	120.17***	2.851***
bloques*error	34	0.217**	4864.2***	627.46 ***	7.3252***	0.845*
Mediciones	16	0.077*	7960975.1***	89543.32***	2728.04***	32.86***
Clones * Años		0.044*	25500.7***	170.63 ***	11.15***	0.583 ns
Error		0.024	2268.04	257830.64	1.612	0.468
CV (%)		10.983	29.45301	17.32	41.57	11.31

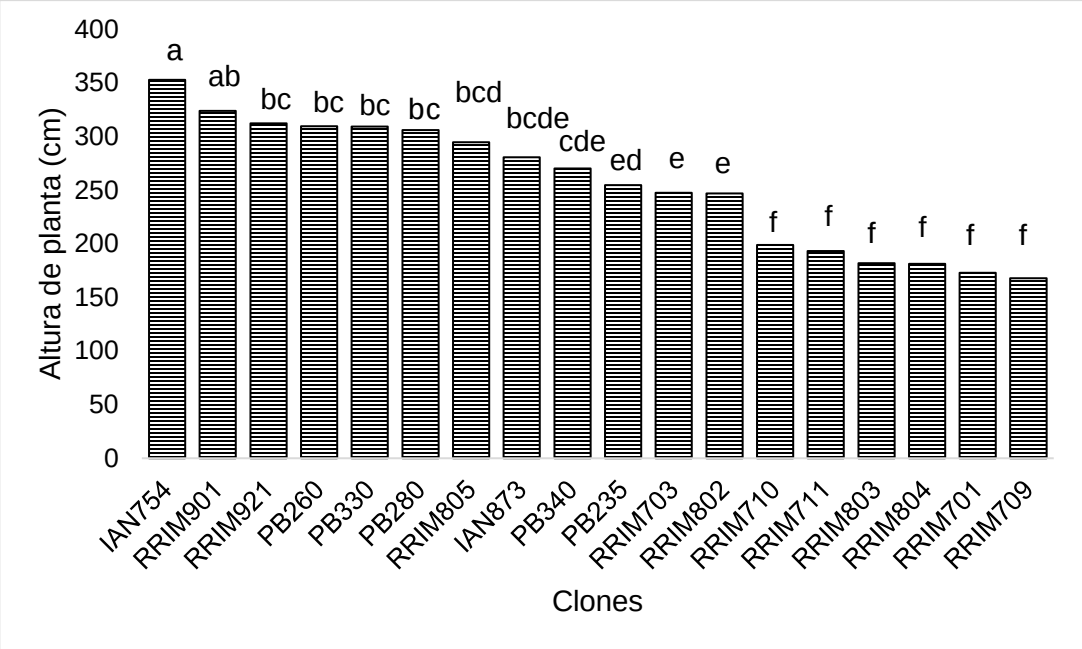
(P<0.05) *; (P<0.01) **; (P<0.001) ***; GL =grados de libertad; SO=sobrevivencia; AP=altura de planta; CT=circunferencia del tallo; ICT=incremento en CT; EC=Espesor de corteza; ns=no significativo.

Sobrevivencia de árboles

El análisis de varianza integró las mediciones a 1.5, 7 y 10 años de la plantación, se encontraron diferencias altamente significativas entre clones y mediciones (p<0.0001). El porcentaje promedio de sobrevivencia de los clones IAN754, PB260, RRIM802, RRIM701, RRIM703, RRIM711, RRIM710, IAN873, PB280, RRIM709, RRIM804, PB235, RRIM805, PB330, PB340 y RRIM901, osciló entre 86.11 y 100%, sin diferencias significativas. Los porcentajes más bajos de sobrevivencia lo presentaron los clones RRIM-803 (76.39%) y RRIM-921 (33.33%).

Altura de planta

Al realizar el análisis de varianza conjunto para AP a los 6 y 12 meses de la plantación se encontraron diferencias altamente significativas (p<0.0001), con media general de 62.12 y 257.51 cm, respectivamente. Como se observa en la Figura 1, el clon más sobresaliente a los 12 meses de plantado fue IAN-754 con 352.87 cm, sin diferencias con RRIM901. Les siguieron RRIM921, PB260, PB330, PB280, RRIM805 y IAN873, con altura promedio entre 280.71 y 312.54 cm. Los clones con menor desarrollo en AP fueron RRIM710, RRIM711, RRIM803, RRIM804, RRIM701 y RRIM709 con AP promedio entre 168 y 199 cm. Los clones IAN754 (testigo) y RRIM-901 resultaron sobresalientes, mientras que IAN-873 se ubicó arriba del promedio. Esta variable comúnmente es utilizada para la selección de clones vigorosos y tolerantes a enfermedades foliares en etapas tempranas (Gonçalves *et al*., 2011).



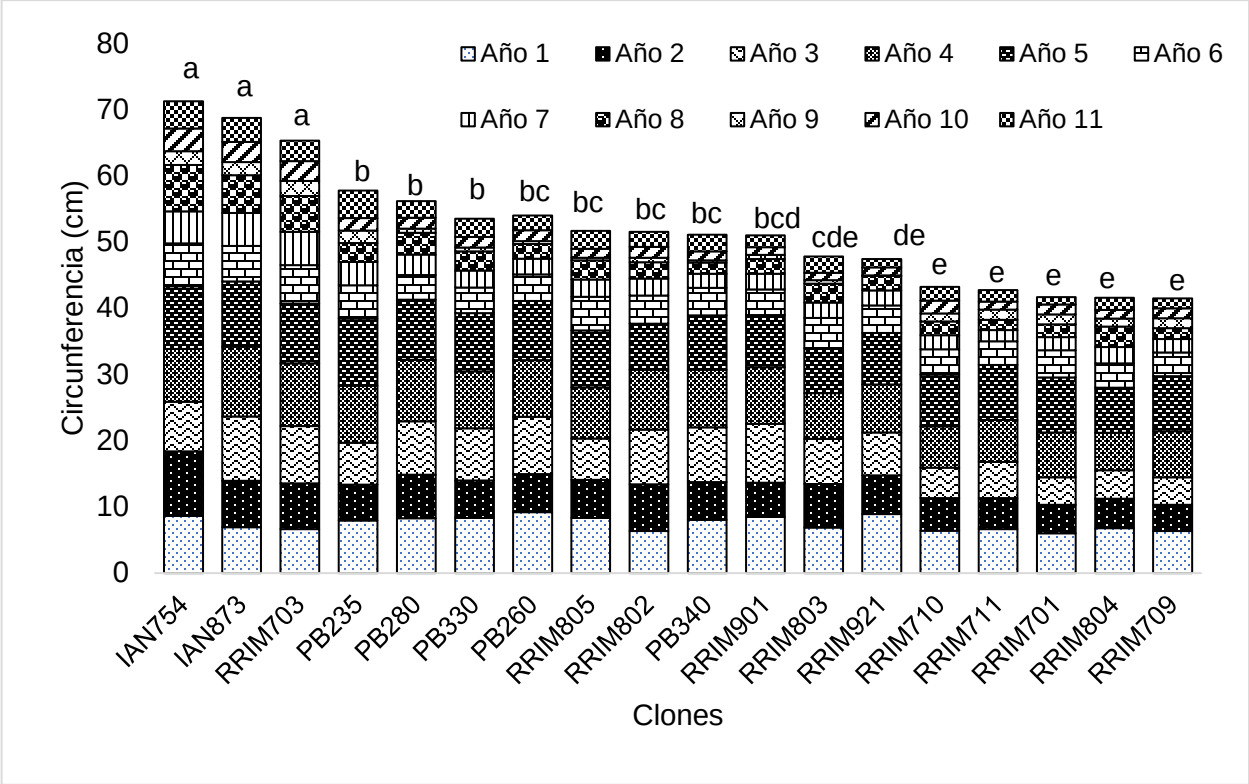
Nota: Las barras con la misma letra (medias) no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con Tukey (0.05).

Figura 1. Comparación de medias de altura de planta a los 12 meses de la plantación.

El crecimiento en altura de planta reportado por Sterling *et al*. (2015) para IAN-873 en árboles de la misma edad fue inferior en más del 80%, lo que puede indicar que el ambiente local es favorable para su desarrollo, dado que de acuerdo con Ortiz (2019), este clon presenta tolerancia a las principales enfermedades foliares en regiones de alta precipitación y humedad relativa de México.

Circunferencia del tallo

En el ANOVA para las 17 mediciones de CT se encontraron diferencias altamente significativas entre clones, mediciones e interacción clones x mediciones ($p<0.0001$). De acuerdo con la Figura 2, a los 10 años de la plantación, los clones más sobresalientes fueron IAN-754, IAN-873 y RRIM-703 con CT de 71.06, 68.88 y 65.71 cm, respectivamente. Le siguieron los clones PB235, PB280, PB330, PB260, RRIM805, RRIM901, RRIM802 y PB340 con medias entre 49.58 y 56.27 cm. Los clones con menor crecimiento fueron RRIM921, RRIM803, RRIM710, RRIM711, RRIM701, RRIM804 y RRIM709 con medias entre 40.85 y 47.50.



Nota: Las barras con la misma letra (medias) no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con Tukey (0.05).

Figura 2. Comparación de medias de circunferencia del tallo anual acumulada, durante 10 años de crecimiento.

Los resultados son similares a los obtenidos en la región de Uxpanapa (Veracruz), por Ortiz (2019) a los 10 años de la plantación, en donde IAN-754 y IAN-873 presentaron CT de 70.27 y 59.46 cm, respectivamente; aunque RRIM703 se comportó diferente, ya que en dicho experimento presentó CT de 39.53 cm, contra 65.71 cm de la presente investigación.

En evaluaciones de clones en regiones de Brasil (Goiás, DF y Mato Grosso), con precipitación alrededor de 1500 mm y temperatura media de 24.5°C, a los 15 años de plantación, los clones malasios RRIM710, RRIM711, RRIM802, RRIM, 803, RRIM-805, RRIM-901 y RRIM921, presentaron CT promedio superior a 59 cm, que se atribuye al menor volumen de lluvia comparado con Tezonapa, lo que inhibe el desarrollo de enfermedades foliares y favorece el crecimiento de los árboles (EMBRAPA, 2020).

Para los clones IAN754 y IAN873 en la región de Uxpanapa, Ortiz (2019) reportó una CT a los 6 años de la plantación de 46.27 y 41.98 cm, respectivamente; al igual que en la presente

investigación, el clon IAN754 reportado como tolerante a enfermedades presentó el mejor crecimiento.

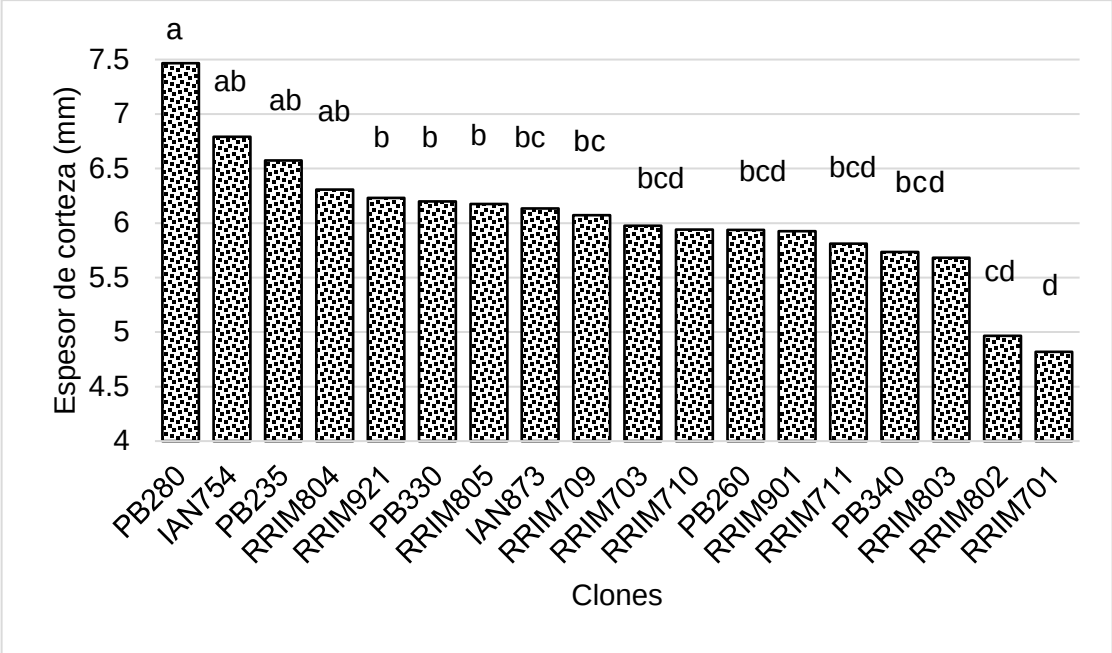
Durante los primeros 5 años de crecimiento (periodo preproductivo), los clones IAN754, IAN873, RRIM703, PB280 y RRIM805, presentaron incremento en circunferencia del tallo (ICT) medio anual entre 8 y 9 cm, pero durante la etapa productiva presentaron ICT de 4.65, 4.11, 4.10, 2.48 y 2.15 cm, respectivamente.

Es importante destacar que RRIM703 presentó ICT medio anual de 8.14 cm durante la etapa preproductiva y 4.10 cm durante la etapa productiva, que lo ubicó dentro de los tres clones más sobresalientes. Los clones RRIM803, RRIM711, RRIM710, RRIM701, RRIM804 y RRIM709 presentaron ICT medio anual durante el periodo preproductivo menor a 7 cm y durante la etapa productiva menor a 2.5 cm que los ubica fuera de la posibilidad de usarse para el establecimiento de plantaciones comerciales, por su reducido vigor.

Espesor de corteza

Al realizar el ANOVA para las tres mediciones de EC a los 6, 8.5 y 10 años de la plantación, se encontraron diferencias altamente significativas entre clones y mediciones ($p<0.001$), con media general de 5.23, 6.09 y 6.89 mm, respectivamente. De acuerdo con la comparación de medias (Figura 3), los clones más sobresalientes fueron PB280, IAN754, PB235, IAN873, RRIM921 y RRIM709 con EC promedio entre 5.60 y 6.43 mm. Le siguieron PB330, RRIM703, PB340, PB260, RRIM901, RRIM710, RRIM711 y RRIM805 con EC entre 5.40 y 5.53 mm. Los clones RRIM804, RRIM701, RRIM803 y RRIM802, tuvieron EC entre 4.49 y 5.02 mm, que los ubica abajo de la media.

De acuerdo con EMBRAPA (2020), los clones RRIM710, RRIM711, RRIM802, RRIM803, RRIM805, RRIM901 y RRIM921, presentaron EC a los 9 años de 7.5, 7.2, 5.8, 6.8, 6.7, 6.1 y 5.4 mm, respectivamente; que es acorde al mayor desarrollo de los árboles en AP y CT en aquella región.



Nota: Las barras con la misma letra (medias) no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con Tukey (0.05).

Figura 3. Comparación de medias de espesor de corteza de 18 clones.

Variables asociadas al rendimiento

Como se observa en el Cuadro 3, para las variables número de árboles con circunferencia >40 cm (NAC), número de árboles en pica (NPP %), gramos por árbol por pica (GAP), rendimiento en kilogramos por árbol (KA) y rendimiento en kilogramos por hectárea por año (KHA) se encontraron diferencias altamente significativas ($p<0.0001$) entre clones, años y la interacción clones x años ($P<0.0001$).

Porcentaje de árboles aptos para la pica

Los árboles aptos para la pica se consideraron cuando alcanzaron una circunferencia mayor a 40 cm, se analizó el porcentaje de cada clon a los 6, 7, 8 y 10 años de la plantación, se encontraron diferencias significativas entre clones, años y la interacción clon x años ($p<0.0001$).

De acuerdo con la Figura 4, al sexto año los clones IAN754, IAN873, PB260, PB280, PB340, RRIM703 y PB235 presentaron más del 66% de la población apta para la pica. Al octavo año, solamente los clones RRIM711, RRIM803, RRIM710, RRIM709, RRIM701 y RRIM804 no alcanzaron en promedio las dimensiones para el inicio de la pica, con 45.83, 33.33, 33.33, 29.17, 20.83 y 4.17%, respectivamente. Al décimo año de la plantación solamente los clones

RRIM710 y RRIM804 no alcanzaron las dimensiones requeridas para la pica con 45.83 y 41.66% de los árboles aptos, respectivamente.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de variables asociadas a la etapa productiva de los clones.

FV	GL	Cuadrados medios				
		NAC (%)	NPP (%)	GAP	KA	KHA
Bloques	2	2003 ***	1760***	1126 *	9733087***	27367 ns
Clones	17	7434 ***	11099***	3900***	36130915***	8948810***
Bloques*clones	34	1483 ***	1441***	263***	2338036***	485210***
Años	7	1991 ***	3938***	2614***	26723215***	2909367***
Clones*años	119	216 ***	978***	175.1***	1663982***	314828 ***
Error	252	93.02	211	42.34	372685	54938.0
CV (%)		14.19	21.96	27.78	27.34	31.45
Media		67.94	66.17	22.42	2232.58	745.20

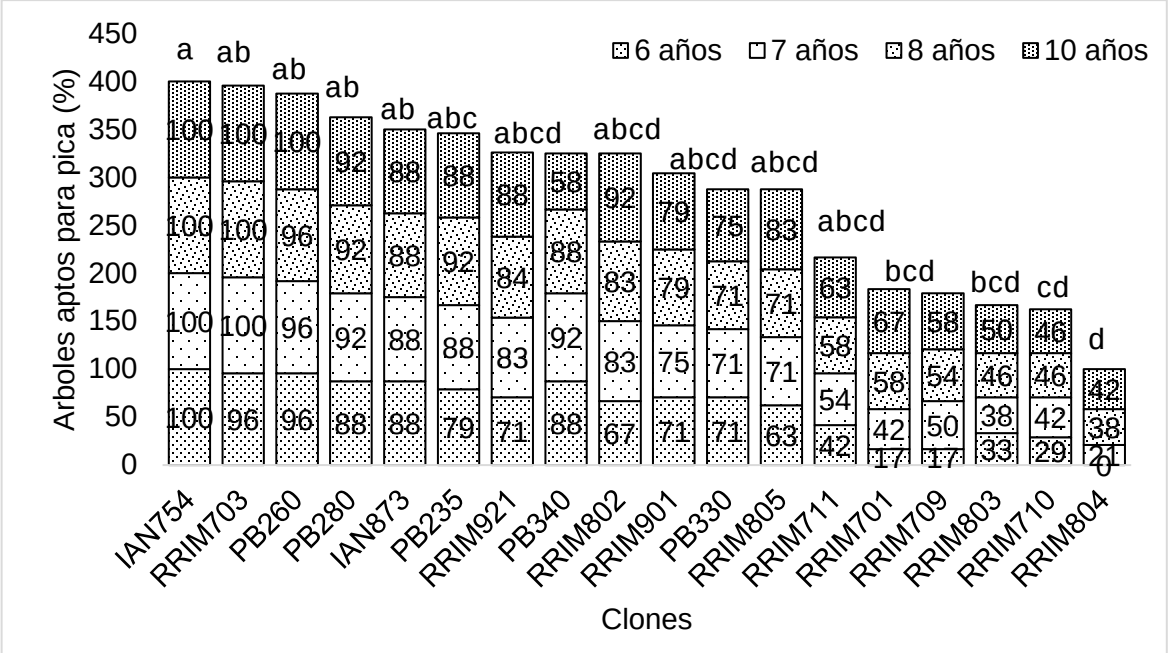
FV=Fuentes de variación; GL=Grados de libertad; ns=no significativo; (P<0.05) *; (P<0.01) **; (P<0.001)***; NAC=Número de árboles con circunferencia > 40 cm; NPP (%) = Número de árboles en pica; GAP= Rendimiento en g por árbol por pica; KA=rendimiento en kg por árbol; KHA=Rendimiento en kg/ha/año.

Los clones IAN754 y IAN873 se confirman como los de mayor vigor y se presentan PB260, PB280, PB340, RRIM703 y PB235 como clones asiáticos con vigor intermedio en las condiciones de Tezonapa, Veracruz.

Rendimiento en gramos por árbol por pica (GAP)

Durante el periodo de evaluación la media general de rendimiento promedio de hule seco fue de 23.43 g/árbol/pica, con diferencias entre clones (p<0.0001).

Los clones más sobresalientes fueron IAN873 y RRIM901, con rendimiento promedio de 54.93 y 46.38 g/árbol/pica, respectivamente. Le siguieron PB280, RRIM805, PB260, PB340, PB235, RRIM711, RRIM710 y RRIM921 con rendimiento promedio de 33.50, 31.32, 30.14, 26.16, 25.79, 23.37 y 23.30 g/árbol/pica, respectivamente.



Nota: Las barras con la misma letra (medias) no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con Tukey (0.05).

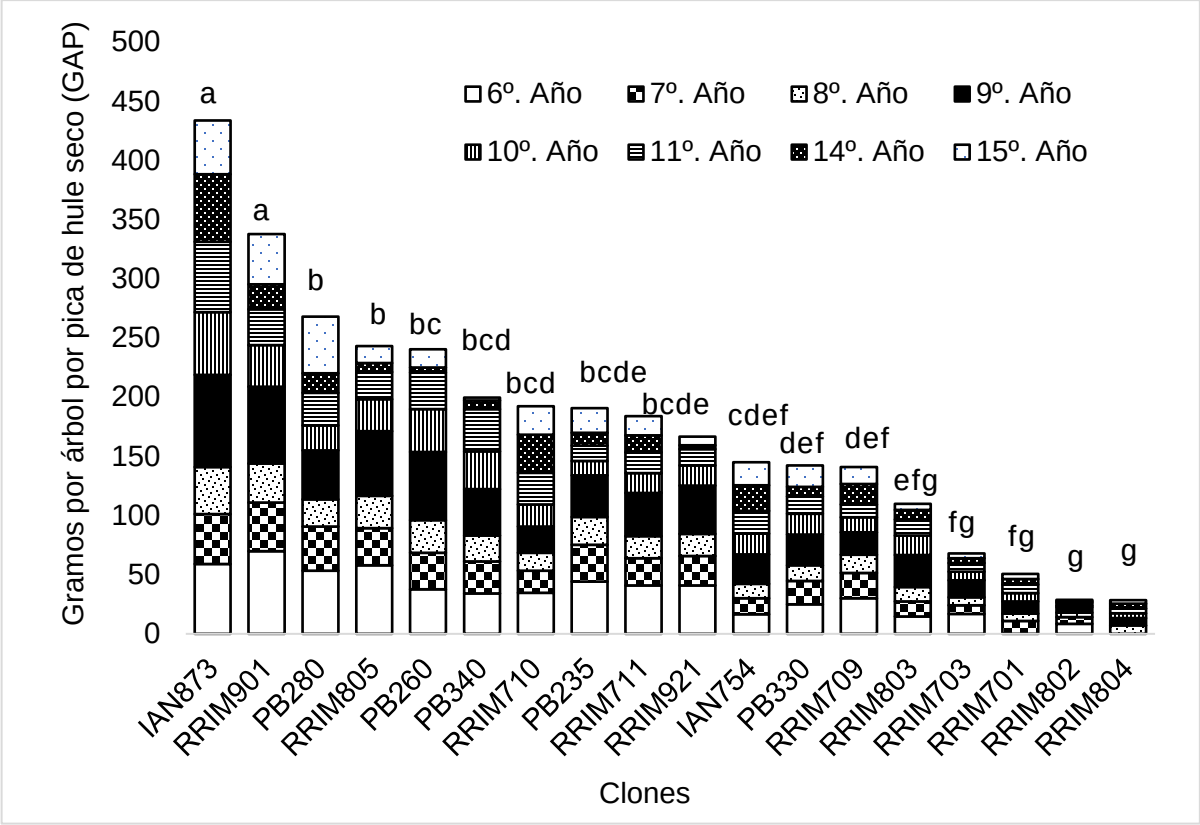
Figura 4. Comparación de medias acumuladas de árboles con más de 40 cm de circunferencia a los 6, 7, 8 y 10 años de plantación.

El testigo IAN-873 rindió 16% más hule que RRIM901, 58% más que el segundo grupo de clones y 67% más que IAN-754. Los clones PB330, IAN754 y RRIM709 presentaron rendimiento promedio de 18.62, 18.13 y 17.57 g/árbol/pica, respectivamente, que los ubica abajo del promedio y sin posibilidad de usarse a escala comercial. El resto de los clones presentaron muy bajos rendimientos y se consideran poco competitivos. En la Figura 5, se presenta el rendimiento anual y acumulado en g/árbol/pica de los clones.

El rendimiento obtenido por los clones IAN873 y IAN754 fue superior al reportado por Ortiz (2019) en la región de Uxpanapa, en donde durante tres años de explotación se obtuvo rendimiento promedio de 30.59 y 26.35 g/árbol/pica, respectivamente.

Rendimiento anual por árbol

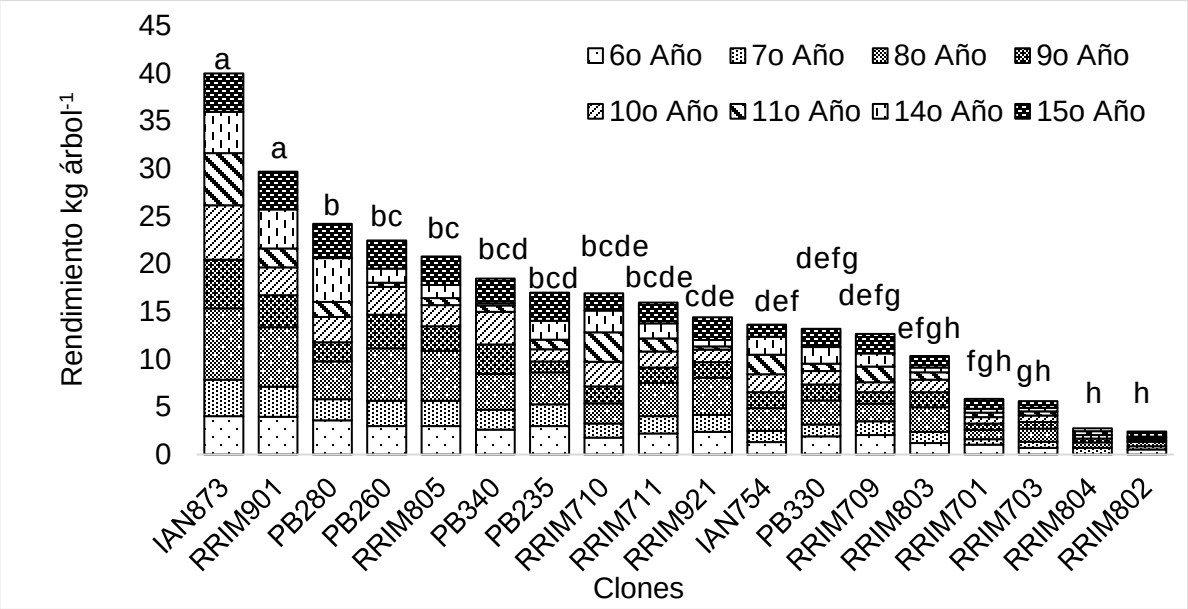
La media general de rendimiento anual por árbol (kg/árbol) durante el periodo evaluado fue de 2.23 kg, con diferencias significativas entre clones ($p<0.0001$).



Nota: Las barras con la misma letra (medias) no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con Tukey (0.05).

Figura 5. Comparación de medias y significancia estadística en rendimiento en gramos/árbol/pica.

De acuerdo con la Figura 6, los clones con mayor rendimiento promedio anual fueron IAN873 y RRIM901, con 5.27 y 4.45 kg, respectivamente. Le siguieron RRIM805, PB260, PB340, PB235, RRIM711 y RRIM710, con rendimiento entre 3.22 y 2.23 kg/árbol. Un tercer grupo estuvo conformado por RRIM921, PB330, IAN754, RRIM709 y RRIM803 con rendimiento por árbol entre 1.98 y 1.27 kg. El grupo de clones de menor rendimiento estuvo integrado por RRIM703, RRIM701, RRIM804, RRIM802, que presentaron valores entre 1.27 y 0.81 kg/árbol. De acuerdo con los resultados, se confirma la bondad del clon IAN873 y se proyecta a RRIM901 como altamente promisorio; igualmente, en el segundo grupo sobresalieron los clones RRIM805 y PB260, que han sido recomendados ampliamente en diferentes países productores del mundo (Sterling *et al*., 2015). El testigo IAN754, se presenta como muy vigoroso, pero con rendimiento por árbol abajo del promedio.



Nota: Las barras con la misma letra (medias) no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con Tukey (0.05).

Figura 6. Comparación de medias y significancia estadística de rendimiento en kg/árbol (KA).

En contraste con los resultados obtenidos en Tezonapa, en regiones con precipitación inferior a 1500 mm anuales de Brasil (EMBRAPA, 2020), los clones RRIM710, RRIM711, RRIM802, RRIM803, RRIM805, RRIM901 y RRIM921, presentaron rendimiento promedio anual de nueve años entre 4.5 y 6.0 kg/árbol que los ubica en la categoría de altamente productivos.

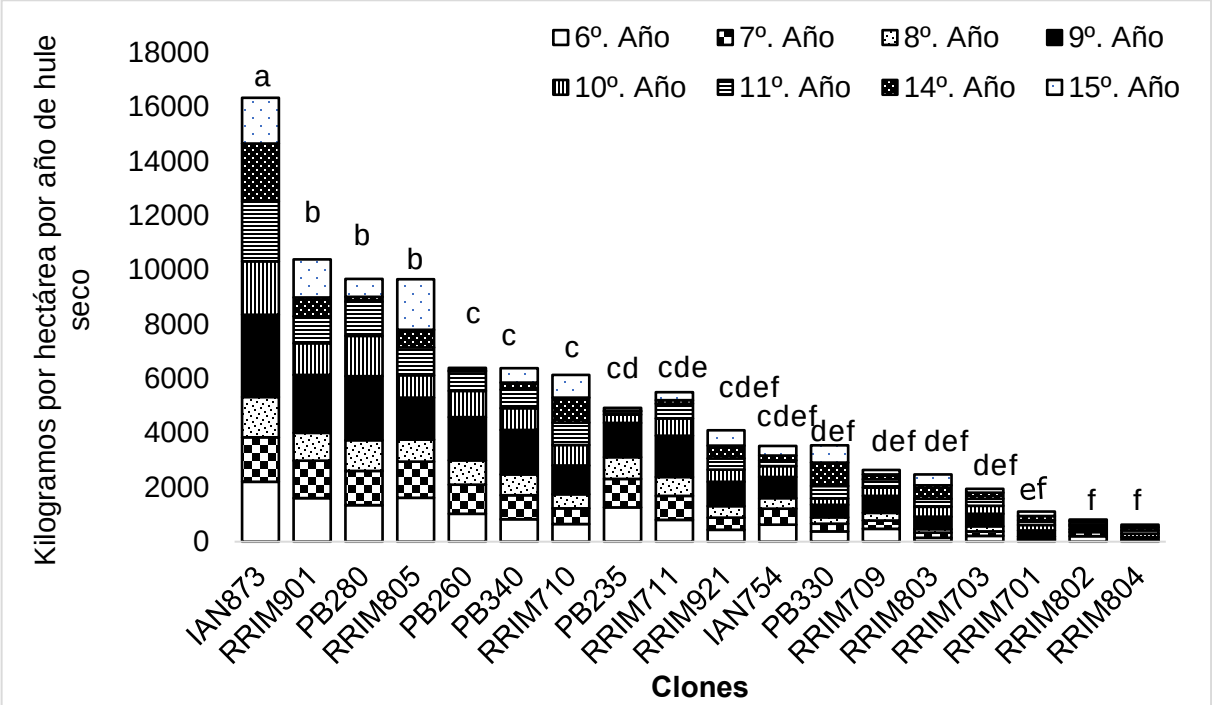
Rendimiento en kg/ha/año

La media general de rendimiento por hectárea por año (kg/ha/año) durante el periodo evaluado fue de 745 kg, con diferencias significativas entre clones ($p<0.0001$). El clon más sobresaliente fue IAN873 que rindió en promedio 2394 kg/ha/año. Le siguieron RRIM901, PB260 y PB280 con rendimiento anual de 1524, 1418 y 1416 kg, respectivamente. El testigo IAN-754 presentó rendimiento promedio de 899 kg, ubicándose ligeramente arriba del promedio. El grupo de clones constituido por PB330, RRIM710, RRIM703, RRIM709, RRIM921, RRIM803, RRIM701, RRIM802 y RRIM804, presentaron rendimientos abajo del promedio y quedan sin posibilidad de ser recomendados a escala comercial.

Es importante indicar que para estimar el rendimiento por hectárea se consideró a la superficie de la unidad experimental extrapolada a una hectárea; algunos clones presentaron altos rendimientos individuales, pero por su reducida población, el rendimiento por hectárea fue bajo.

Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales

De acuerdo con Silva *et al.* (2010), en Guararapes, Sao Paulo, Brasil, los clones IAN873 y RRIM701, presentaron un rendimiento promedio en cinco años de 1254 y 1138 kg/ha/año, respectivamente, inferior al obtenido en las condiciones locales. De acuerdo con EMBRAPA (2020), durante un periodo similar los clones RRIM710 y RRIM711, RRIM802, RRIM803, RRIM-805, RRIM-901 y RRIM921 rindieron entre 1800 y 2200 kg/ha, muy por encima de los resultados obtenidos. En la región de Tezonapa, Picón *et al.* (1997) encontraron que los clones IAN873 y IAN754 presentaron rendimiento promedio a los nueve años de 2441 y 2188 kg/ha/año; mientras que Ortiz (2019), reportó para la región de Uxpanapa un rendimiento promedio de tres años de 1110 y 1145 kg/ha/año, respectivamente. En la Figura 7 se presentan los rendimientos anuales y acumulados de los clones.



Nota: Las barras con la misma letra (medias) no presentan diferencias significativas entre sí, de acuerdo con Tukey (0.05).

Figura 7. Comparación de medias y significancia estadística en rendimiento en kg/ha/año (KHA).

Conclusiones

1. Los clones con mayor vigor expresado en AP y CT fueron IAN754 y IAN873, que alcanzaron los criterios para iniciar la etapa productiva al quinto año. Dentro de los clones asiáticos sobresalieron RRIM703, PB280 y PB235 que alcanzaron las dimensiones para pica al sexto año de plantados.

2. El clon con mayor rendimiento en g árbol^{-1} pica^{-1}, kg árbol^{-1} y kg ha^{-1} año^{-1} es IAN873 (testigo), que superó ampliamente al resto y presenta un comportamiento superior a los reportados en otros ambientes.

3. Dentro del grupo de clones asiáticos sobresale en rendimiento RRIM-901, PB-280 y RRIM-805, por lo que debería considerarse su validación a pequeña escala en regiones climáticas parecidas.

4. El espesor de corteza virgen influye como criterio para el inicio de la pica por cuestiones operativas, pero no de manera definitiva en el rendimiento de hule de los clones.

5. En las condiciones de Tezonapa, Veracruz, el clon que reúne las mejores características es IAN873 (testigo), aunque los clones RRIM901, PB280 y RRIM805 presentan características sobresalientes que permite recomendarlos para su establecimiento en plantaciones a pequeña escala (menor del 10% de la superficie a plantar).

Agradecimientos

Para el desarrollo de la investigación durante más de 15 años, se recibió el apoyo de dependencias del Gobierno Federal de México, gobierno de Veracruz y gobierno municipal. El agradecimiento se hace extensivo a los investigadores del INIFAP que de alguna forma contribuyeron en la planeación, conducción y evaluación del experimento.

Literatura Citada

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2020. Desempenho de Clones de Seringueira na Região Centro-Oeste do Brasil. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X, 360. 80 p. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128558/1/P-Desempenho-de-Clones-de-Seringueira-BPD.pdf (Fecha de consulta: 17 de noviembre del 2021).

Gonçalves, P. S., E. J. Scaloppi-Jr., M. A. Martins, R. M. B. Moreno, R. B. F. Branco and C. P. Gonçalves. 2011. Assessment of growth and yield performance of rubber tree clones of the IAC 500 series. Genetics. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46:1643-1649. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200009.

Ortiz C., E. 2019. Crecimiento, tolerancia a enfermedades y rendimiento de clones de hule en Uxpanapa, Veracruz. México. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. Veracruz, 2019. 1093-1109.

Picón R., L., E. Ortiz C. y J. M. Hernández C. 1997. Manual para la producción de hule en México. Manual técnico. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. 98 p.

Rodríguez M., R. 1983. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo del hule en México. Folleto técnico. SARH. INIA. México, D.F., México. 20 p.

Rodríguez M., R. 1993. Enfermedades del hule *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. SARH. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental el Palmar. División Forestal. Folleto técnico. Núm. 20. Tezonapa, Veracruz. 14 p.

SAS Institute Inc. 2002. SAS 9.1.3. Cary, North Caroline, USA.

Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). 2019. Hule Hevea, productor de látex. Recuperado de: https://www.gob.mx/siap/articulos/hule-hevea-productor-de-latex?idiom=es (30 de julio de 2020).

Silva, J. Q., S. Gonçalves P., J. A. Scarpare F. and B. Costa R. 2010. Agronomical performance and profitability of exploitation systems in four rubber tree clones in São Paulo State. Bragantia, Campinas 69(4): 843-854. DOI: https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400009.

Sterling, A., J. Suárez, D. Caicedo, C. Rodríguez, Y. Salas-Tobón and Y. Virgüez-Diaz. 2015. Crecimiento inicial de clones promisorios de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. en sistema agroforestal en Caquetá, Colombia. Colombia Forestal 18(2):175-192. DOI: http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a01.

ADOPCIÓN DEL IXPEPE (*Trema micrantha* (L.) Blume) COMO ESPECIE MADERABLE EN EL SOMBREADO DE CAFETALES

Rosalío López Morgado[1*], Luis Eduardo García Mayoral[1], Rafael Iván Granados Argüello[2] y Rafael Alberto Guajardo Panes[1]

Resumen

El Ixpepe (*Trema micrantha* (L.) Blume), es una especie forestal maderable de crecimiento rápido, con individuos que alcanzan alturas de hasta 20 m y diámetros de más de 40 cm, presente en el sombreado de cafetales con frecuencia alta. En municipios de la zona centro de Veracruz y de las zonas serranas del nororiente y norte de Puebla, las cuatro especies con mayor frecuencia de mención, por su presencia en el estrato de sombreado en el cafetal, son: 1. Chalahuite: (*Inga* spp), 2. Ixpepe: (*T. micrantha*), 3. Cedro: (*Cedrela odorata*), y 4. Jinicuil: (*Inga jinicuil*). Esto conforme a entrevistas semiestructuradas aplicadas a productores de café, en siete municipios; cinco en la zona centro del estado de Veracruz y dos al norte del estado de Puebla. La entrevista contempló un cuestionario con siete enunciados o ítems sobre las bondades de *T. micrantha*, estructurándose el cuestionario con cinco alternativas o categorías por enunciado, que iban de "pésimo" (1) a "excelente" (5), teniéndose como resultado que los siete enunciados tuvieron tendencia, en mayor o menor grado, a las calificaciones de regular hacia lo más deseable (del 3 al 5), con una fiabilidad regular de acuerdo con el Coeficiente Alpha de Cronbach para este tipo de escalas (escala Likert). Las acciones que anteceden tuvieron como objetivo estimar la percepción de los productores de café sobre atributos agronómicos de la especie *T. micrantha* a fin de contar con ciertos indicadores del potencial de adopción de este árbol en la conformación de la estructura del estrato de sombreado de los cafetales. Los ítems de calidad de sombra, calidad de la madera, visita de las aves al árbol, hospedante de organismos benéficos y especie melífera, registraron correlaciones entre sí,

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. lopez.rosalio@inifap.gob.mx
[2] Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana

con base a la frecuencia de respuestas hacia los valores más altos en la escala Likert utilizada, a fin de estimar posibilidades de adopción de *T. micrantha* como árbol de sombra.

Palabras clave: especies arbóreas, estrato de sombra, entrevista, escala Likert

Introducción

El rendimiento de café cereza por unidad de superficie al término de un ciclo de cultivo en el cafetal bajo sombra, es resultado de una interacción multifactorial, en la cual destaca el estrato arbóreo de sombreado (López *et al*., 2018), por lo que se hace necesario sustentar experimentalmente las bondades de la presencia de árboles de sombra en la producción de café (Muschler, 2000). A la fecha, los cafetales bajo sombra reflejan una agroforestería (SAF-Café) incipiente fundamentada en saberes campesinos (Budowski, 1993), donde el conocimiento que los productores tienen sobre el manejo silvícola del estrato arbóreo de sombreado, es aún escaso (Muschler, 2000).

Sin embargo, los SAF-Café posibilitan altos niveles de fructificación si se mantiene en niveles óptimos la intensidad del sombreado (Farfán y Sánchez, 2016). Por lo que es necesario que el estrato arbóreo esté compuesto por especies forestales locales, las cuales son, fenológicamente, mejor conocidas por los cafeticultores (López *et al*., 2013). Las especies de crecimiento rápido, llamadas “pioneras”, exigentes de claros en los ecosistemas forestales (Pennington y Sarukhan, 2012), al ser introducidas en el sombreado de cafetales; pueden alcanzar su ciclo de turno antes de los 15 años, caso contrario para las especies de crecimiento lento, también llamadas especies “clímax”, que pueden demandar más de 30 años para su aprovechamiento (Burns *et al*. 1998; López *et al*., 2020).

El cultivo de café bajo sombra de Ixpepe (*T. micrantha*), observado durante ocho ciclos anuales de cultivo con manejo agroforestal, registró rendimientos promedio de 32.9 quintales por hectárea (Qq/ha), cuando el cafetal se estableció en un arreglo de hileras sencillas (HS; 2 x 1.5m: 3333 cafetos y 278 árboles) y de 23.7 Qq/ha en hileras dobles (HD; 1.5 x1.5 x 3m: 2666 cafetos y 333 árboles), con lo cual la productividad por hectárea, en función de la densidad de cafetos, propició diferencia estadística significativa; asimismo, se midieron la altura y el

diámetro en diferentes edades para generar modelos de crecimiento de los árboles de sombra de *T. micrantha*, bajo los dos arreglos de plantación, estimándose el volumen de madera acumulado en el tiempo y precisándose turnos de aprovechamiento de 8.4 y 9.6 años para HS e HD respectivamente, acumulando un volumen total de madera en rollo (m^3/ha) de 191.22 (HS) y 316.85 (HD) (López y García, 2019). Estos resultados confirman la naturaleza de crecimiento rápido de *T. micrantha*, con incrementos anuales mayores a 20 m^3/ha (López *et al*., 2020).

En acuerdo con lo que antecede, una de las alternativas técnicas para tener rentabilidad en las fincas cafetaleras, es diversificarlas en su componente "árboles de sombra", utilizando especies nativas que den un buen sombreado al cafetal y tengan valor comercial por sus productos maderables (Quintanar, 2010), sin dejar de considerar a los cafetales como sitios de conservación de especies locales, refugio de aves migratorias y espacios de belleza escénica (Faminow y Ariza, 2001). Por lo que el objetivo del presente trabajo fue estimar la percepción de los productores de café sobre atributos agronómicos de la especie *T. micrantha* a fin de discernir sobre el grado de potencial de adopción de esta especie arbórea nativa en la conformación de la estructura del estrato arbóreo de los cafetales. Bajo ese contexto, las acciones se centraron en un sondeo diagnóstico a base de talleres cuyos contenidos estuvieron referidos a reseñas de eventos de transferencia de tecnología sobre la especie en mención, realización de entrevistas semiestructuradas y aplicación de instrumentos que registraran saberes y conocimiento local (Campilan y Prain, 2003) sobre *T. micrantha.*

Materiales y Métodos

Se realizó un diagnóstico en una primera aproximación sobre saberes y actitudes de los cafeticultores ante *T. micrantha* en el espacio geográfico conformado por la Sierra Norte y Nororiente de Puebla y la subzona centro-centro del estado de Veracruz; esto durante el segundo semestre de 2021. En la Sierra Norte se trabajó en la comunidad de Xomotla, Mpio. de Pahuatlán, y en la Sierra Nororiente en el Municipio de Cuetzalan; en tanto que en el estado de Veracruz las actividades se llevaron a cabo en los municipios de Alto Lucero, Coatepec, Cosautlán de C., Teocelo y Tlaltetela. Este espacio conformado por siete municipios

prominentemente cafetaleros, contemplan en conjunto, por su ubicación (Figura 1), varios tipos de vegetación en los que predomina el bosque de niebla. Donde poblaciones incoetáneas de individuos de Ixpepe suelen conformar pequeños rodales. En este contexto, familias productoras de café representaron la población objetivo, trabajando con quienes ya tienen en sus cafetales individuos de *T. micrantha* o bien los que han tenido en la estructura del estrato arbóreo de sombreado. Se elaboró una entrevista semiestructurada, la cual contempló como factores a los productores, variables de la unidad de producción y la estructura de los cafetales, básicamente, para esto último; las variedades de café y los árboles presentes en el estrato de sombreado.

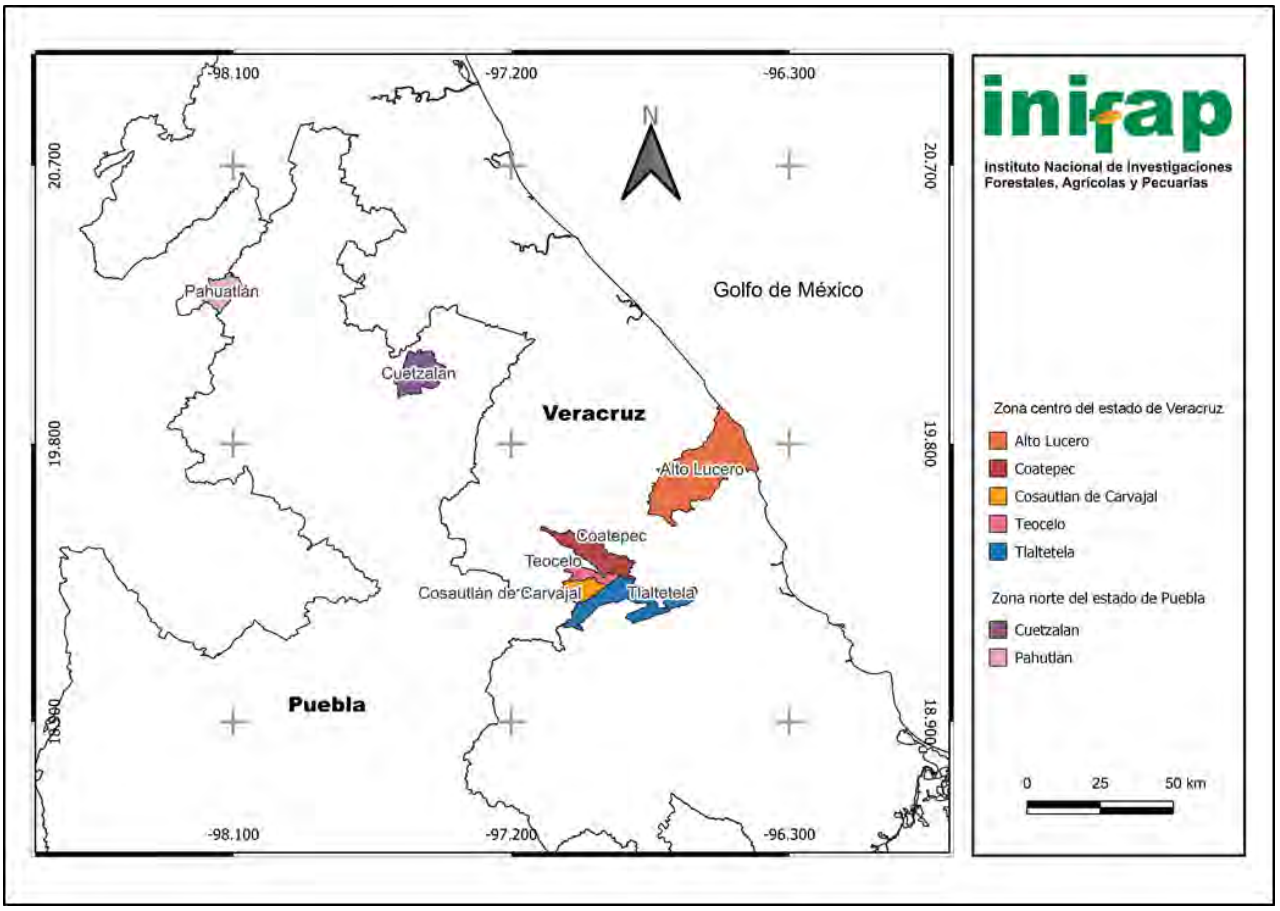


Figura 1. Ubicación de los municipios en los cuales se realizaron los registros del sondeo diagnóstico de adopción de *T. micrantha* como árbol de sombra en cafetales.

Se aplicaron 76 entrevistas bajo un esquema de muestreo no probabilístico en donde las muestras de población fueron seleccionadas de acuerdo a la disponibilidad de entrevistados

en las localidades de los municipios donde se realizaron talleres de inducción, aplicándose las entrevistas a quienes mostraban cierto grado de adopción de la especie en referencia, mediante dos instrumentos: la entrevista semiestructurada (Otzen y Manterola, 2017) la cual se basó en tres factores, tal como se muestra en el Cuadro 1, y un cuestionario de apreciación de atributos de la especie, mediante una escala tipo Likert (Matas, 2018), una técnica de medida de factores como creencias, actitudes, preferencias entre otros (Cuadro 2). Para cuyo análisis se realizó la homogenización de la escala Likert, de tal manera que todos los ítems siguieran un patrón de categorización ascendente del 1 al 5; significando 1 el valor menos deseado y 5 el más anhelado (Frías-Navarro, 2022). Homogenizada la escala, se estimó la relación entre ítem como una función del número total de estos y su correlación media utilizando el programa SPSS versión 28.0 (IBM, 2021) de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{N(\bar{r})}{1 + (N-1)(\bar{r})}$$

En donde:
N= al número de ítems
$\bar{r}$= correlación media entre ítems

Cuadro 1. Factores y variables, así como indicadores considerados en la entrevista semiestructurada.

Factores	Variables	Indicadores
Los productores	Datos personales Escolaridad Tenencia de la tierra	Género y edad. Grado de escolaridad. Ejidal, rentada, pequeña propiedad, otra.
La unidad de producción	Tamaño de la finca Textura del suelo Fase lítica	Superficie en producción de café. Arcillosa, arenosa, limosa, franco arcilloso. Alta, media, leve, escasa.
Estructura del cafetal	Especies de sombra Variedades de café	Nombre común de árboles de sombra. Variedades de café en la finca

El mayor número de entrevistas fue llevado a cabo en el estado de Veracruz debido al número de municipios en que hubo oportunidad de realizar talleres y aplicar los instrumentos en referencia, lo cual se debió a que productores y productoras de forma directa o indirecta se les había transferido previamente la tecnología referida a los atributos de Ixpepe (*T. micrantha*) como árbol de sombra en los cafetales. Sin embargo, en todos los municipios contemplados, se observó disposición de los entrevistados asistentes a dar respuesta a las interrogantes contenidas en los instrumentos que les fueron mostrados, no obstante, siempre se optó por

aplicar la entrevista a una proporción de los asistentes dependiendo de su número y cantidad de comunidades de procedencia.

Cuadro 2. Enunciados o ítems considerados en el cuestionario de sondeo de opinión sobre los atributos de la especie *T. micrantha*.

Atributos		Escala
1	Calidad de la sombra de este árbol	1 Muy mala, 2 Mala, 3 Regular, 4 Buena, 5 Excelente
2	Calidad de la madera de este árbol	1 Muy mala, 2 Mala, 3 Regular, 4 Buena, 5 Excelente
3	Árbol que compite por agua con los cafetos (reseca el suelo)	1 Demasiado, 2 Mucho, 3 Regular, 4 Poco, 5 Muy poco
4	Este árbol es preferido por la avifauna (visitado por las aves en época de fructificación	1 Muy poco, 2 Poco, 3 Regular, 4 Mucho, 5 Demasiado
5	Este árbol es "visitado" por las abejas en época de floración (especie de árbol melífero)	1 Muy poco, 2 Poco, 3 Regular, 4 Mucho, 5 Demasiado
6	Calidad de leña en sus diversos usos	1 Muy mala, 2 Mala, 3 Regular, 4 Buena, 5 Excelente
7	Hospeda algún organismo benéfico (alimento, medicinal, control biológico u otro)	1 Muy poco, 2 Poco, 3 Regular, 4 Mucho, 5 Demasiado

Número de entrevistados

Finalmente, la encuesta abarcó una población de 76 entrevistados, 11 mujeres y 65 hombres, con una distribución casi uniforme a excepción del municipio de Cosautlán de Carvajal donde sólo se entrevistaron a cinco participantes. Mientras que sobresalen Alto Lucero y Cuetzalan con 14 entrevistados (Cuadro 3).

La realización de talleres de inducción al tema fue contemplada para que se facilitara la explicación de motivos de la entrevista y el cuestionario, así como la forma en que se debían responder ambos instrumentos. Para la sistematización de los datos y su análisis, se diseñó una base de datos en Microsoft Excel© en la cual se hizo la captura de respuestas de las 76 entrevistas, así como del cuestionario de escala Likert. Se ingresó cada una de las respuestas de las variables de mayor interés en cada uno de los eventos en los municipios considerados. Para corroborar la fiabilidad y consistencia de la escala Likert, se calculó el coeficiente Alpha de Cronbach (Kerlinger y Lee, 2002).

Cuadro 3. Entrevistas realizadas incluyendo un cuestionario de escala tipo Likert, y su distribución entre estados y municipios.

Veracruz		Puebla	
Municipio	**Entrevistas**	**Municipio**	**Entrevistas**
Alto Lucero	14	Cuetzalan	14
Coatepec	12	Pahuatlán	10
Cosautlán de Carvajal	5		
Teocelo	9		
Tlaltetela	12		
Total	**52**		**24**

Resultados y Discusión

Análisis descriptivo

Los productores. De forma general, los 76 entrevistados mostraron una media de edad de 53 años, con una media mínima de 42 y una media máxima de 63 años; con una superficie promedio plantada con café de 1.42 hectáreas. En escolaridad, el 24.3% tiene primaria completa, el 21. 4 secundaria completa, el 10% tiene preparatoria terminada y el 17.1% tiene estudios universitarios (nivel superior).

La unidad de producción. Predominan los suelos de tipo arcilloso con un 63.5%, seguido del suelo con textura limosa con un 25.7%. En el color del suelo sobresale el café oscuro (65.8%), seguido del café claro con el 23.7%. Éstos presentan una “pedregosidad” leve en 44.7%, seguido de niveles de media a escasa con 27.6 y 23.7%, respectivamente; es decir, en el espacio geográfico abarcado por los municipios en que se dieron las entrevistas, apenas el 3.9 de los terrenos con cafetales contiene una fase lítica alta (3.9%). La forma predominante de tenencia de la tierra es pequeña propiedad con un 50%, seguida de la ejidal con un 46%; el resto es predominantemente superficie rentada.

Estructura del cafetal. Los cafetales están constituidos principalmente con las variedades Costa Rica-95 (22.6%), Oro Azteca (15.3%), Marsellesa (12.1%), Typica (11.3%); entre el resto predominan Geisha, Colombia, Sarchimor T-5296, Garnica, Borbón y otras más con porcentajes mínimos. Por otro lado, los árboles con mayor mención por su presencia en el

estrato de sombreado, destacan Chalahuite (24.8%), Ixpepe (14.1%), Cedro (9.5%) y Jinicuil (5.3%), siguiéndole un listado de 34 especies con menos del 3% de mención. También existe la presencia de 27 especies frutales, donde destacan en frecuencia de mención naranjos, plátanos, mango, guayaba, mandarina, lima, macadamia y aguacate. Sin embargo, se destaca que los cafetales representan un espacio importante de conservación de recursos genéticos maderables y no maderables, así como de especies frutales locales.

Las estadísticas descriptivas que anteceden contextualizan uno de los principales argumentos para rechazar la presencia de *T. micrantha* en el sombreado de cafetales, cuya característica que destacan los productores es su alta "demanda de agua" que "reseca el suelo" y afecta a los cafetos; un punto de vista que sí podría aplicar en bajas altitudes donde la precipitación es menos abundante que en áreas con mayor altitud, asimismo la temperatura contribuiría en "tierras bajas" por ser más intensa la insolación y ocasionar mayor evaporación de agua. Sin embargo, se vio que se trata de suelos con baja pedregosidad, de textura arcillosa y coloración predominante café oscuro, lo cual sugiere suelos pesados con altos contenidos de materia orgánica y capacidad de retención de humedad (Geissert *et al*., 2020). Tales características edáficas, se verían favorecidas por la abundante y diversa cobertura arbórea que también se ve reflejada en este apartado de estadísticas descriptivas. Lo expuesto hasta aquí, atenuaría el hecho de que una especie de crecimiento rápido, como *T. micrantha*, demandante de mucha agua, tendría competencia con los cafetos por agua en el suelo, sobre todo cuando la cobertura arbórea, contribuye en la ralentización de la evapotranspiración, sin soslayar el buen manejo silvícola que debe hacerse de la especie (López y García, 2019).

Análisis cuantitativo

Escala Likert. En el cuestionario de sondeo de opinión mediante escala Likert, se observó que el enunciado: "árbol que compite por agua con los cafetos (reseca el suelo)", va de niveles de regular a muy poco, por lo que el supuesto antes asentado se vería confirmado con las respuestas otorgadas por el grupo de productores de café entrevistados (Figura 2).

Otros atributos de la especie, como calidad de sombra, calidad de madera, calidad de leña, potencial melífero y "amigable" con las aves; tienen una similar tendencia de respuesta, cargándose hacía las respuestas positivas de la escala, variando únicamente el enunciado referido a: "hospeda algún organismo benéfico", lo cual podría explicarse por lo "ajeno" que le

sería al entrevistado lo de “organismo benéfico”, o bien, ha observado tal fenómeno en el árbol y desconoce que éste entraría en esta categoría.

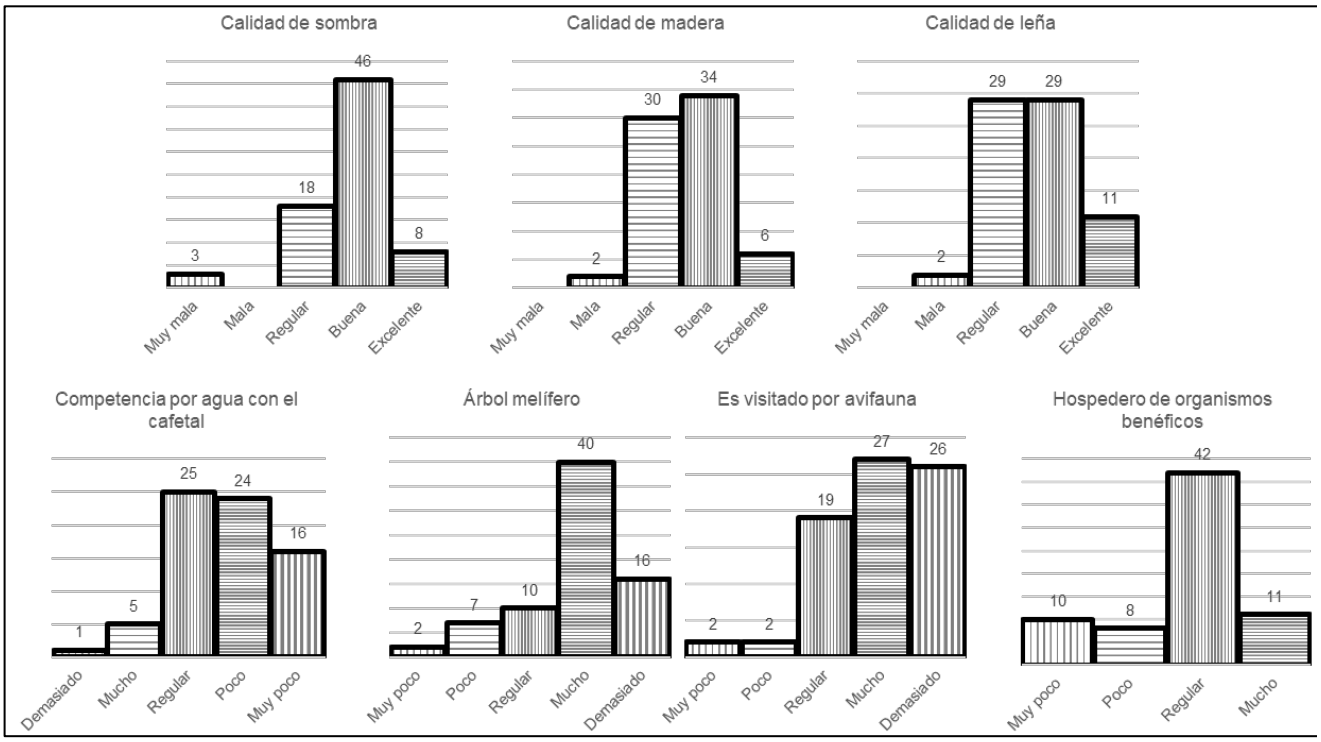


Figura 2. Comportamiento de las percepciones, por parte de los entrevistados, ante los enunciados al calificarlos mediante una escala tipo Likert.

Por ejemplo, es de resaltarse lo observado por un productor de la comunidad de Rincón Toningo, Mpio. de Tlatetela, Ver., quien expuso que las abejas meliponas “prefieren” las oquedades en el fuste del Ixpepe para hacer la “colmena”, en comparación con otras especies arbóreas; es más, recalcaba que cuando la madera de *T. micrantha* se utiliza para hacer los “cajones” de la colmena de meliponas, en forma notoria y tangible, el enjambre coloniza de mejor manera, que cuando se utiliza madera de cualquier otra especie. Esto debe tomarse como un testimonio del conocimiento local recogido a través de los talleres participativos de inducción, desconociéndose alguna referencia documentada al respecto.

Coeficiente Alpha de Cronbach (CoAC). Para el análisis de confiabilidad, mediante el CoAC, se validaron 61 entrevistas (80.3%) de las 76 aplicadas, lo anterior debido a la omisión de respuestas en algún ítem por parte del entrevistado. La media de toda la escala fue de 25.4 y la varianza de 9.01. Los ítems que registraron la correlación mínima sugerida, según Frías-

Navarro (2022), para escalas de este tipo, fueron las resultantes entre los ítems: 1. Visitado por avifauna-Árbol melífero (0.365), 2. Calidad madera-Calidad sombra (0.264), 3. Visitado por avifauna-Organismos benéficos (0.229), y 4. Visitado por avifauna-Organismos benéficos (0.229). Las correlaciones entre los demás ítem estuvieron por debajo de 0.2 de correlación. Este coeficiente se ve altamente afectado por una baja correlación entre ítem, lo cual puede resultar debido a factores como: características de los participantes, efecto del encuestador sobre el encuestado y la forma en que se estructuran las respuestas dentro de la escala.

Las correlaciones mayores que 0.2 ocasionaron que el CoAC estimara un valor de 0.455 para la escala Likert. Valor que se clasifica como regular y que da fiabilidad al instrumento utilizado para generar percepciones del productor de café sobre *T. micrantha*. Esta fiabilidad únicamente indica que hay congruencia entre las respuestas de percepción emitidas por los entrevistados, sobre los enunciados o ítem y la estructuración del cuestionario utilizando la escala Likert.

Conclusiones

1. La adopción de la especie *T. micrantha* utilizada como especie de sombra tiene altas expectativas entre los productores de café por ser maderable y de buen sombreado, presentar competencia mínima por agua del suelo con los cafetos, tener floración con propiedades melíferas, fructificación abundante que la hace “amigable” con las aves”, es hospedera de organismos benéficos (caso de meliponas) y no se ha observado que sea potencialmente hospedero de plagas y enfermedades del cafeto.

2. Un conocimiento apropiado de los atributos del árbol Ixpepe (*T. micrantha*), por parte de los productores, potenciaría saberes base que en cierta medida podrían favorecer un mayor grado de adopción de esta especie para formar parte de la estructura del estrato de sombreado del cafetal.

3. El Ixpepe, en su etapa de fructificación, es altamente visitado por la avifauna local para la ingesta de frutos, lo que le permite a la especie “asegurar” el esparcimiento de sus semillas en áreas bastante amplias, hecho que suscita la emergencia de plántulas de *T. micrantha* en vastas superficies de cafetales, que mediante la difusión de sus bondades como especie de

sombreado y demás atributos, se propicia la posibilidad de que los productores procuren que los arboles crezcan y se desarrollen dentro de los cafetales o los reacomoden como árboles en línea o en linderos entre parcelas, con lo cual se favorece su presencia en el paisaje.

4. Además del sombreado y sus bondades ecológicas, esta especie provee de leña a las familias rurales productoras de café cuando los árboles se podan o se hacen sacas para disminuir número de árboles en pro de un nivel óptimo de sombreado. Así, los árboles de Ixpepe que van ganando edad, pueden ser aprovechados de los 10 años en adelante para la obtención de madera, una cualidad importante de la especie.

Literatura Citada

Budowski, G. 1993. Agroforestería: una disciplina basada en el conocimiento tradicional. Revista Forestal Centroamericana 2(3):14-18.

Burns, R. M., M. S. Mosquera y J. L. Whitmore. 1998. Árboles útiles de la región de América del Norte. Comisión Forestal de América del Norte. Publicación No. 3. Washington, D. C., EE-UU. 291 p.

Campilan, D. y Prain, G. 2003. Usando el conocimiento local para conservar la diversidad del camote en Filipinas. p. 91-96. *In*: CIP-UPWARD. Conservación y uso sostenible de la biodiversidad agrícola: libro de consulta. Centro Internacional de la Papa-Perspectivas de los Usuarios con la Investigación y el Desarrollo Agrícola (tres tomos). Los Baños, Laguna, Filipinas.

Faminow, M. D. y E. Ariza R. 2001. Biodiversidad de la flora y de la fauna en los sistemas de café de sombra. Informe a la Comisión para la Cooperación Ambiental. Latin American Regional Office. www.cec.org/files/pdf/ECONOMY/ICRAF. [consultado el 13 de septiembre de 2007].

Farfán, V. F. y P. M. Sánchez A. 2016. Densidades de siembra del café Variedad Castillo en sistemas agroforestales, en el departamento de Santander-Colombia. Revista Cenicafé 67(1):55-62.

Frías-Navarro, D. 2022. Apuntes de estimación de la fiabilidad de consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida. Universidad de Valencia. España. Disponible en: https://www.uv.es/friasnav/AlfaCronbach.pdf [consultado el 13 de julio de 2022].

Geissert, D., I. Barois, L. Monge, R. Carrera, N. Martínez, J. López, K. Maas y M. de Los Santos. 2020. Los suelos cafetaleros del Centro del Estado de Veracruz: propiedades físicas, químicas y biológicas. p. 261-284. *In*: López, M. R. y G. Díaz P. (comps.) Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: estudios regionales y de caso.

INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla/Sitio Experimental Teocelo. Medellín, Ver., México.

IBM Corp. Released 2021. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY.

Kerlinger, F. y Lee, H. B. 2002. Investigación del comportamiento. Métodos de investigación en Ciencias Sociales. México: Mc Graw-Hill. pp. 21-24.

López, M. R., J. G. Salazar G. y L. E. García M. 2020. Crecimiento de árboles de sombreado y producción de café en un sistema agroforestal: resultados experimentales. p. 200-230. *In*: López, M. R. y G. Díaz P. (comps.) Diagnóstico, productividad y ambiente en cafetales: estudios regionales y de caso. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla/Sitio Experimental Teocelo. Medellín, Ver., México.

López, M. R. L. E. García M. 2019. Atributos productivos de la especie nativa maderable Trema micrantha L. (Blume) en el sombreado de cafetales. p. 1176-1191. *In*: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., A. L. Del Ángel P. *et al*. (comps.). Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático. INIFAP, Colpos, UACh, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín de B., Ver., México. Año 3. Núm. 1.

López, M. R., G. Díaz P., J.G. Salazar G., L.E. García M. y R. A. Guajardo P. 2013. Árboles nativos en el sombreado de cafetales: caso de la zona centro del estado de Veracruz. 1ª Ed. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz. 184 p.

López, M. R., L. E. García M. y R. A. Guajardo P. 2018. Rendimiento de la variedad de café costa rica-95 bajo el sombreado de ocho especies arbóreas. p. 450-461. *In*: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., A. L. Del Ángel P. *et al*. (comps.). Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático. INIFAP, Colpos, UACh, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín de B., Ver., México. Año 2. Núm. 1.

Matas, A. 2018. Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. Revista Electrónica de Investigación Educativa *20*(1): 38-47.

Muschler, R. G. 2000. Árboles en cafetales. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. CATIE. IICA. Turrialba, Costa Rica. 139 p.

Otzen, T. y Manterola, C. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. International Journal of Morphology. 35(1): 227-232.

Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2012. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de especies. 3ra. Edición. Fondo de Cultura Económica -Ediciones Científicas Universitarias-UNAM. México, D. F. 523 p.

Quintanar, O J. 2010. La sombra en el cultivo del café. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Martinito. Desplegable para Productores Núm. 15. Puebla, México.

DISEÑO DE PROTOTIPO PARA TRANSPORTE DE BRIGADISTAS CONTRA INCENDIOS FORESTALES

Julio Cesar Sánchez Jiménez[1*], Mario Alejandro Álvarez Pérez[1265], Luis Emmanuel Correa Olvera[1] y Raúl Roberto Muñoz Chavez[1]

Resumen

La falta de lluvias, con la ayuda de la mano del hombre, genera los incendios forestales, los cuales son cada vez más comunes. Los responsables de la extinción de éstos son los brigadistas de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Actualmente, los brigadistas se transportan a la zona afectada usando principalmente camionetas de 3 ton de redilas, 4x2 y, en el mejor de los casos, en camionetas de doble cabina 4x4. CIATEQ desarrolló, en conjunto con la Gerencia de extinción de incendios forestales de la CONAFOR y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), un prototipo de vehículo para Transporte de Brigadistas Forestales (TBF), el cual tiene como base un chasis cabina comercial 4x4 con motor a diésel y un habitáculo para transporte seguro y confortable de hasta 9 + 1 brigadistas forestales y las respectivas herramientas para el combate de incendios, además cumple con características todo terreno.

Palabras clave: vehículo, todo terreno, pasajeros

Introducción

México es una de las naciones con mayor número de especies y figura en el cuarto lugar entre los 17 países denominados megadiversos. Las condiciones topográficas y climáticas del país le permiten albergar ejemplos de casi todos los tipos de ecosistemas conocidos del planeta. Cuenta con 138 millones de hectáreas de vegetación forestal, equivalente al 70% del

[1] CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada. *julio.sanchez@ciateq.mx

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal

territorio nacional; de esta superficie, 64.9 millones de ha corresponden a bosques y selvas. En estos territorios habitan, en la actualidad, 11 millones de personas para quienes estos recursos representan un capital natural que debería contribuir a satisfacer necesidades básicas y mejorar su calidad de vida (CONAFOR, 2014).

Dentro de los activos, con los que la CONAFOR cuenta para el control y monitoreo de las áreas forestales, se encuentran, 33 centros de operación, 132 campamentos, 66 torres de observación, sólo 176 brigadas oficiales y 2099 brigadistas especializados en extinción de incendios forestales, 60 carros motobomba, 26 vehículos complementarios de uso de agua y 403 vehículos para coordinación y traslado de brigadistas (SNIF, 2022).

Tradicionalmente y, debido a la cantidad de herramienta que transportan, los brigadistas han sido movilizados usando principalmente camionetas de tres toneladas con redilas. En el mejor de los casos, si la brigada es pequeña, se utilizan camionetas de doble cabina con jaula y cajones. Cuando las condiciones geográficas lo impiden, los brigadistas deben de desplazarse hasta el lugar del incendio usando medios locales, desde animales de carga, carretas o inclusive caminando.

Cuando el medio de transporte tiene la capacidad de llevarlos a pie de incendio, logran acciones más eficaces, puesto que mejoran el tiempo de respuesta, en caso contrario, los tiempos de desplazamiento desde los centros de mando pueden alargarse por jornadas. Disminuyendo, por cansancio, la efectividad de los brigadistas.

La Gerencia de extinción de incendios Forestales solicitó generar las especificaciones técnicas y la fabricación de un prototipo para el transporte de brigadistas, que cumpla con los siguientes requerimientos (CONACYT-CONAFOR, 2010):

- Trasladar de 8 a 10 brigadistas en su interior.
- Compartimentos para el traslado de herramientas y equipos para el combate de incendios.
- Capacidad de carga de 1.5 a 2.0 ton.
- Definición de cilindraje de motor, tipo de tracción, transmisión, dirección, chasis y tamaño de rin-llanta para desarrollo de actividades todo terreno.

Materiales y Métodos

Al igual que cualquier proyecto de desarrollo se inició con una búsqueda de investigación a fondo para conocer las características y necesidades de los usuarios finales. Para cumplir con estas especificaciones se visitaron tres centros de mando (La primavera, Jal., Ensenada y Tecate, BCS.) de brigadistas, donde fue posible colectar, de primera mano, las necesidades y requerimientos de los usuarios y conocer el método actual en que los brigadistas son transportados. La Figura 1 evidencia la forma actual de transporte, aún y cuando la CONAFOR cuenta con otro tipo de vehículos para el personal, son las camionetas de 3.5 ton con redilas el método más común de transporte.



Figura 1. Condiciones actuales de transportes.

De manera paralela a las actividades de recopilación de información se realizó la búsqueda de información del estado del arte a nivel mundial (empresas especializadas, patentes, inventores independientes) y las normatividad nacional o internacional aplicable. En bases de patentes, dos documentos se consideraron relevantes, pero principalmente la patente US4830421 (Rosenbauer, 1987), cuya imagen se presenta en la Figura 2 y que representa el vehículo especializado con mayor afinidad a lo solicitado por CONAFOR, ya que cuenta con capacidad para transporte de personal, equipo para extensión de incendios y depósito de agua y características todo terreno.

Las normas aplicables en el desarrollo del vehículo son:

- Norma NOM-012-SCT-2-2008. Sobre el peso y dimensiones máximas para vehículos de autotransporte en vías federales.

- Norma NFPA 1906. *Standard for wildland apparatus*.
- Proyecto de norma, PROY-NOM-014-SCT-2-1993. Características y especificaciones técnicas y de seguridad para vehículos de más de nueve personas.

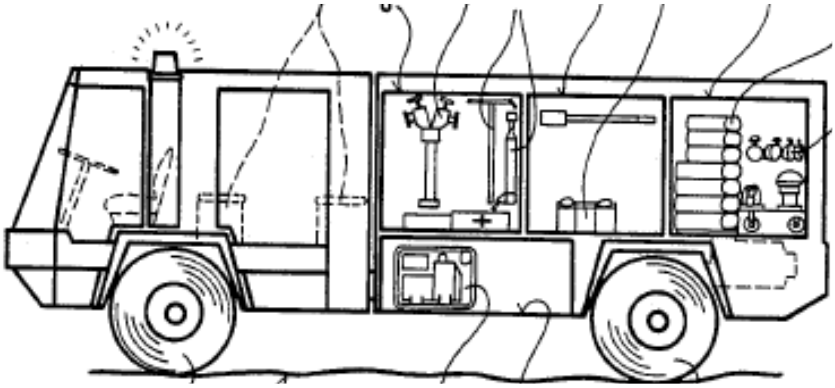


Figura 2. Antecedente de vehículo para transporte de personal y herramientas.

De acuerdo a lo referenciado en bibliografía y, sobre todo, en la Norma NFPA-1906 se identificaron dos mediciones funcionales importantes a cumplir para que un vehículo pueda ser considerado todo terreno. Estas dos mediciones fueron los ángulos de entrada y salida (ángulo **A y S** de la Figura 3), ambos deben superar los 20°, aunque la medición preferente debe ser de al menos 30°. Una segunda medición remarca el ángulo de vado (ángulo **V** de la Figura 3).

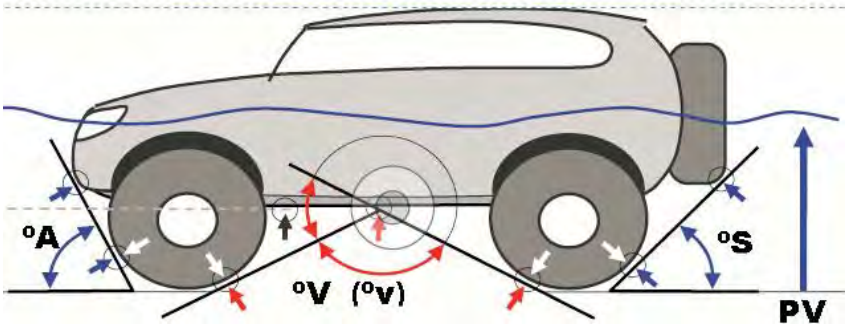


Figura 3. Consideraciones de diseño. Ángulos funcionales importantes.

De igual manera se definieron el resto de características necesarias para el vehículo y se rescataron aspectos relevantes del resto de información colectada en el estudio de estado del arte.

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal

Para lograr que el vehículo a diseñar cumpliera un lenguaje de comunicación visual, se diseñaron tres líneas conceptuales que evocan diferentes emociones o remarcan aspectos a resaltar en el diseño. Las tres líneas conceptuales resultaron de un estudio de funciones y características. Las líneas conceptuales se presentan en las figuras 4, 5 y 6.



Figura 4. Diseño concepto “salvaje”.



Figura 5. Diseño concepto “dinámico”.

La Figura 4 transmite los aspectos salvajes de los escenarios a los cuales se enfrentan los brigadistas. De manera similar, la Figura 5 resalta el aspecto dinámico de las acciones de los brigadistas. La Figura 6 enmarca la necesidad de protección que requieren los brigadistas en sus actividades, así como el aspecto protector que brindará el vehículo a los combatientes. De los tres aspectos a resaltar se seleccionó la mezcla del diseño “salvaje” con el diseño “protector”. De esta mezcla de conceptos se obtuvo el diseño exterior del vehículo.

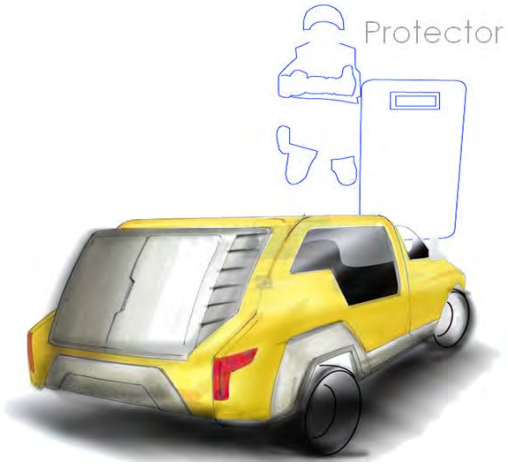


Figura 6. Diseño concepto “protector”.

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal

Paralelamente a los diseños conceptuales, se realizaron pruebas de torsión y carga útil a una camioneta chasis cabina RAM 4000. Las pruebas de torsión implicaron aplicar la carga máxima permisible (3.5 ton) sobre su parte posterior mientras sube, en diferentes configuraciones, rampas de 300 mm de altura, verificando que en ningún momento las llantas pierdan contacto con el piso (figuras 7 y 8) y monitoreando la inclinación (torsión) del chasis.

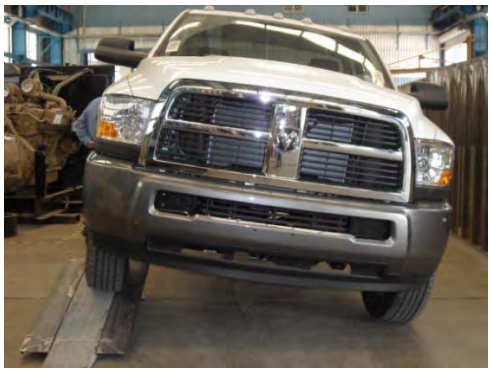


Figura 7. Prueba de torsión, carga máxima. Vista frontal.



Figura 8. Prueba de torsión, carga máxima. Vista posterior.

Determinada la capacidad de carga y torsión del chasis seleccionado se realizaron pruebas de estereotomía, las cuales ayudan a dimensionar los conceptos de diseño conceptual. La Figura 9 muestra la prueba de esteorotomía para dimensionar, de manera artesanal, el interior de la cabina posterior.



Figura 9. Prueba de esteorotomía.

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal

Debido a la experiencia acumulada en el desarrollo de vehículos para propósitos especiales, se tomó la decisión de realizar el diseño virtual del vehículo llevando a cabo verificaciones numéricas y virtuales de su comportamiento. Esto implicó la realización de modelos para análisis de fluidos, internos y externos, análisis estructurales de estado estable, análisis dinámicos de cuerpos rígidos, simulaciones de eventos discretos y levantamientos, por nubes de puntos, de partes comerciales con geometrías no definidas.

Se construyó un modelo CAD tridimensional para evaluación de la aerodinámica del vehículo, comparado contra dos modelos tradicionales: un chasis cabina (sin estructura en la parte posterior) y un vehículo con caja posterior rectangular; la Figura 10 muestra el modelo simplificado propuesto.

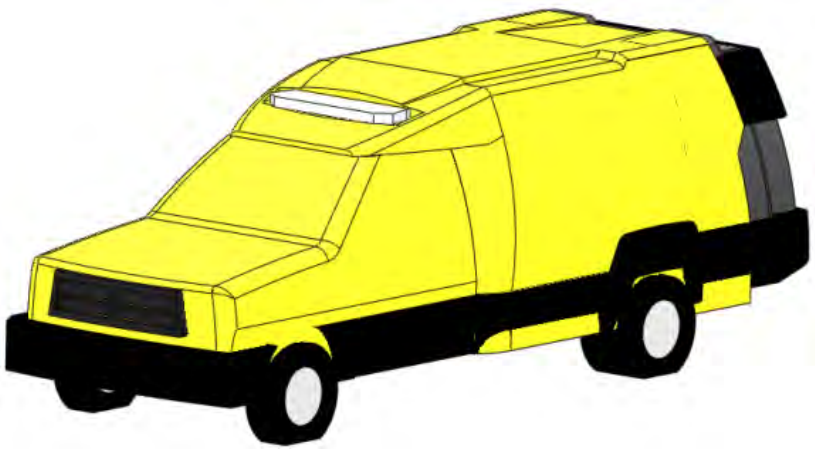


Figura 10. Modelo simplificado para simulación aerodinámica.

La Figura 11 muestra un detalle de las líneas de flujo de velocidad alrededor del modelo propuesto. Para lograr la evaluación cuantitativa de los modelos fue necesario realizar análisis de campos acoplados fluidos-estructurales, de esta manera se conocen las reacciones en los puntos de apoyo (Hucho *et al.*, 1998) dependiendo de la configuración del modelo y evaluar cada escenario.

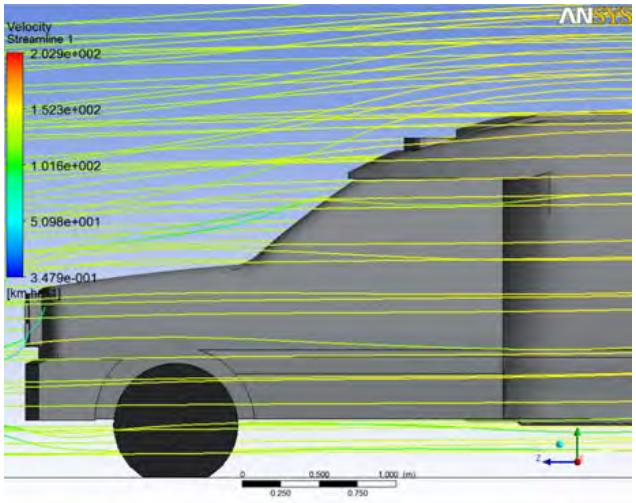


Figura 11. Detalle de líneas de flujo, modelo propuesto.

Tanto para los análisis de flujo interno como externo se usó el software CFX para propósitos generales en CFD de ANSYS.

Por la parte estructural el modelo tridimensional es el mostrado en la Figura 12, en ella se aprecia la secuencia de capas que forma la cabina posterior.

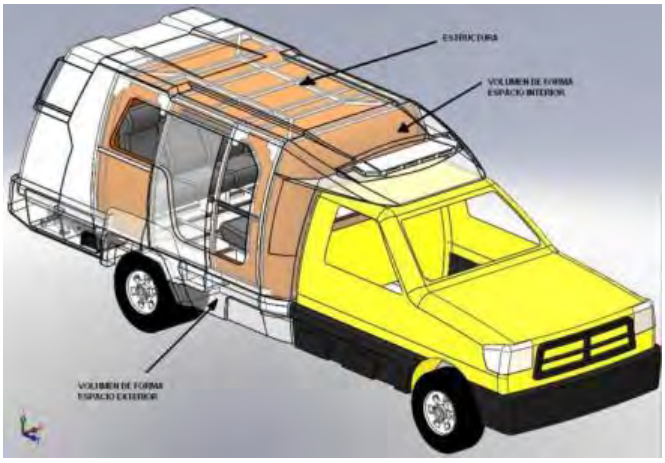


Figura 12. Diseño mecánico funcional estructural.

Los resultados del análisis estructural de la cabina posterior se pueden revisar en la Figura 13.

Para este modelo se evaluaron en estado estable tres escenarios extremos:

- Choque frontal y trasero.
- Choque lateral.
- Volcadura (rodado).

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal

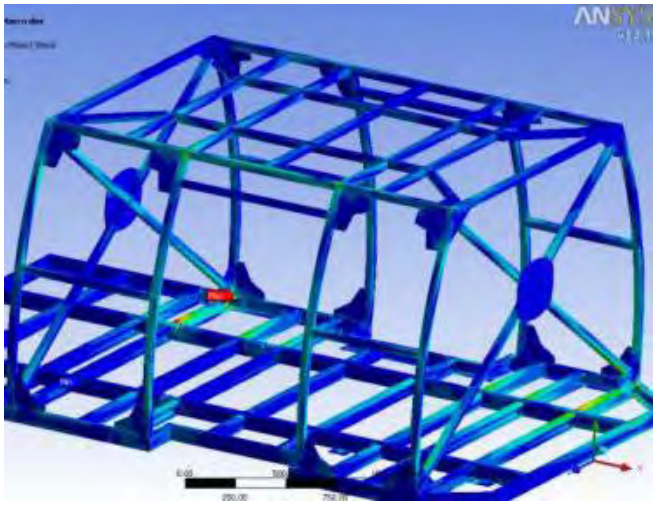


Figura 13. Resultados de análisis estructural.

El objetivo de la simulación fue determinar que la deformación, sin importar el escenario, obtenida no hace colapsar la estructura, salvaguardando la integridad física de los brigadistas. De igual manera, se realizaron análisis de resistencia estructural para los componentes: tumbaburros, base del *winch*, escalera posterior y escalones laterales. En todos los casos, la simulación estructural en estado estable se usó el software de elemento finito de propósitos generales ANSYS.

Para realizar la estimación del comportamiento dinámico del vehículo ante diferentes terrenos y obstáculos, fue necesaria la evaluación virtual del modelo mecánico con propiedades físicas. Para las simulaciones dinámicas de cuerpos rígidos se prepararon diferentes terrenos virtuales (Guillespie, 1992) sobre los cuales se deseaba que el vehículo se sometiera y éstos varíaron en complejidad y longitud dependiendo de la característica a evaluar. En esencia los terrenos cuentaron con obstáculos en diferentes configuraciones y pendientes tanto positivas como negativas en el plano longitudinal y transversal. En la Figura 14 se observa la camioneta con el habitáculo simplificado pasando por una serie de topes alternados.

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal

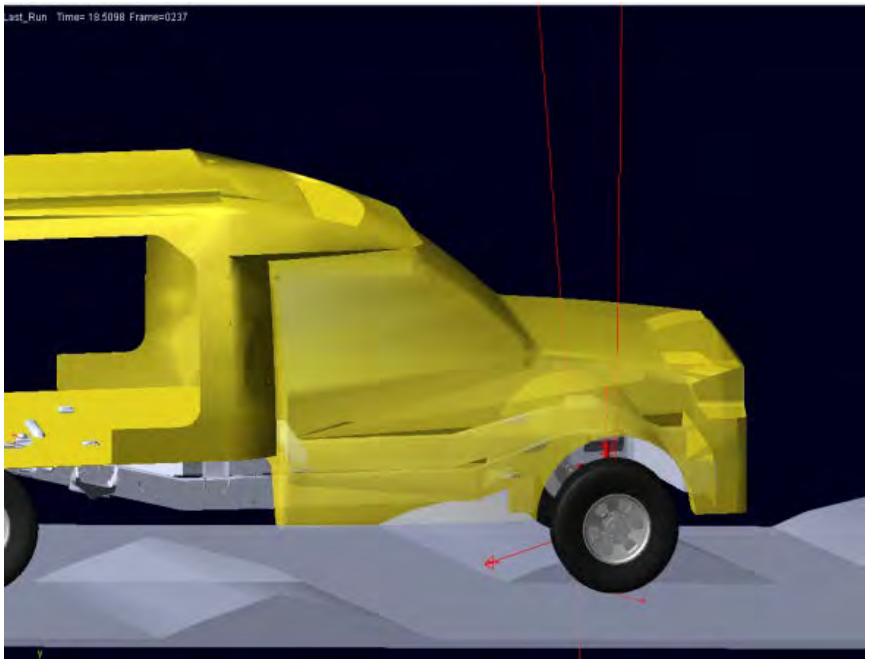


Figura 14. Simulación dinámica de cuerpos rígidos.

En la simulación dinámica de cuerpos rígidos se evaluo también la potencia requerida para superar los obstáculos. Los modelos dinámicos se analizaron en el software de MSC/ADAMS. Debido a las tareas inherentes a las que está expuesto el TBF, se requiere de protección ignífuga o retardante a la flama en todos los componentes y materiales usados en la fabricación de la cabina. Para propósitos específicos del TBF se desarrollaron fibras de vidrio con carga ignífuga. Entre las paredes del vehículo se cuentó con espumante, el cual cumple con dos principales funciones, primero aislar, acústicamente, la cabina del exterior y como segundo propósito, retardar la flama. El interior quedo recubierto, de manera austera, por láminas de ABS cuyo punto de reblandecimiento fue superior a los 100°C. El exterior del vehículo quedó protegido, de igual manera, por pintura con carga ignífuga de múltiples capas.

Al igual que para el aspecto exterior del TBF, se diseñaron los espacios interiores, los cuales correspondieron a la misma línea de diseño conceptual expresada en el exterior. El diseño interior se muestra en la Figura 15.

Concluido el diseño, la verificación y el proceso de fabricación, se sometió el prototipo de TBF al protocolo de pruebas, el cual incluyó pruebas de inclinación, de manejo, de torsión y de activación y operación de bloqueos de diferencial.



Figura 15. Diseño interior, TBF.

Resultados y Discusión

Se muestra en las figuras 16 y 17 la prueba de torsión al chasis. Debe notarse en la Figura 20 que la llanta frontal “escala” sobre una piedra y provoca inclinación de 16° sobre el eje longitudinal y 4° sobre el eje transversal (de acuerdo al inclinómatro biaxial con el que se equipó el TBF). Estando éstos sobre la parte de valores permitidos verficado en las evaluaciones virtuales. El protocolo de pruebas fue superado sin problemas por el vehículo. Bajo otras condiciones se llevó el TBF a inclinaciones longitudinales de hasta 19° y de 10° en el eje transversal. De igual manera se comprbó la activación y el funcionamiento de los bloqueos de diferencial.



Figura 16. Prueba de torsión, TBF.

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal



Figura 17. Prueba de torsión. Vista posterior, TBF.

La Figura 18 muestra, en vista general, el vehículo terminado, el cual tiene capacidad para 9 + 1 pasajeros, 220 litros de agua, 50 litros de aire comprimido, *winch* eléctrico de 9,000 lb, bloqueos de diferencial de activación remota neumática, un juego completo de herramientas para la extinción de incendios forestales, llantas elevadas todo terreno, iluminación led y enganche posterior desmontable para remolque con capacidad de 1,000 kgf.



Figura 18. Perspectiva general de TBF.

Protección Manejo del Fuego y Salud Forestal

Conclusiones

1. CIATEQ desarrolló, por primera vez en su historia, un vehículo para circular cotidianamente por carreteras federales y que debe de cumplir y sobrepasar las características de seguridad puesto que, también, es el primer vehículo que diseña y fabrica para propósitos específicos de transporte de personas. 2. Permitió la capacitación de personal especializado, así como el desarrollo nuevas capacidades analíticas logrando la verificación del diseño en ambientes virtuales. 3. CIATEQ desarrolla por primera vez un vehículo en los cuatro principales ambientes virtuales referenciados en bibliografía.

Agradecimientos

Al Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT a través del proyecto 137709 por el financiamiento del desarrollo.

Desarrolladores	Asesores
Ing. Itzel Y. Silva Sánchez	Ing. Tito M. Ruiz Juárez
Ing. Rodrigo López Pérez	Dr. Agustín Escamilla Martínez
Ing. Lucia Ruiz Ruiz	M.C. José L. Cuellar Vázquez
Ing. Raúl R. Muñoz Chavez	LDI. Carlos Castro
Ing. Luis E. Correa Olvera	Biol. Jesús Cortés
Ing. Isaías Peña Peña	Ing. Miguel Valles
Ing. J. Adán Romero Guerrero	Lic. Ana B. Alatorre
Ing. David Arenas Islas	
TSU. Graciela Jiménez Loyola	
Ing. Víctor A. Huerta Torruco (Tesista)	
Ma. Gpe. Tovar Villegas (Practicante)	
Erick J. Aguilar B. (Practicante)	
Erick G. Ledesma M. (Practicante)	
Dra. Ma. Guadalupe Navarro Rojero	
Ing. Oscar M. Pérez Ramírez	
Ing. Mario A. Álvarez Pérez	
Ing. Perla Alcántara Llanas	

Literatura Citada

Comisión Nacional Forestal. Diagnóstico del programa presupuestario U036 PRONAFOR-desarrollo forestal 2014. P4. México.

Fondo Sectorial para la investigación, el Desarrollo y la innovación tecnológica forestal CONACYT-CONAFOR. 2010. Demandas específicas. Demanda 1, Diseño de prototipo y especificaciones técnicas del vehículo para transporte de brigadistas contra incendios forestales, P. 1. México.

Guillespie, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics, Chapter 4 – Road Loads, Chapter 7 - Suspensions". 1992. SAE Publications, Warrendale, P.A., USA.

Hucho, W. H., S. R. Ahmed, B. E. Bayer, J. R. Callister, N. Deuben, H. J. Emmelmann, *et. al*. 1998. Aerodynamics of Road Vehicles. Fourth Edition. SAE Publications, Warrendale, P.A., USA.

National Fire Protection Association. NFPA 1906. Standard for wildland apparatus. Edición 2016. USA. 2016.

Rosenbauer, K. 1987. *Service vehicles*. Rosenbauer International Gesellschaft MBF. Austria. Patente US4,830,421. 1989.

Secretaría de comunicaciones y transportes. Características y especificaciones técnicas y de seguridad para vehículos de más de nueve personas. PROY-NOM-014-SCT-2-1993. México. 1993.

Secretaría de comunicaciones y transportes. Sobre el peso y dimensiones máximas con los

que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. NOM-012-SCT-2-2017. México. 2017.

SNIF (Sistema Nacional de Información Forestal). 2022. Recurso del programa de manejo de Fuego. https://snif.cnf.gob.mx/recursos-disponibles/ [Consultado 22 de Junio, 2022].

COMPONENTES QUÍMICOS DE LA MADERA DE *Pinus engelmannii*

Flora Apolinar Hidalgo[1]*, José Amador Honorato Salazar[1] y Gertrudis Colotl Hernández[2]

Resumen

La madera se utiliza en muchas industrias como en la construcción, del mueble, para pulpa y papel, como combustibles o para la obtención de producto en base a su composición química. Entre las maderas abundantes en México se encuentran los pinos, que representan el 42% de las especies conocidas en el mundo. *Pinus engelmannii* se extiende a lo largo de la Sierra Madre Occidental hasta el suroeste de los Estados Unidos, se utiliza ampliamente para aserrío y también con fines de conservación y restauración, sin embargo, la información aún es escasa en relación con su composición química, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar los componentes químicos principales: contenido de *α*-celulosa, holocelulosa, hemicelulosa, lignina y el contenido de extractivos en etanol-benceno y etanol. El estudio se realizó con la madera de 6 árboles de *Pinus* engelmannii procedentes de Pueblo Nuevo, Durango, de cada árbol se obtuvieron 2 trozas de 3 m en la parte baja, que fueron aserradas para obtener una sección de 7 cm de ancho de la parte central de cada troza y después piezas de 5 cm x 5 cm. Las determinaciones se realizaron de acuerdo con los procedimientos de las normas TAPPI y las normas ASTM; se utilizó la norma T204 para la determinacion de extractos en etanol-benceno y etanol, T222 para lignina; la norma ASTM D1103 se utilizó para la determinacion de holocelulosa y la norma ASTM D1104 para la determinación de *α*-celulosa. La determinación de la hemicelulosa se calculó como la diferencia del contenido de holocelulosa y *α*-celulosa. Se realizó un análisis de varianza de los datos obtenidos y después una comparación múltiple de medias (Tukey, α=0.05). Los resultados mostraron diferencias significativas (p≤0.05) entre las determinaciones realizadas en los 6 árboles, posiblemente se deba a las variaciones biológicas y las condiciones de crecimiento de cada árbol, en promedio

[1] Campo Experimental San Martinito-INIFAP.Km. 56.5 Carretera Federal México - Puebla, San Martinito Tlahuapan, Puebla, C.P. 74100. *apolinar.flora@inifap.gob.mx
[2] Prestador de servicios.

la madera *de P. engelmannii* presenta 68.45% de holocelulosa, 46.60% de *α*-celulosa, 21.79% de hemicelulosa, 25.25% de lignina, 1.88% de extractos en etanol-benceno, 1.15% en etanol y 3.03% en extractos totales.

Palabras clave: lignina, celulosa, hemicelulosa

Introducción

La composición química de la madera está conformada principalmente por carbohidratos y lignina, también están presentes extractos orgánicos y minerales inorgánicos. La porción de carbohidratos de la madera comprende la celulosa de 40 a 50%, la hemicelulosa de 25 a 35%, la lignina representa un 18 a 35% y los extractos de 4 a 10%, son una variedad de compuestos orgánicos que incluyen grasas, ceras, pectinas, gomas, resinas, almidones, saponinas, aceites esenciales entre otros (Pettersen, 1984). La composición química de la madera no se puede determinar con precisión para una especie o para un árbol determinado, la composición varía con la parte del árbol (raíz, tallo o rama), entre coníferas y latifoliadas, en la ubicación geográfica, clima y condiciones del suelo (Walker *et al*., 2006).En los últimos años se ha incrementado la posibilidad de obtener productos químicos de alto valor agregado a partir de los compuestos principales de la madera, como celulosa para usos textiles, alimenticios o farmacéuticos, pulpa y aplicaciones nanotecnológicas; de la lignina se puede obtener adhesivos y de la hemicelulosa es posible obtener xilitol, ácido ferúlico y láctico (Saha, 2003; Moon *et al*., 2011), los productos que pueden obtenerse y derivarse de la madera dependen de su composición química. En México existen 46 especies de pinos, 3 subespecies y 22 variedades que conjuntamente representan el 42% de las especies del mundo (Sánchez, 2008), existen pocos estudios sobre la composición química de los pinos como la de *Pinus engelmannii*, por lo cual el objetivo de este trabajo fue determinar los principales componentes químicos; el contenido de extractivos en etanol-benceno y etanol, lignina, *α*-celulosa y hemicelulosa de *Pinus engelmannii*.

Materiales y Métodos

En este trabajo se analizaron 6 árboles de *Pinus Engelmannii* provenientes del ejido Pueblo Nuevo, Durango, las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Materiales Lignocelulósicos del Campo Experimental San Martinito, de cada árbol se obtuvieron dos trozas de 3 m en la parte baja, que fueron aserradas para obtener una sección de 7 cm de ancho de la parte central de cada troza y después piezas de 5 cm x 5 cm que posteriormente fueron cepilladas en un canteador eléctrico Mizutti de dos cuchillas para obtener la viruta, la cual se secó a temperatura ambiente, posteriormente fueron molidos en un molino tipo Thomas Wiley. El material molido se tamizó en mallas del No. 40 (0.42 mm) y del No. 60 (0.25 mm), el material retenido en la malla 60 se utilizó para realizar las determinaciones de lignina, holocelulosa, *α*-celulosa y extractivos, se realizaron cuatro repeticiones por muestra. Para determinar los extractos se utilizó la norma TAPPI 204 (TAPPI, 2007), que consistió en pesar 4 g de madera molida anhídrida en un dedal de extracción, que se colocaron en un sistema de extracción Soxhlet a reflujo por un tiempo de 8 horas con 250 ml de solvente de etanol-benceno (1-2 v/v). El contenido de lignina se determinó de acuerdo a la norma TAPPI 222 (TAPPI, 1991), se pesó 1 g de muestra molida libre de extractos y se le adicionaron 15 ml de ácido sulfúrico al 72% (24N) con agitación constante en un baño maría a 20°C durante dos horas, inmediatamente se transfirió a un matraz Erlenmeyer con 575 ml de agua destilada para su ebullición durante 4 horas dentro de una campana de extracción de vapores, posteriormente la lignina fue filtrada, lavada en un crisol gooch y secada en una estufa a 105°C. El método para la determinación de holocelulosa se basó en la acción de clorito de sodio y ácido acético en base en la norma ASTM D1104 (ASTM, 1977), se pesaron 2.5 g de madera libre de extractos en matraces Erlenmeyer de 250 ml, enseguida se le adicionaron 80 ml de agua destilada caliente, 0.5 ml de acido acetico y 1 g de clorito de sodio, los matraces con la muestra se colocaron en un baño de agua a 75 ± 5°C hasta completar un total de 4 horas, posteriormente se filtró en un crisol previamente pesado para su lavado con etanol y acetona y finalmente se secó en una estufa a 40°C. Para la determinación de *α*-celulosa se utilizó la norma ASTM D1103 (ASTM, 1977), se pesaron 2 g de holocelulosa anhídrida y se le agregaron 10 ml de solución de NaOH al 17.5% y en intervalos de 5 minutos se agregaron 5 ml hasta completar la adición de 25 ml de la solución de NaOH al 17.5%, posteriormente se le agregaron

33 ml de agua destilada y se permitió reposar por una hora antes de su filtrado; para el lavado el residuo de la holocelulosa se transfirió a un crisol de filtrado de peso conocido y se lavó con 100 ml de NaOH al 8.3%, 15 ml de ácido acético al 10% y 250 ml de agua destilada para retirarle el residuo del ácido acético y finalmente se secó el crisol con la muestra en una estufa a 105°C. La determinación de la hemicelulosa se calculó como la diferencia del contenido de holocelulosa y α-celulosa. Los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una comparación múltiple de medias con el procedimiento de Tukey (α = 0.05) con el estadístico SAS.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos mostraron que hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las determinaciones de lignina, holocelulosa, α-celulosa, hemicelulosa y extractos entre los 6 árboles de la madera de la especie de *Pinus engelmannii*. En los resultados de lignina se encontró que el árbol A1 presentó el mayor contenido con 26.55% y de menor contenido el árbol A3 con 24.56%, con respecto a la holocelulosa se halló que el árbol A6 es de mayor porcentaje con 69.71% respecto a los demás y también de mayor contenido de α-Celulosa (48%) y el árbol A5 el de mayor contenido de hemicelulosa (23.05%), como se muestra en la Tabla1. Los valores reportados fueron calculados en base al peso anhídrido.

Los valores de lignina en este estudio fueron de 24.83% a 26.55%, estos valores son menores a los reportados por Lima (2013) para *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus, P. leiophilla y Abies religiosa* con 28.38%, 28.07%, 29.44% y 29.95% respectivamente. Los porcentajes de holocelulosa encontrados fueron de 67.29% a 69.71%, los valores son similares a los reportados por Bernabé (2013) para 5 especies de pinos con un rango de 68.1% a 74.7%, en lo que respecta a α-Celulosa los valores encontrados en este estudio fueron de 45.37% a 48.0%, estos porcentajes son similares a los encontrados por Fonseca (2006) para *P. maximinoi* (46% y 59%) y mayores a los reportados por Revilla (2011) con valores de 35.5% a 37.9% para 4 especies de pinos, en lo que concierne a hemicelulosa los valores hallados fueron de 21.19% a 23.05%, son menores a los valores de 29% a 32% reportados por Revilla (2011).

Tabla 1. Componentes químicos principales *de Pinus engelmannii.*

Aboles	Lignina %	Holocelulosa %	α- Celulosa%	Hemicelulosa%
A1	*26.55 a*	*67.29 d*	*45.74 d*	*21.54 bc*
A2	*24.83 de*	*67.94 cd*	*46.41 c*	*21.53 bc*
A3	*24.56 e*	*68.75 b*	*47.53 b*	*21.19 c*
A4	*25.38 b*	*68.60 cb*	*46.83 c*	*21.76 b*
A5	*25.23 bc*	*68.43 cb*	*45.37 d*	*23.05 a*
A6	*24.99 cd*	*69.71 a*	*48.00 a*	*21.71 b*

Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El contenido de extractos de la madera en etanol-benceno fue mayor en el árbol A2 con un porcentaje de 2.69% y menor en el árbol A1 con 0.78%; en etanol se encontró que los árboles A5, A4 y A1 presentaron mayor porcentaje con 1.43%, 1.56% y 1.51% respectivamente, y en los extractos totales se observó que el árbol A5 y el árbol A2 presentaron el mayor contenido con 3.80% y 3.88% respectivamente, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Extractivos de *Pinus engelmannii.*

Aboles	Etanol-benceno %	Etanol %	Extractos totales %
A1	*0.78 e*	*1.43 a*	*2.21 c*
A2	*2.69 a*	*1.10 b*	*3.80 a*
A3	*1.96 c*	*0.79 c*	*2.76 b*
A4	*1.11 d*	*1.56 a*	*2.68 b*
A5	*2.37 b*	*1.51 a*	*3.88 a*
A6	*2.38 b*	*0.51 d*	*2.90 b*

Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los porcentajes de los extractivos totales en este estudio fueron de 2.21% a 3.88%, estos valores son menores a los reportados por Lima (2013) y Bernabé (2013) para especies de pinos de 7.9% a 9.1% y de 7.6 a 8.2% respectivamente.

Conclusiones

La composición química de la madera de *Pinus engelmannii* presentó diferencias significativas entre árboles, con valores de 24.83 a 26.55% para lignina, 67.29 a 69.71% para holocelulosa, 68.1 a 74.7% para α- celulosa, 21.19 a 23.05% para hemicelulosa y 2.21 a 3.88% para extractos totales, posiblemente la diferencia entre árboles fue por las condiciones de crecimiento, tipo de suelo, ubicación geográfica y edad. Por los contenidos obtenidos de lignina, α-celulosa, hemicelulosas y extractos, ésta especie podría aprovecharse para la obtención de productos como bioetanol, adhesivos, xilitol y entre otros productos.

Literatura Citada

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1977a. Method of Test for Alpha- Cellulose in Wood ASTM D1103 – 60. Annual book of ASTM standards.Part 22: Wood; Adhesives. Pennsylvania: ASTM. 343-345 p.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1977b. Method of Test for Holocellulose in Wood ASTM D1104 – 56. Annual book of ASTM standards. Part 22: Wood; Adhesives. Pennsylvania: ASTM. 346-348 p.

Bernabé S., R., L. E. Ávila C. y J. G. Rutiaga Q. 2013. Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. Madera y Bosques 19(2):21-35.

Fonseca, M.M.R. 2006. Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi* h. e. moore) procedente de la finca río frío, Tactic, Alta Verapaz. Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 101p.

Lima, R., L. 2013. Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL., México. 55 p.

Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J. and J. Youngblood. 2011. Cellulose nanomaterials review structure, properties and nanocomposites. Chemical Society Reviews 40(7): 3941-3994.

Pettersen, R.C. 1984. The chemical composition of wood. p 57-126.In: Rowell, R. M. (ed). The Chemistry of Solid Wood Advances in Chemistry Series 20, American Chemical Society. Washington, D.C. U. S. A.

Revilla, G.E.2011. Química de la madera de cuatro pinos mexicanos de la subsección cembroides. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 92 p

Saha, B. C. 2003. Hemicellulose bioconversion. J. Ind. Microbiol. Biotechnology 30:279–291.

Sánchez, G, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos en México. Madera y Bosques 14(1):107-120.

TAPPI (Technical association of the Pulp and Paper industry). 1991. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-88 TAPPI. Test Methods.Vol.1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA.USA. 5p.

TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). 2007. Solvent extractives of wood and pulp. T 204 cm-97. TAPPI Test Methods. Fibrous Materials and Pulp Testing. Versión CD, Atlanta, GA., EUA. 4p.

Walker, J. 2006. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure, p 23 – 67. *In*: Walker, J. (ed). Primary Wood Processing, Principles and Practice. 2nd edition. Springer, Dordrecht. The Netherlands.

CARACTERIZACIÓN COLORIMÉTRICA DE MADERAS TROPICALES

J. Amador Honorato Salazar[1]

Resumen

Este estudio se realizó con el objetivo caracterizar calorimétricamente la madera de 28 especies tropicales en el espacio de color CIELAB, usando un espectrofotómetro Minolta CM-2500d, mediante el cual se determinaron de los ejes cromáticos L* (Luminosidad), a* (verde-rojo) y b* (azul-amarillo) en tablillas de xiloteca, realizando 6 mediciones por tablilla. Los valores obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza, comparación de medias por el método de Tukey (α=0.05) y análisis de grupos por el método promedio. Los valores observados y promedio de los ejes cromáticos se graficaron en el sistema CIELAB con el programa Spectra Magic®. Para los grupos, los valores promedio se graficaron con el programa SigmaPlot. El ANDEVA mostró que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el color de la madera de las especies, para cada uno de los ejes cromáticos, los cuales permitieron formar 7 grupos similares con una proporción de varianza explicada de 90.1%. En las maderas se observó una variación en luminosidad (L*, 24.6 – 81.2), en el eje a* (2.7 – 19) tendiente al rojo y en el eje b* (3.1 – 32.3) tendiente al amarillo. La madera de albura de las especies estudiadas presenta colores claros debido a su luminosidad alta y tendientes al color amarillo en el eje b*, como la madera de chaca (L*, 79.66; b*, 21.49) y de trementino (L*, 77.22; b*, 28.58); en contraste la madera de duramen muestra colores obscuros con luminosidad baja, tendientes al color rojo, como la madera de siricote (L*,30.49; a*,4.89) y chicozapote (L*, 31.11; a*, 4.77). La cuantificación del color permite una caracterización más objetiva y medible de la madera, además de agruparla en colores similares de las especies tropicales.

Palabras clave: color, sistema CIELAB, madera de duramen

[1] INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental San Martinito, km 52.5 56.5 Carretera Federal México-Puebla, San Martinito, Tlahuapan, Puebla. *honorato.amador@inifap.gob.mx

Introducción

La colorimetría se define como la ciencia y la tecnología que se usan para cuantificar y describir físicamente la percepción humana del color (Choudhury, 2014), el cual es percibido por el ojo humano en el rango de longitud onda de la luz visible, de aproximadamente 380 nm a 740 nm, cuando la luz incide en un objeto o material. Dependiendo del material, algunas longitudes de onda pueden absorberse, otras pueden reflejarse; así es como se crea la impresión de color básica. Basado en la suma de las longitudes de onda reflejadas, el ojo humano percibe un cierto color del material. Asimismo, en el proceso de observación visual de un objeto, la fuente de luz, el objeto y el observador humano, son los tres factores que influyen en el reconocimiento de la apariencia y el color visualizados por el observador (Choudhury, 2014).

En la madera, el color es además reconocido en función de la longitud de onda reflejada de la luz visible, la rugosidad de la superficie y la estructura interna de la pieza de madera específica, así como de las propiedades de refracción (Meints *et al*., 2017).

La caracterización del color de la madera se ha aplicado para identificar, clasificar y describir cuantitativamente las superficies de diferentes tipos de madera, asociando aspectos de textura, diseño, cambio de color debido a acabados, humedad, decoloración, entre otras características estéticas (Hon y Minemura, 2001; Meints *et al*., 2017). Los estudios de color también se han realizado para evaluar, caracterizar y clasificar la madera de diferentes especies de forma cuantitative en el sistema CIELab (Silva *et al*., 2015; Meints *et al*., 2017; Silva *et al*., 2019; Sousa *et al*., 2019)

En México, existen diversas maderas tropicales que se comercializan por su color; sin embargo, la descripción del color de estas maderas ha sido de forma cualitativa descriptiva o bien comparativa y apreciativa por medio de las tablas de color Munsell para tejidos vegetales o suelos (Rebollar y Quintanar, 2000), por lo cual es importante cuantificar el color de la madera para valorar su comercialización, sobre todo en los usos de alto valor económico como en la elaboración de paneles decorativos, parquet, muebles, marquetería y ebanistería fina. Por esta importancia, el objetivo de este trabajo fue determinar las características colorimétricas de 28 maderas tropicales mediante el sistema de color CIELAB.

Materiales y Métodos

Se seleccionaron tablillas de xiloteca de 28 maderas tropicales con coloración característica de la madera de duramen o albura. Para cada especie se eligieron 3 tablillas, las cuales fueron lijadas con lijas de grano 150 y 220 para eliminar el polvo o manchas y resaltar el color. En cada tablilla se realizaron 6 mediciones de color usando un espectrofotómetro Minolta CM-2500d (Konica Minolta) en el rango de longitud de onda de 400 a 700 nm, con un iluminante estándar D65 de la fuente de luz, ángulo de observación de 10° y campo de visión de 8 mm. Los datos de color de cada madera y su promedio se expresaron en el espacio de color CIELAB (ISO 11664: 2008) mediante los valores L * a * b * (ISO/CIE, 2019) con el programa Spectra Magic®. Los valores de color también se usaron para hacer un análisis de varianza (ANDEVA), seguido de una comparación de medias por el método de Tukey (α =0.05) y un análisis multivariado de grupos por el método de agrupación con el programa de SAS (SAS, 2000) y el método de agrupación promedio. Los valores promedio de los ejes cromáticos (L * a * b *) de cada especie se graficaron con el programa SigmaPlot (Systat, 2011).

Resultados y Discusión

En el sistema CIEL*a*b*, la colorimetría cuantitativa transforma las impresiones sensoriales en los ejes cromáticos L*, a* y b*, que definen, describen y caracterizan la intensidad de color de los materiales (ISO/CIE, 2019). El eje cromático a* se extiende desde el color verde (-a*) hasta el color rojo (a*) y el eje cromático b* se extiende desde el color azul (-b*) hasta el color amarillo (b*); mientras que l eje de luminosidad (L*) varia de 0 (negro) a 100 (blanco). Así, los colores de los objetos se pueden separar en colores brillantes y obscuros cuando se comparan sus luminosidades (Konica Minolta, 2003), dado que la luminosidad aumenta hacia el valor de 100 y disminuye hacia el valor de 10.

El punto en el que se cruzan los ejes a* y b* (L*=50) corresponde a un color un gris puro, equilibrado y neutro. Las maderas tropicales estudiadas presentan una variación en los tres ejes cromáticos, de 24.6 a 81.2 para la luminosidad (L*), de 2.7 a 19.0 para el eje a*, tendiente al rojo y de 3.1 a 32.3 para el eje b*, hacia al amarillo (Figura 1, Cuadro 1).

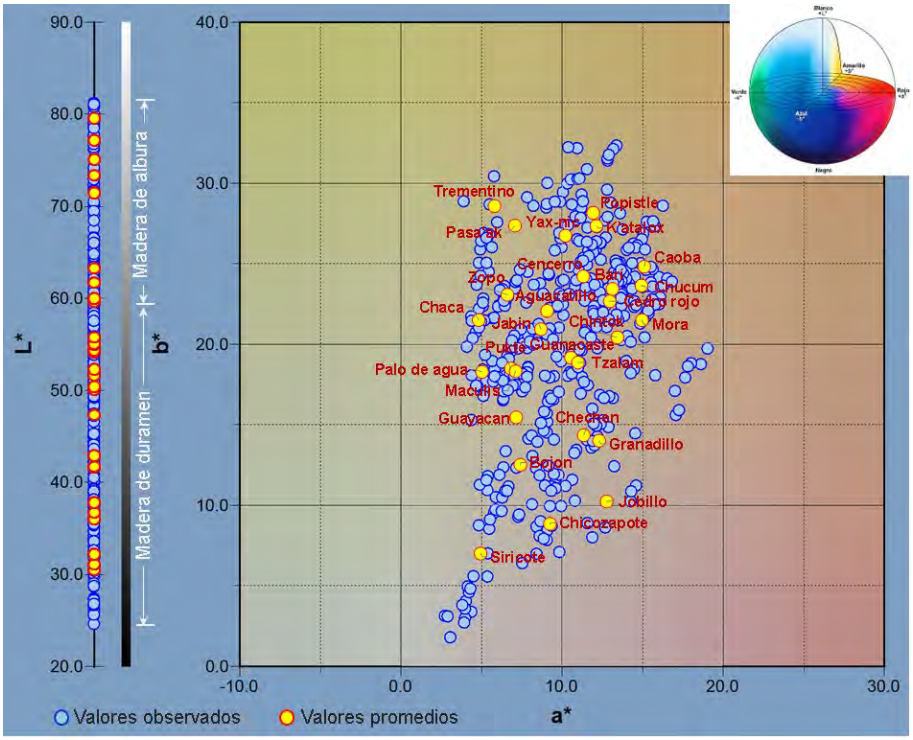


Figura 1. Representación del color de maderas tropicales en el sistema CIELab.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en cada uno de los ejes cromáticos para la madera de las especies estudiadas (Cuadro1).

Los valores promedio de la madera de albura exhiben colores claros con luminosidades altas, como en la de chaca (79.7) y del trementino (77.2), mientras que el duramen muestra colores obscuros con luminosidades bajas como el siricote (30.5) y chicozapote (31.1) (Cuadro 1). Estas maderas presentan los valores extremos de luminosidad, mientras que la madera de caoba, cedro rojo, cencerro, chucum, guanacaste, jabin, k'atalox, pukté y tzalam tienen luminosidades alrededor del gris (L*=50±5). La luminosidad de la madera de aguacatillo, barí, maculis, palo de agua, pasa'ak, popistle, yax-nic y zopo tiende a colores claros (L*, 55.8-71.5); en contraste la luminosidad de la madera de bojón, chechén, chintok, granadillo, guayacán, jobillo, mora es hacia los colores obscuros (L*, 32.2-42.9).

En promedio, los valores de color de la madera de las especies estudiadas en el eje a* se extiende del gris al rojo. Los valores cercanos al gris corresponden a la madera de chaca (4.8), siricote (4.9) y palo de agua (5.0) y los cercanos al rojo se relacionan con la madera de chucum (14.9), mora (15.0) y caoba (15.1). Algunas maderas, como la del trementino (5.8), zopo (6.6),

pukté (6.8) y pasa'ak (7.0), tienden al color gris; mientras que otras maderas, como las de chintok (13.4), barí (13.1), cedro rojo (13.0) y jobillo (12.8), tienden al color rojo. El resto de las maderas tienen valores intermedios entre 7.1 y 12.3.

Cuadro 1. Valores promedio de los ejes cromáticos L*, a*, b*.

Nombre común	Nombre científico	L*	a*	b*
Aguacatillo (A)[¥]	*Phoebe aff. effusa* Meisn.	63.3 ± 1.4[‡] e[†]	9.0 ± 1.1 i h	22.1 ± 2.0 g f h e
Barí (D)	*Calophyllum brasilense* Camb.	55.8 ± 2.3 g	13.1 ± 1.1 b c	23.4 ± 2.0 c d e
Bojón (D)	*Cordia alliodora* Ruiz & Pav.	36.0 ± 2.8 m	7.4 ± 1.2 k j	12.5 ± 2.4 m
Caoba (D)	*Swietenia macrophylla* King.	50.5 ± 5.0 j	15.1 ± 1.1 a	24.8 ± 1.8 c
Cedro rojo (D)	*Cedrela odorata* L.	54.4 ± 5.4 g h i	13.0 ± 1.5 b c	22.7 ± 2.9 g f d e
Cencerro (D)	*Sweetia panamensis* Benth.	54.2 ± 1.3 g h i	11.3 ± 0.4 f e d	24.2 ± 1.0 c d
Chaca (A)	*Bursera simaruba* (L.) Sarg.	79.7 ± 1.0 a	4.8 ± 0.4 m	21.5 ± 0.9 g f h
Chechén (D)	*Metopium brownei* (Jacq.) Urban	37.8 ± 3.6 m	11.3 ± 1.4 f e d	14.3 ± 2.5 l
Chicozapote (D)	*Achras zapota* L.	31.1 ± 1.5 n	9.2 ± 0.8 i g h	8.8 ± 1.2 n
Chintok (D)	*Krugiodendron ferrum* (Vahl) Urb.	41.7 ± 4.0 l	13.4 ± 1.3 b	20.4 ± 2.1 j h i
Chucum (D)	*Pithecolobium brevifolium* Benth.	50.2 ± 0.8 j k	14.9 ± 0.7 a	23.6 ± 0.8 c d e
Granadillo (D)	*Platymiscium yucatanum* Standl.	36.8 ± 2.6 m	12.3 ± 3.7 b c d	14.0 ± 3.3 l m
Guanacaste (D)	*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.	47.4 ± 1.9 k	10.5 ± 1.1 f g	19.2 ± 1.7 j k i
Guayacán (D)	*Guaicum sanctum* L.	41.8 ± 6.3 l	7.1 ± 1.9 k	15.4 ± 3.0 l
Jabín (D)	*Piscidia piscipula* (L.) Sarg.	51.7 ± 3.3 j i	8.7 ± 1.3 i j	20.9 ± 1.9 g h i
Jobillo (D)	*Astronium graveolens* Jacq.	32.2 ± 1.9 n	12.8 ± 1.7 b c	10.2 ± 2.2 n
K'atalox (D)	*Swartzia cubensis* (Britton & Wilson) Standl.	55.1 ± 0.8 g h	12.1 ± 0.8 b e c d	27.3 ± 1.0 a b
Maculis (A)	T*abebuia rosea* DC.	61.8 ± 2.6 e f	7.1 ± 0.9 k	18.3 ± 0.9 k
Mora (D)	*Maclura tinctoria* (L.) Steud.	43.0 ± 0.6 l	15.0 ± 0.6 a	21.5 ± 1.1 g f h
Palo de agua (A)	*Vochysia hondurensis* Sprague	75.2 ± 1.7 c b	5.0 ± 0.5 m	18.3 ± 0.8 k
Pasa'ak (A)	*Simarouba glauca* DC.	73.4 ± 6.3 c d	7.0 ± 2.3 k l	27.4 ± 2.5 a b
Popistle (A)	*Blepharidium mexicanum* Standl.	60.1 ± 3.0 f	11.9 ± 1.0 e c d	28.1 ± 2.4 a b
Pukté (D)	*Budica buceras* L.	55.0 ± 2.5 g h	6.8 ± 0.4 k l	18.5 ± 1.5 k
Siricote (D)	*Cordia dodecandra* DC.	30.5 ± 4.9 n	4.9 ± 1.2 m	7.0 ± 3.2 o
Trementino (A)	*Zuelania guidonia* (Sw.) Britt. et Millsp.	77.2 ± 1.9 a b	5.8 ± 1.3 m l	28.6 ± 1.3 a
Tzalam (D)	*Lysiloma latisiliquum (L.) Benth*.	52.4 ± 1.4 j h i	11.0 ± 0.5 f e	18.8 ± 0.8 j k
Yax-nic (A)	*Vitex gaumeri* Greenm.	59.7 ± 0.6 f	10.2 ± 0.7 f g h	26.7 ± 1.2 b
Zopo (A)	*Guatteria anomala* R.E.Fr.	71.5 ± 1.3 d	6.6 ± 0.5 k l	23.1 ± 0.8 c f d e

[¥](A) Madera de albura, (D) Madera de duramen; [‡]Desviación estándar; [†]Valores con la misma letra no son significativamente diferente ($p < 0.05$).

Con respecto al eje b*, los valores promedio de las maderas son más amplios que en el eje a*, abarcando desde el color cercano al gris (7.0) hasta el color amarillo naranja (28.6). Los valores de color extremos corresponden a la madera de siricote y trementino. La madera de chicozapote (8.8) y jobillo (10.2), tiene valores cercanos a la madera de siricote, en tanto que la madera k'atalox (27.3), pasa'ak (27.4) y popistle (28.1) se acerca más a los valores de trementino. La madera de las demás especies presenta valores de 12.5 a 26.7.

En cada uno de los ejes cromáticos las diferencias significativas son distintas para la madera de cada una de las especies (Cuadro 1); por ejemplo, el color de la madera de chaca presenta el mayor valor en el eje L*(79.7), pero el menor valor en el eje a* (4.8) y un valor medio en el eje b* (21.5). Asimismo, el color la madera de algunas especies presentan valores similares en cada de los ejes, por lo que, si se consideran los valores de los tres ejes para las diferentes especies, es posible agruparlas por medio de un análisis de agrupamiento.

En análisis de agrupamiento de los valores cromáticos L*a*b por el método promedio, indicó que el color de la madera de las especies estudiadas se agrupa en 7 grupos (Figura 2), con una proporción de varianza explicada por los grupos de 90.1%.

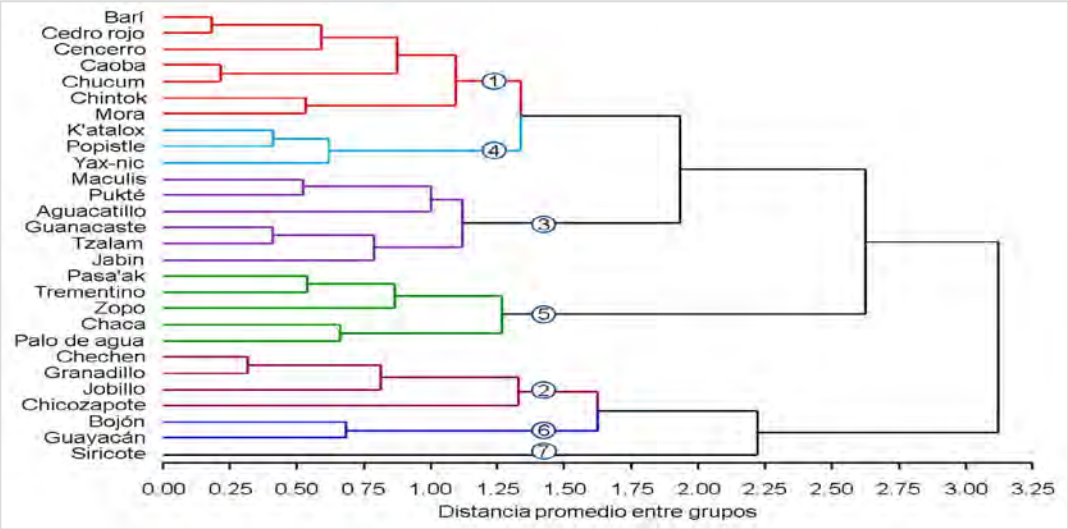


Figura 2. Agrupación del color de maderas tropicales de acuerdo con los valores L*a*b*.

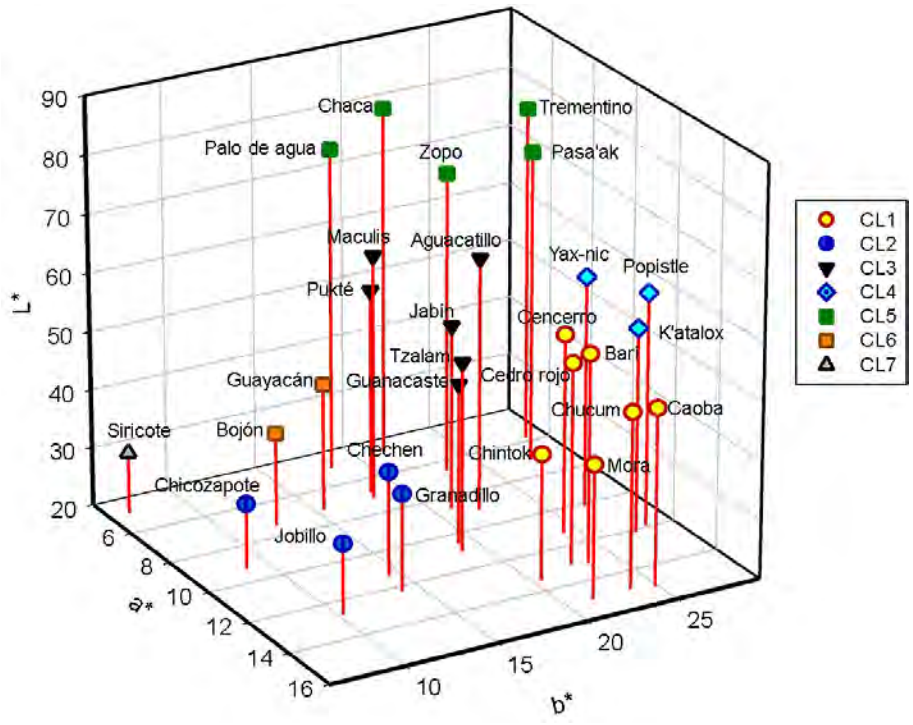


Figura 3. Coordenadas y valores cromáticos L*a*b*.

Se destaca la madera de siricote, que constituye el grupo 7 y se caracteriza por valores bajos en los tres ejes cromáticos (Figura 3). En contraste, el grupo 5, constituido por la madera de chaca, palo de agua, pasa'ak, zopo y zueyania, tiene valores mayores a 71 en luminosidad y con tendencia hacia amarillo, debido a que corresponde a madera de albura. El grupo 1, formado por la madera de barí caoba, cedro rojo, cencerro, chintok, chucum y mora, presentan valores tendientes al color rojo en el eje a* y al color amarillo en el eje b*, con luminosidades de intermedias. La madera de chechén, chicozapote, granadillo y jobillo integran el grupo 2 debido a que tienen valores bajos en luminosidad y en el eje b*, con valores intermedios en eje a*. El grupo 3 lo componen la madera de aguacatillo, guanacaste, jabín, maculis, pukté y tzalam, distinguido por valores intermedios en los tres ejes. La característica del grupo 4 son los valores altos en eje b*, tendiente al color amarillo e integrado por la madera de k'atalox, popistle y yax-nic. La madera de bojón y guayacán presentan valores bajos en los ejes a* y b* con luminosidad baja.

Aun cuando no se han realizado estudios cuantitativos de color en la madera de especies de México, los estudios realizados en maderas tropicales por Silva *et al*. (2015, 2019) y Sousa *et al*. (2019) indican que la cuantificación de color en el sistema CIELab excluye la subjetividad

de apreciación del color de las maderas, permitiendo una caracterización y clasificación en grupos similares de color dado por los valores de los ejes cromáticos, lo cual concuerda con el estudio realizado de color de la madera de especies tropicales.

Conclusiones

El color de las maderas tropicales varia en sus valores cromáticos L*a*b*, presentando colores claros en la madera de albura con luminosidades mayores a 60; mientras que la madera de duramen presenta colores más obscuros con luminosidades menores 60. En extremo de luminosidad alta se encuentra la madera de albura de chaca y zueyania, y en el extremo de luminosidad baja se encuentra la madera de duramen de siricote y chicozapote.

La madera de las especies tropicales presenta colores distribuidos en los ejes positivos del gris al amarillo (b*) y del gris al rojo (a*). La madera de albura tiende hacia el color amarillo y la madera de duramen hacia el color rojo.

Los valores cromáticos de color permiten agrupar las maderas tropicales en 7 grupos distintivos.

Literatura Citada

Choudhury, A. K. R. 2014. Principles of colour appearance and measurement. Volume 1: Object appearance, colour perception and instrumental measurement. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, UK. 391 p.

Hon, D. N. S. and N. Minemura. 2001. Color and Discoloration. *In*: Hon, D. N.-S. and N. Shiraishi (Eds.) Wood and Cellulosic chemistry, 2nd edn. Marcel Dekker, New York, Basel, USA. pp: 385–442.

International Organization for Standardization/International Commission on Illumination (ISO/CIE). 2019. ISO/CIE 11664-4:2019. Colorimetry — Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space.8 p.

Konica Minolta. 2003. Precise Color Communication. Control from perception to instrumentation. Konica Minolta Sensing Inc. Japan. 59 p. https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf [consultado el 14 de abril de 2019].

Meints, T., A. Teischinger, R. Stingl and C. Hansmann. 2017. Wood colour of central European wood species: CIELAB characterisation and colour intensification. European Journal of Wood and Wood Products 75: 499–509.

SAS Institute Inc. (SAS). 2000. SAS for windows (Version 9.2 for Windows). Cary, NC. USA.

Silva, E, D. M. Stangerlin, D. A. Gatto, L. Calegri and E. Pariz. 2015. Colorimetry of wood from eight species native to the state of Rio Grande do Sul. Brazil. Brazilian Journal of Wood Science 6(1):31–37

Silva, R. A. F, C. Setter, S. S. Mazette, R. R. de Melo and D. M.Stangerlin. 2017. Colorimetry of wood from thirty tropical species. Ciência da Madeira 8(1):36–41.

Sousa, W. C. S., L. J. Barbosa, A. A. V. Soares, S. L. Goulart and T. P. Protásio. 2019. Wood colorimetry for the characterization of amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. Cerne 25(4):451–462.

Systat Software Inc. 2011. SigmaPlot for windows (Version 12). Inpixon HQ.

VARIACIÓN DE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LA MADERA DE CLONES DE CEDRO ROJO

J. Amador Honorato Salazar[1]*, Gertrudis Hernández Colotl[2], Vicente Sánchez Monsalvo[1]

Resumen

La madera necesita ser evaluada para su uso como combustible para determinar su potencial e idoneidad para la producción de energía. Como parte de la caracterización integral de la madera de clones de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), este estudio se realizó con el objetivo de determinar la composición proximal de la madera de 14 clones de esta especie mediante la determinación de los contenidos de humedad, material volátil y carbono fijo para aportar información y valorar la madera en la producción de energía. Se colectaron muestras de la primera rama viva de tres árboles por clon, para después obtener una sección de 40 cm de largo, la cual fue descortezada y cepillada en un cepillo eléctrico para obtener virutas, que a su vez fueron molidas y tamizadas en mallas No. 40 (0.425 mm) y 60 (0.250 mm). Se utilizó el material retenido en la malla 60, realizando cuatro repeticiones en cada análisis. Los contenidos de humedad, material volátil y cenizas se determinaron de acuerdo con los procedimientos de las normas ASTM E871, E872 y E1755, respectivamente. El contenido de carbono fijo se calculó por diferencia. Se realizó un análisis de varianza de los datos y una comparación de medias por el método de Fisher ($\alpha = 0.05$). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre clones para los valores de los diferentes contenidos. Los valores promedio varían de 7.7 a 10.8% para el contenido de humedad, de 76.7 a 87.4% para el material volátil, de 0.9 a 1.4% para las cenizas y de 11.6 a 21.7% para el carbono fijo. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado para diferentes estudios de madera. En general, la madera de los clones puede usarse como leña y como combustible para usos industriales en la producción de energía, debido a su contenido de ceniza menor a

[1] INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental San Martinito, km 52.5 56.5 Carretera Federal México-Puebla, San Martinito, Tlahuapan, Puebla. *honorato.amador@inifap.gob.mx
[2] Exinvestigadora, INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental San Martinito.

3.0%. Por sus contenidos de volátiles (≤ 80%), cenizas (< 1.5%) y carbono fijo (> 18%), la madera de los clones 27, 45, 83, 87 y 95 son los más sobresaliente para la producción de energía.

Palabras clave: contenido de humedad, material volátil, cenizas, carbono fijo

Introducción

La madera es uno de los materiales más usados por el hombre para la producción de energía y aunque sigue siendo la principal fuente de energía para cocinar y calentar en la mayor parte del mundo, representado el 53.4% del consumo mundial de madera (FAO, 2021). Las ventajas de la madera como combustible son las menores emisiones de gases efecto invernadero y se considera que el balance de dióxido de carbono (CO_2) es "neutro" debido a que es absorbido por los árboles en el proceso de la fotosíntesis (Głowacki *et al*., 2018). Además, es un recurso renovable y sostenible que puede adicionar valor financiero al aprovechamiento forestal en aclareos de árboles, apoyar la restauración y establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, por lo que también debe ser considerada de manera ecológica y económica, integrando los aspectos sociales, ambientales e industriales (Richter *et al*., 2009; Manning *et al*., 2015; Wróbel *et al*., 2018).

El uso de la madera para la producción de energía puede ser de forma directa como leña para cocción y calentamiento o para la producción de combustibles industrializados como astillas, pellets y briquetas de madera para la producción de energía eléctrica o térmica (Ribeiro *et al*., 2018).

Al igual que otros tipos de biomasa para la producción de energía, la madera debe ser evaluada o caracterizada a diferentes niveles para proporcionar información crítica para el diseño y comprensión de los diferentes procesos térmicos en la producción de energéticos (Richter *et al*., 2009; Basu, 2015). Así, para fines energéticos, la madera puede evaluarse mediante un análisis proximal (contenidos de humedad, volátiles, cenizas y carbono fijo), un análisis químico elemental (carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno) y el análisis de composición

química principal (lignina, celulosa, hemicelulosa y extractivos) (Basu, 2015; Ribeiro *et al*., 2018).

El análisis proximal es una metodología relativamente simple de llevar a cabo, de bajo costo y ampliamente usada para evaluar el potencial de la madera y biomasa para su uso energético (Özyuğuran y Yaman, 2017). Este análisis proporciona el porcentaje del material que se quema en estado gaseoso (materia volátil) y en estado sólido (carbón fijo), así como el porcentaje de material inorgánico (cenizas) (Ribeiro *et al*., 2018). En la madera, el material volátil constituye del 78 al 88% del peso anhidro, el carbono fijo puede representar del 11 al 20% y la ceniza total del 0.1 al 3% (Vassilev *et al*., 2010).

Por otro lado, alrededor del 15.6% de la superficie de plantaciones forestales comerciales establecidas en México corresponde a cedro rojo (CONAFOR, 2022) y por su importancia económica se han realizado estudios de ensayos de procedencia para seleccionar genotipos con tolerancia al ataque del barrenador de brotes *Hypsipyla grandella* (Zeller), mayor productividad y crecimiento en diámetro y altura (Hernández-Máximo *et al*., 2016; Sánchez *et al*., 2018; Hernández-Máximo *et al*., 2021). Derivado de estos estudios se establecieron ensayos clonales para seleccionar los mas sobresalientes, con base a su tolerancia, crecimiento y calidad de la madera (Sánchez *et al*., 2018).

Como parte de la caracterización integral de la madera de clones y dado que el análisis proximal proporciona la evaluación de la madera para su uso energético, este estudio se realizó con el objetivo de determinar los contenidos de humedad, material volátil y carbono fijo para aportar información y valorar la madera de 14 clones de cedro en la producción de energía para aprovechar la madera que no tiene alto valor comercial, como la que proviene de ramas y aclareos.

Materiales y Métodos

Se analizó la madera de ramas de 14 clones de cedro rojo (8, 19, 23, 27, 45, 60, 61, 63, 64, 72, 83, 87, 90, 95) previamente seleccionados en dos plantaciones experimentales clonales, con base a un análisis de componentes principales a partir de las variables de diámetro normal (1.30 m), altura total, altura de fuste limpio y altura de fuste recto (Sánchez *et al*., 2018). Las

plantaciones se ubican en Campeche, en un predio de la empresa “Agropecuaria Santa Genoveva” (19º 33’ 26.53’’ N, 90º 01’ 33.96’’ W), a una altitud de 82 m sobre el nivel del mar (msnm), precipitación promedio anual de 1300 mm, temperatura media anual de 26°C con suelo arcilloso de origen calcáreo y en Isla, Veracruz (18º 04’50.21” N, 95º 32’ 0.75” W), a una altitud de 52 msnm, precipitación promedio anual de 2000 mm, temperatura media anual de 25°C y suelo arenoso.

Se seleccionaron tres árboles de cada clon con base a los valores mayores del primer componente principal de cada árbol y de cada uno de ellos se cortó la primera rama viva, se desecharon los primeros 15 cm de la base de la rama para evitar la posible influencia de la madera de reacción, se obtuvo una sección de 50 cm de largo, el material se etiquetó con el número de árbol y el clon, transportándose al laboratorio para su secado al aire libre. Después se cortaron los extremos, dejando una longitud de 40 cm, la cual fue descortezada y cepillada en un cepillo eléctrico Mizutti® de dos cuchillas para obtener virutas.

Las virutas se molieron en un molino tipo Willey y se tamizaron en mallas del No. 40 (0.425 mm) y 60 (0.250 mm). El material retenido en la malla 60 se utilizó para realizar los análisis con cuatro repeticiones.

El análisis proximal de la madera molida consistió en determinar los contenidos de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de manera secuencial por el método gravimétrico, usando crisoles de porcelana con tapa, previamente secados en una mufla a 600°C por una hora, enfriados en un desecador sobre gel de sílica y pesados.

El contenido de humedad se determinó colocando 1 g (P_i) de madera molida en el crisol pesado y se introdujo en un horno de secado a 105°C por 6 h, posteriormente se enfrío y se pesó (P_0) (ASTM, 2012a). En seguida, se calentó la mufla a 950°C, colocando el crisol con la muestra y la tapa en el borde exterior de la mufla por 2 min, seguido de 3 min en el borde interior de la mufla y 7 min en el interior con la puerta cerrada (ASTM, 2012b). El crisol se sacó de la mufla, se enfrió y se pesó (P_v). Finalmente, el crisol se colocó en la mufla a 600°C por 6 h, para luego enfriarse y pesarse (Pr) (ASTM, 2012c).

Los contenidos de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo se determinaron con las expresiones siguientes:

$$CH\ (\%) = \left(\frac{P_i - P_0}{P_0}\right) \times 100 \qquad (1)$$

$$MV\ (\%) = \left(\frac{P_0 - P_v}{P_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

$$Cenizas\ (\%) = \left(\frac{P_r}{P_o}\right) \times 100 \quad (3)$$

$$CF\ (\%) = 100 - MV\ (\%) - Cenizas\ (\%) \quad (4)$$

Donde:

CH (%) = Contenido de humedad en porciento

MV (%) = Material volátil en porciento

CF (%) = Carbono fijo en porciento

P_i = Peso inicial, g

P_0 = Peso de la muestra después de secarse a105°C (Peso anhidro), g

Pv = Peso de la muestra después de secarse a 950°C, g

Pr = Peso del residuo de la muestra, g

Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía, tomando como variables los diferentes contenidos determinados, seguido de una comparación de medias con el método de Fisher ($\alpha = 0.05$), usando el programa SAS (SAS, 2009). Los valores promedio de los contenidos de material volátil, carbono fijo y cenizas se graficaron en Excel.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre clones para los contenidos de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo (Cuadro 1).

Aun cuando la madera fue secada bajo las mismas condiciones, el contenido de humedad fue variable en un rango de 3.1%, siendo mayor en el clon 63, seguido de los clones 64, 83 y 8. El menor valor de humedad fue para el clon 23 (Cuadro 1). Los clones 27 y 45 presentaron contenidos de humedad cercanos al menor valor, mientras que la humedad en los clones 19, 60, 61, 72, 87, 90 y 95 fue cercana a los valores mayores. El contenido de humedad afecta la combustión en la madera debido a que parte de la energía se utiliza para evaporar el agua, por lo que la madera debe secarse antes de usarse como combustible (Głowacki *et al*., 2018). Así, se considera que la humedad de la madera secada al aire libre (12-20%) es adecuada para su uso como leña (ISO, 2020a) y menor o igual a 10% para uso industrial (ISO, 2020b).

Tecnología y Comercialización de Productos Forestales

Los resultados indican que la madera de los clones puede usarse como leña y aquellos que tienen un contenido de humedad menor o igual a 10% pueden utilizarse en usos industriales de producción de energía.

Cuadro 1. Resultados promedio de los contenidos de humedad (CH), material volátil (MV), cenizas y carbono fijo (CF) de la madera de clones de cedro rojo.

Clon	CH (%)	MV (%)	Cenizas (%)	CF (%)
8	10.2 ± 0.5 a‡ b c	87.4 ± 0.9 a	0.9 ± 0.2 e	11.6 ± 0.8 e
19	9.4 ± 0.3 d b c e	81.5 ± 3.8 d b c e	1.3 ± 0.1 c d	17.2 ± 4.0 d b c
23	7.7 ± 0.1 f	86.8 ± 1.2 a	1.3 ± 0.1 c d	11.9 ± 1.2 e
27	8.8 ± 1.6 e	78.5 ± 0.3 f e	1.4 ± 0.0 c b	20.1 ± 0.3 a b c
45	8.8 ± 0.4 e	78.5 ± 1.1 f e	1.0 ± 0.0 e	20.5 ± 1.1 a b
60	9.9 ± 0.7 d b c	82.2 ± 4.8 d b c	0.9 ± 0.1 e	16.8 ± 4.8 d c
61	9.2 ± 0.6 d e	81.0 ± 5.0 d c e	1.5 ± 0.2 c b	17.5 ± 5.0 d b c
63	10.8 ± 1.0 a	84.4 ± 0.9 a b c	1.3 ± 0.3 c d	14.2 ± 1.0 d e
64	10.2 ± 0.1 a b	85.1 ± 1.1 a b	1.8 ± 0.1 a	13.1 ± 1.1 e
72	10.0 ± 0.2 d b c	81.2 ± 5.6 d c e	1.1 ± 0.4 e d	17.7 ± 5.1 d b c
83	10.2 ± 0.5 a b c	79.5 ± 1.2 d f e	1.1 ± 0.2 e	19.5 ± 1.3 a b c
87	9.8 ± 0.8 d b c	80.3 ± 4.1 d f e	0.9 ± 0.1 e	18.8 ± 4.2 a b c
90	9.6 ± 0.3 d b c e	76.7 ± 0.2 f	1.6 ± 0.1 a b	21.7 ± 0.2 a
95	9.4 ± 1.0 d c e	80.5 ± 3.2 d e	1.1 ± 0.4 e d	18.4 ± 2.9 a b c

‡ Los valores con la misma letra no son significativamente diferentes (p ≤ 0.05).

El contenido de material volátil fue variable y significativo (p ≤ 0.05) entre los clones (Cuadro 1), siendo mayor en los clones 8 y 23, y menor en el clon 90. Los clones 27, 45 y 83 muestran material volátil cercanos al valor inferior y menor a 80%, en cambio, el resto de los clones tienen valores entre 80 y 85%. Con excepción de los clones 27, 45 y 90, los valores obtenidos para los otros clones están dentro del rango (79 – 88%) reportado para madera (Vassilev *et al*., 2010).

La cantidad de cenizas fue menos variable en un rango de 0.9%, pero significativamente diferente (p ≤ 0.05) entre los clones (Cuadro 1). El mayor valor se observó en el clon 64, seguido del clon 90; el menor valor fue para los clones 8 y 60. La cantidad de cenizas de los clones 45 y 87 fueron cercanos al valor menor, en contraste el resto de los clones mostraron valores entre 1.1 y 1.5%. Los valores obtenidos concuerdan con los calores reportados (0.10 -

2.98%) para madera (Vassilev *et al*., 2010). En el uso de la madera como leña no existe un valor limitante de cenizas; sin embargo, para usos industriales la cantidad de cenizas debe ser menor o igual a 3.0% para madera proveniente de plantaciones forestales y residuos de la industria forestal (ISO, 2021b), por lo que la madera de los clones puede usarse como leña y para la producción de energía en la industria.

La cantidad de carbono fijo fue diferente y significativo ($p \leq 0.05$) entre los clones (Cuadro 1). La mayor cantidad se presentó en el clon 90 y enseguida los clones 27 y 45; en cambio los clones 8, 23 y 64 mostraron los menores valores. Los clones 83, 87 y 95 también presentaron valores altos de carbono fijo y el resto de los clones tuvieron valores entre 14.2 y 17.7%. Los valores determinados en este estudio están dentro del rango (11.3 - 19.7%) que reporta Vassilev *et al*. (2010) para madera. Para el uso de la madera como combustible, se recomienda que el contenido de carbono fijo sea alto, pero no existen valores específicos reportados.

En la mayoría de los estudios se consideran los contenidos de material volátil, cenizas y carbono fijo, representados en un diagrama ternario, debido a que permite una evaluación conjunta, permitiendo seleccionar los materiales de biomasa más adecuados para su uso energético. Asimismo, dado que en la combustión el material volátil proporciona la cantidad del material que se quema en estado gaseoso; el carbono fijo provee la cantidad que se quema en estado sólido y las cenizas constituyen el material inorgánico de desecho (Ribeiro *et al*., 2018), por lo que se busca que los materiales tengan un alto contenido de carbono fijo y bajos contenidos de cenizas y volátiles.

En el caso de la madera de los clones, se observa en la Figura 1, que los clones tienden agruparse por sus contenidos de material volátil, cenizas y carbono fijo. Los clones 87 y 95 tienen valores alrededor de 18% de carbono fijo, valores bajos de cenizas (0.9 – 1.1%) y valores de volátiles alrededor del 80%.

La madera de los clones 27, 45, 83 y 90, muestran material volátil por debajo de 80% y carbono fijo mayor a 19%, aunque se observan diferencias en la cantidad de cenizas, siendo menor en los clones 45 (1.0%) y 83 (1.1%) que en los clones 27 (1.4%) y 90 (1.6%). El resto de los clones tienen material volátil por arriba del 80%, carbono fijo por abajo del 18% y cantidad de cenizas variable, aunque destacan los clones 8, 60 y 72 con un contenido respectivo de cenizas de 0.9, 0.9 y 1.1%. Debido a los valores obtenidos de volátiles (≤ 80%), cenizas (< 1.5%) y carbono

fijo (> 18%), la madera de los clones 27, 45, 83, 87 y 95 son los más sobresaliente para la producción de energía.

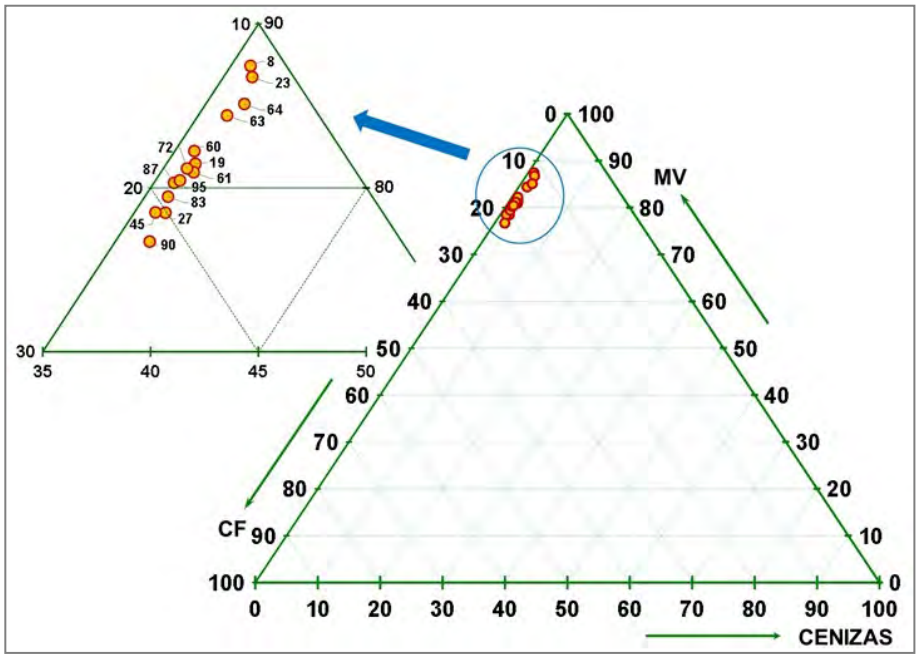


Figura 1. Diagrama ternario para los contenidos de material volátil, cenizas y carbono fijo.

En general, la madera de la mayoría de los clones coincide con los valores promedio (MV, 84.5; cenizas, 0.8%; CF, 14.8%) reportados por Vassilev *et al*. (2010) para la madera de diferentes especies.

Conclusiones

El análisis proximal permite evaluar el potencial y capacidad de la madera para la producción de energía.

La madera de los clones puede usarse como leña y como combustible para usos industriales en la producción de energía, por presentar un contenido de ceniza menor 3.0%.

La madera de los clones 27, 45, 83, 87 y 95 son los más sobresaliente para la producción de energía debido a sus contenidos de volátiles (≤ 80%), cenizas (< 1.5%) y carbono fijo (> 18%).

Literatura Citada

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012a. Standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. ASTM E871, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16 Biological effects and environmental fate; biotechnology, pp. 98-99.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012b. Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels. ASTM E872, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16 Biological effects and environmental fate; biotechnology, pp. 100-102.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012c. Standard test method for ash in biomass. ASTM E1755, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16 Biological effects and environmental fate; biotechnology, pp. 985-987.

Basu, P. 2013. Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction. Practical Design and Theory. Academic Press. London, UK. 530 p.

CONAFOR. 2022. Superficies de Plantaciones Forestales Comerciales establecidas con apoyos de la CONAFOR. Comisión Nacional Forestal. https://snif.cnf.gob.mx/datos-abiertos/?tax%5Bwpdmcategory%5D=plantaciones [consultado el 15 de agosto de 2022].

FAO. 2021. FAOSTAT Forest Product Production Statistics – Data Structure. http://www.fao.org/forestry/49962-0f43c0da7039a611aa884b3c6c642f4ac.pdf [consultado el 23 de abril de 2021].

Głowacki, S., W. Tulej, M. Sojak, A. Bryś, J. Kaczmarczyk, M. Wróbel, *et al*. 2018. Analysis of the Combustion Process of Selected Wood Biomass. p. 725-733. *In*: Mudryk, K. and S. Werle (eds.). Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation. Springer International Publishing. Cham, Switzerland.

Hernández-Máximo E., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton and V. Sánchez Monsalvo. 2021. Structure of genetic variation in vegetative phenology of *Cedrela odorata* L.: implications for tree breeding. New Forests, Published online: 2 July 2021. https://doi.org/10.1007/s11056-021-09862-1. [consultado el 12 de julio de 2021].

Hernández-Máximo E., J. López-Upton, V. Sánchez Monsalvo, J. J. Vargas-Hernández, y J. G. Salazar-García. 2016. Early performance and genetic gain of Cedrela odorata families from wide-range sites in Mexico. Journal of Tropical Forest Science 28(4): 446-456.

International Organization for Standardization (ISO). 2021a. ISO 17225-5:2021. Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 5. Graded firewood. ISO, Geneva, Switzerland. 10p.

International Organization for Standardization (ISO). 2021b. ISO 17225-4:202. Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 4: Graded wood chips. ISO, Geneva, Switzerland. 10p.

Manning, D. B., A. Bemmann, C. Ammer, M. Bredemeier and N. Lamersdorf. 2015. Bioenergy from Dendromass for the Sustainable Development of Rural Areas: Research Findings from the AgroForNet and BEST Projects of the German 'Sustainable Land Management' Funding Programme. p. 3-8. *In*: Manning, D. B., A. Bemmann, M. Bredemeier, N. Lamersdorf and C. Ammer (eds.). Bioenergy from Dendromass for the Sustainable Development of Rural Areas. Wiley-VCH. Weinheim, Germany.

Özyuğuran, A. and S. Yaman. 2017. Prediction of Calorific Value of Biomass from Proximate Analysis. Energy Procedia 107: 130-36.

Ribeiro, N. L. J., J. C. de Oliveira M. and J. P. da Silva C. 2018. Torrefaction of Biomass for Energy Applications. From Fundamentals to Industrial Scale. Academic Press, Elsevier Inc. London, U K. 245 p.

Richter, D. D., D. H. Jenkins, J. T. Karakash, J. Knight, L. R. McCreery and K. P. Nemestothy. 2009. Wood Energy in America. Science 323 (5920): 1432-1433.

Sánchez, M. V., J. A. Honorato S. y J. López U. 2018. Selección de clones de *Cedrela odorata* L. en el golfo y sureste de México. p. 1003 – 1012. *In*: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., A. L. Del Angel P. y C. Perdomo M. (comps.). 2018. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México. Año 2, Núm. 1.

SAS Institute Inc. (SAS). 2009. SAS for windows (Version 9.2 for Windows). Cary, NC. USA.

Vassilev, S. V., D. Baxter, L. K. Andersen and C. G. Vassilev. 2010. An overview of the chemical composition of biomass. Fuel 89: 913 – 933.

Wróbel, M., K. Mudryk, M. Jewiarz, S. Głowacki and W. Tulej, W. 2018. Characterization of Selected Plant Species in Terms of Energetic Use. p. 671-681. *In*: Mudryk, K. and S. Werle (eds.). Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation. Springer International Publishing. Cham, Switzerland.

Acuacultura y Pesquería

PROPIEDADES FUNCIONALES DE POLISACÁRIDOS OBTENIDOS DE MACROALGAS COSTERAS DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

Diana Berenice Reyes Jaen[1], Ana Leticia Platas Pinos[271] y Eugenio Rangel León[271]*

Resumen

Las algas marinas son organismos conocidos por su diversidad de compuestos bioactivos presentes en su estructura; los reportes indican que las algas presentan un contenido de fibra dietaria con efectos hipolipidémicos, antioxidantes y anticoagulantes, funcionando como productos funcionales a la salud. En este estudio se evaluaron las propiedades funcionales de los polisacáridos presentes en algas obtenidas en Boca del Río, Veracruz. Para realizar la investigación se determinó el contenido de fibra dietaria total, soluble e insoluble por técnica enzimática-gravimétrica de la AOAC; para las propiedades funcionales se determinó la capacidad de hinchamiento por diferencia de volúmenes en agua, la capacidad de retención de agua determinando la cantidad de agua que es atrapada por gramo de fibra después de secado de la fibra humedecida y, para la retención de aceite, se determinó la cantidad de aceite de soya que atrapa un gramo de fibra por diferencia de pesos. Los resultados indican que las algas rojas son las que contienen mayor cantidad de fibra dietaria total, alcanzando un valor máximo de 66.7 g/g de alga. En todos los casos, el contenido de fibra insoluble es mayor en relación a la fibra soluble debido a la naturaleza química de los polisacáridos presentes en las algas. En cuanto a la relación fibra soluble/insoluble estás presentan valores muy atractivos, ya que se acercan a la proporción ideal nutrimental de fibra (FDS/FDI 1:3), siendo *G. bursa-pastoris* y *P. gymnospora* las que tuvieron mejor relación de fibras. En cuanto a las propiedades funcionales todas las algas tuvieron buena retención de agua (9.2 a 14.6 g agua/g de alga seca), así como, de hinchamiento (12 a 24 mL/g de alga seca), propiedades atractivas en la producción de alimentos de panificación y cárnicos, además las algas rojas, tuvieron una buena retención de aceite (1.3 a 2.8 g aceite/g de alga seca), lo que hacen atractivas como

[1] Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Boca del Río. Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12, C.P. 94290. Boca del Río, Veracruz, México. *eugeniorangel@bdelrio.tecnm.mx.

fibra con propiedades hipolipemiantes, como potenciales fuentes de fibras con atractivas propiedades funcionales para su uso como ingrediente funcional en productos de panificación como sustituto de harinas bajas en fibra o en productos cárnicos como sustituto del almidón adicionado como emulsificante.

Palabras clave: fibra dietaria, capacidad de hinchamiento, retención de agua, retención de aceite, *Ulva*, *Hypnea*, *Gracilaria*

Introducción

Las algas, desde el punto de vista nutrimental, son opciones con bajas calorías y con un contenido alto en proteínas, fibra dietética, minerales y vitaminas. Aunado a esto, son una fuente considerable de compuestos bioactivos, ente los que destacan antioxidantes (carotenoides, clorofilas, compuestos fenólicos) que ayudan en la prevención de enfermedades cardiovasculares, el envejecimiento prematuro y cáncer en sus variedades, polisacáridos estructurales (alginatos, carbohidratos sulfatados, carragenina, agar), por lo que presenta efectos que ayudan en la prevención de riesgos cardiovasculares (Sanz-Pintos *et al.*, 2017; Peñalver *et al.*, 2020). Por otro lado, la relación de fibra soluble con respecto a la fibra insoluble presente en las macroalgas es una relación idónea para la prevención de enfermedades coronarias, gastrointestinales y del síndrome metabólico (Sanz-Pintos *et al.*, 2017).

Los beneficios a la salud que ofrece el consumo de macroalgas son amplios, lo que los hace una alternativa para incorporarlo en la dieta, como un alimento o como ingrediente funcional en la manufactura de los mismos, ya que poseen características tecnológicas que les permiten ser adicionadas en alimentos, como ejemplo las pastas, con un aporte de fibra dietaria, antioxidantes y proteína (Prabhasankar *et al.*, 2009a; Prabhasankar *et al.*, 2009b).

A pesar de lo anterior, su consumo es muy localizado, principalmente a Japón, China y Corea en Asia, donde su consumo llega a ser de 8.5 a 10 g/día (Urbano *et al.*, 2002; Teas *et al.*, 2004). Recientemente, su consumo se ha diversificado a Escocia, Chile, Filipinas, Malasia, Bali, Corea, Singapur y Sri Lanka y, en menor medida, a otros continentes por la trascendencia

de la comida japonesa en el occidente (Gomez *et al.*, 2011; Jayasinghe *et al.*, 2019). Es por ello la importancia de conocer los beneficios a la salud y emplear nuevas fuentes de fibra dietaria derivado de algas marinas locales y, con ello, conseguir un beneficio social y económico para el País.

Existe una variedad de investigaciones efectuadas a nivel mundial debido a las bondades que ofrecen las algas derivado de su composición estructural y la síntesis metabólica. Es por ello, que las investigaciones se enfocan a conocer su composición proximal y las aplicaciones que se podrían dar empleando este recurso marino. Algunas de ellas se mencionan a continuación:

Dawczynski *et al.* (2007) no encontraron diferencias significativas en el contenido de fibra dietética entre algas rojas y pardas, con valores promedio de 48.6 y 43.8 g/100 g respectivamente.

Ortiz *et al.* (2006) compararon el contenido de fibra dietética de algas *Ulva lactuca* y *Durvillaea antárctica* extraídas en Chile, conocidas como “ulte” y “cochayuyo” respectivamente, con valores de frutas y hortalizas, encontrando mayor el contenido de fibra dietética en las algas.

López-López *et al.* (2009) elaboraron hamburguesas con la incorporación de *Undaria pinnatifda* (alga parda conocida como wakame) y bajo contenido de sal. Se obtuvieron menores pérdidas de peso durante la descongelación, cocción y almacenamiento, relacionándose con el aporte de fibra dietética por parte del alga, donde además se logra mejorar las propiedades emulsificantes, capacidad de retención de agua y materia grasa.

López-López *et al.* (2010) demostraron que la incorporación de algas en hamburguesas permite aumentar el contenido de fibra dietética y minerales como el calcio y, además, mantener cantidades normales de sodio y una baja proporción de sodio/potasio.

Choi *et al.* (2012) reemplazaron parcialmente la materia grasa en hamburguesas por *Laminaria japonica* (conocida como kombu), lo que provocó mayor elasticidad que la muestra control que contenía 20% de materia grasa. La incorporación de algas en productos cárnicos permite mejorar la masticabilidad, reduciendo la elasticidad y cohesión.

Prabhasankar *et al.* (2009a) desarrollaron pastas con 1, 2.5 y 5% de *Sargassum marginatum*, un alga parda de la India. La incorporación del alga mejoró el comportamiento del gluten; sin embargo, no hubo efecto sobre las propiedades antioxidantes de la pasta como se esperaba. En un estudio posterior, incorporaron *Undaria pinnatífda* o wakame en semolina para la

preparación de pastas produciendo un aumento en el contenido de proteínas, materia grasa y fibra dietética, además de fucoxantina y fucosterol en las pastas elaboradas.

Sin embargo, no existe un estudio como los analizados para macroalgas pertenecientes a las costas veracruzanas, únicamente estudios de biodiversidad algal en costas mexicanas. Es por ello que se plantea, como objetivo del presente trabajo, evaluar las propiedades funcionales de los polisacáridos presentes en macroalgas obtenidas en las costas de Boca del Río, Veracruz.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo el trabajo de investigación, se colectó el material biológico de forma manual, al igual que el lavado y separación de la misma por familia, género y especie, en la Playa Pelicano (19.1478989, -96.094319). Posteriormente, se deshidrataron las algas en estufa de secado a una temperatura de 60°C durante 24-48 horas. Al término de esta, se almacenaron al vacío hasta su análisis. Las colectas se realizaron durante los meses de febrero a mayo de 2022.

Determinación del contenido de fibra dietaria

Para la determinación de fibra dietaria soluble e insoluble se empleó la técnica enzimática-gravimétrica 991.43 de la AOAC (2000), humedad y cenizas por técnica gravimétrica mediante la técnica 934.06 y 923.03 de la AOAC (2000), respectivamente y proteínas por la técnica de Kjeldahl por el método 960.52 de la AOAC (2000).

Evaluación de las propiedades funcionales

En cuanto a las propiedades funcionales, la capacidad de retención de agua, se disilvió 1 g de muestra en 30 mL de agua destilada a temperatura ambiente durante 18 h, después se centrifugó a 300 g por 20 min. El residuo se secó a 105°C hasta peso constante. Por último, se determinó la capacidad de retención de agua, determinando la diferencia el peso del residuo y el peso del residuo seco por gramo de alga.

La solubilidad en agua se determinó disolviendo 1 g de muestra en 50 mL de agua destilada. La mezcla se agitó a 90°C durante 30 min y entonces se centrifugó a 3000 g por 10 min. El

sobrenadante se secó a 105°C hasta peso constante y se determinó el contenido de sólido disuelto.

La capacidad de hinchamiento se determinó disolviendo 0.2 g de muestra seca en 10 mL de agua dentro de una probeta graduada a temperatura ambiente por 18 h. La diferencia de volumen se registró y, con ello, se determinó la capacidad de hinchamiento.

Para la absorción de aceite se emplearon 0.2 g de muestra para disolverlos en 30 mL de aceite de girasol, cártamo u oliva durante 18 h a temperatura ambiente; pasado este tiempo, la mezcla se centrifugó a 2000 g por 20 min. La capacidad de absorción de aceite se determinó por la diferencia entre el peso del residuo antes y después de la absorción.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizaron Análisis de Varianza con prueba posterior de Tukey, con un nivel de significancia de $p<0.05$ para el contenido de fibra dietaria soluble, insoluble y total, así como, para cada una de las propiedades funcionales evaluadas, empleando el software Minitab 19.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en el contenido de fibra dietaria total, soluble e insoluble indican que las algas rojas (Género *Hypnea* y *G. bursa-pastoris*) son las que contienen mayor cantidad de fibra dietaria total alcanzando un valor máximo de 66.7 g/g de alga (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de fibra dietaria soluble, insoluble y total presente en las algas colectadas.

Alga	Fibra dietaria (g/100 g)			
	Soluble	Insoluble	Total	FDS/FDI
Ulva lactuca	16.8 ± 2.7 a	24.4 ± 2.5 a	41.2 ± 2.8 a	0.69 ± 0.04
Hypnea cervicornis	25.4 ± 2.6 b	29.7 ± 1.7 b	55.6 ± 2.9 b	0.84 ± 0.08
Hypnea musciformis	21.7 ± 1.9 b	33.2 ± 3.1 b	53.9 ± 2.5 b	0.67 ± 0.03
Gracilaria bursa-pastoris	20.1 ± 2.2 b	46.6 ± 2.9 c	66.7 ± 4.2 c	0.42 ± 0.02
Padina gymnospora	9.6 ± 1.9 c	24.6 ± 3.8 a	34.4 ± 6.3 a	0.40 ± 0.07

Las letras diferentes indican diferencia significativa (*p<0.05*).

Es de notarse que, el contenido de fibra insoluble fue superior en todos los casos, teniendo valores de 24.4 a 46.6% en peso, esto se debe a la naturaleza química de los polisacáridos que conforman la fibra, los cuales presentan pesos moleculares altos y por ellos su propiedad hidrofóbica, además, de los sacáridos que presentan este tipo de organismos entre los cuales destacan carbohidratos sulfatados, fucanos, ulvanos y acetilamino-azúcares (Peñalver *et al.*, 2020). Estos últimos proporcionan una resistencia a la acción enzimática gástrica, lo que aumenta su habilidad como fibras dietarias (Dawczynski *et al.*, 2007).

En cuanto a la relación fibra soluble/insoluble, estás presentan valores muy atractivos, ya que se acercan a la proporción ideal nutrimental de fibra (FDS/FDI 1:3) siendo *G. bursapastoris* y *P. gymnospora* las que tuvieron mejor relación de fibras (Urbano *et al.*, 2002).

En cuanto a las propiedades funcionales de los polisacáridos presentes en las algas, todas ellas tuvieron buena retención de agua (9.2 a 14.6 g/g de alga seca), así como de hinchamiento (12 a 24 mL/g de alga seca), propiedades atractivas en la producción de alimentos de panificación y cárnicos, ya que pudieran suplicar al empleo de harinas convencionales bajas en fibra (Prabhasankar *et al.*, 2009a; Choi *et al.*, 2012).

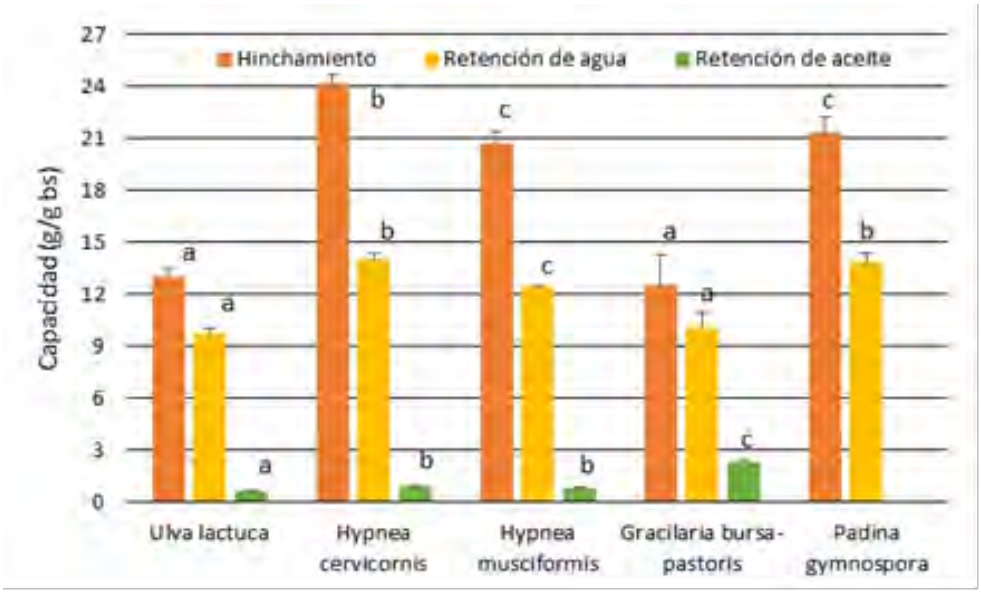


Figura 1. Propiedades funcionales de las algas colectadas. Las letras diferentes indican diferencia significativa (p<0.05)

Además, las algas rojas tuvieron una buena retención de aceite (1.3 a 2.8 g de aceite/g de alga seca), lo que las hace atractivas como fibra con propiedades hipolipemiantes, de acuerdo a lo

mencionado por Sanz-Pintos *et al.* (2017). Por su parte, Peñalver *et al.* (2019) comentan que las algas con este tipo de polisacáridos que presentan los niveles de propiedades funcionales son candidatos a ofrecer ingredientes con características funcionales, hipolipemiantes e hipoglucémicas, en la sustitución de componentes alimentarios altos en almidones, así como, ingredientes con características de inhibición o disminución de los índices glicémicos de los productos alimentarios.

Conclusiones

1. Las algas evaluadas en este estudio denotan un contenido alto de fibra dietaria total, principalmente en las algas rojas y pardas, destacando *G. bursa-pastoris*. 2. *G. Bursa-pastoris* presenta la mayor retención de aceite. 3. Las algas rojas mostraron buena capacidad de retención tanto de agua como de aceite, por lo que podrían considerarse como potenciales fuentes de fibras con atractivas propiedades funcionales para su uso como ingrediente funcional en productos de panificación como sustituto de harinas bajas en fibra o en productos cárnicos como sustituto del almidón adicionado como emulsificante. 4. Este estudio permite verificar el interés en investigaciones de retención de productos específicos como glucosa, sacarosa, cationes o inhibidor de enzimas amilolíticas como otras propiedades funcionales de importancia nutracéutica, así como, evaluar su índice glucémico y su digestibilidad y la generación de ácidos grasos de cadena corta como elemento prebiótico.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por su apoyo financiero con proyecto 9039.20-P para la realización de este proyecto.

Literatura Citada

Choi Y. S., D. J. Han, H. Y. Kim and H. W. Kim. 2012. Effects of Laminaria japonica on the physico-chemical and sensory characteristics of reduced-fat pork patties. Meat Sci 91:1–7.

Dawczynski, C., R. Schubert and G. Jahreis. 2007. Amino acids, fatty acids and dietary fibre in edible seaweed products. Food Chem 103:891-9.

Gómez G., C., G. Guerra R., I. Soria M. and N. Ayala-Sánchez. 2011. Marine Edible Algae as Disease Preventers. Adv Food Nut Res 64:29-39.

Jayasinghe P. S., V. Pahalawattaarachchi and K. K. D. Ranaweera. 2019. Dietary Fiber Content, Fatty Acid and Starch Digestible Rate of Seaweed and Seaweed based Products in Sri Lanka. Acta Sci Nutr Health 3(7):143-146.

López- López, I., S. Cofrades, C. Ruiz-Capillas and F. Jiménez C. 2009. Design and nutritional properties of potential functional frankfurters base on lipid formulation, added seaweed and low salt content. Meat Sci 83: 255 –62.

López-López, I., S. Cofrades, A. Yakan, M. T. Solas and F. Jiménez C. 2010. Frozen storage characteristics of low-salt and low-fat, beef patties as affected by Wakame addition and replacing pork backfat olive oil-in-water emulsion. Food Res Int 2010 43:1244–54.

Ortiz, J., N. Romero, P. Robert, J. Araya, J. Lopez-Hernández, C. Bozzo, E. Navarrete, A. Osorio and A. Rios. 2006. Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. Food Chem 99:98–104.

Peñalver R., J. M. Lorenzo, G. Ros, R. Amarowicz, M. Pateiro and G. Nieto. 2020 Seaweeds as a Functional Ingredient for a Healthy Diet. Mar Drugs 18(6):301.

Prabhasankar P., P. Ganesan, N. Bhaskar, A. Hirose, N. Stephen, L. R. Gowda, M. Hosokawa and K. Miyashita. 2009a. Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifda*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. Food Chem 115:501-8.

Prabhasankar, P., P. Ganesan and N. Bhaskar. 2009b. Influence of Indian brown seaweed (*Sargassum marginatum*) as an ingredient on quality, biofunctional and microstructure characteristics of pasta. Food Sci Tech Int 15:471-9.

Sanz-Pintos N., J. Pérez-Jiménez, A. H. Buschmann, J. R. Vergara-Salinas, J. R. Pérez-Correa and F. Saura-Calixto. 2017. Macromolecular Antioxidants and Dietary Fiber in Edible Seaweeds. J Food Sci 82(2):289-295.

Teas, J., S. Pino, A. Critchley and L. E. Braverman. 2004. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. Thyroid 14:836–41.

Urbano, M. G. and I. Goñi. 2002. Bioavailability of nutrients in rats fed on edible seaweeds, Nori (*Porphyra tenera*) and Wakame (*Undaria pinnatifda*), as a source of dietary fibre. Food Chem 76: 281-6.

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SACARIFICACIÓN ÁCIDA DE LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) POR ANÁLISIS BOX-BEHNKEN

Victoria Magdalena Pulido Juárez[1], Diana Berenice Reyes Jaen[272], Ana Leticia Platas Pinos[272] y Eugenio Rangel León[272]*

Resumen

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta acuática considerada en México como una plaga y degradador medio ambiental. Debido a su alta reproducción y tasa de crecimiento, logra tener una rápida propagación en los cuerpos de agua, consumiendo los nutrientes que allí se depositan de los efluentes urbanos y rurales cercanos a dichos cuerpos, lo que conlleva al fenómeno de eutrofización del mismo y, por ende, muerte de la fauna y flora endémica de los lagos, lagunas y ríos. Como objetivo de este trabajo se propuso determinar las mejores condiciones de hidrólisis ácida del lirio acuático ubicado en el Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz, para la obtención de caldos ricos en azúcares fermentables. Para ello, se llevó a cabo la determinación del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa de acuerdo a lo descrito en la norma ANSI/ASTM (lignina Klason y Holocelulosa/Celulosa de Browning); se optimizaron los parámetros de concentración de ácido sulfúrico (1%, 2% y 3%), tiempo de hidrólisis (15, 30 y 60 min) y la relación sólido/líquido (20%, 12.5% y 10% peso de lirio/volumen de solución) con ayuda del análisis de superficie de respuesta Box-Behnken y un ajuste de máximo y mínimos con el modelo resultante, las corridas experimentales se llevaron a cabo en matraces de 250 mL con peso de lirio de 10 g, a una temperatura de 120°C; se realizaron la determinación de azúcares reductores por la técnica de DNS y ácido acético por titulación con NaOH. Los resultados muestraron una reducción del 88.8% de hemicelulosa y 34.2% de celulosa en las condiciones optimas arrojadas por el modelo (ácido acético al 2.91%, 15 min y 10% p/v), obteniéndose en la corrida de verificación 33.45 g /L de azúcares reductores y 1.97 g/L de ácido acético, valores cercanos a la predicción del modelo. Por lo que, resulta el lirio

[1] Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Boca del Río. Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12, C.P. 94290. Boca del Río, Veracruz, México. *eugeniorangel@bdelrio.tecnm.mx.

acuático una fuente recomendable para la obtención de caldos ricos en azúcares fermentables para la fabricación de productos derivados de fermentación, como podrían ser, bioetanol y edulcorantes alditoles.

Palabras clave: hidrólisis ácida, azúcares reductores, ácido acético

Introducción

Una de las principales fuentes de bioenergía es la biomasa, dentro de las cuales se destaca las fuentes lignocelulósicas, componente principal de la pared celular de todas las plantas. Esta fuente de energía es renovable ya que es producida a partir de la fotosíntesis y se encuentra dentro del ciclo del carbono, lo que la hace la fuente más prometedora en la generación de combustibles, ya que puede ser utilizada como materia prima en la generación de bioetanol (Cuervo, 2009). Sin embargo, para poder emplear los materiales lignocelulósicos estos deben ser hidrolizados para obtener soluciones ricas en azucares fermentables (glucosa, arabinosa, fructosa, xilosa, manosa, galactosa) a través de procesos de hidrólisis. Por otro lado, las hidrólisis fomentan la producción de productos inhibidores del crecimiento celular en concentraciones tóxicas (furfurales y ácidos orgánicos), lo que provoca la disminución en la actividad fermentativa de los microorganismos (Pérez-Bibbins *et al*., 2014).

Adicional a la producción de bioenergéticos por vía biológica, existen diferentes procesos fermentativos para la producción de compuestos edulcorantes, dentro de los que destacan el xilitol, sorbitol y manitol, productos provenientes de los respectivos sacáridos derivados de la hidrólisis selectiva de la hemicelulosa y celulosa. Estos se emplean como edulcorante en alimento procesados y como sustituto de la sacarosa o fructosa en alimentos para diabéticos o alimentos bajo en calorías, ya que una de las propiedades es ser independiente de la insulina para su metabolización. Además, en la industria farmacéutica se usa como un agente anticariogénico y antiséptico para tratamiento de infecciones óticas, oftálmicas y otorrinolaringólogas. Sin embargo, no es un producto que sea ampliamente difundido como ingrediente o agente activo por su alto valor comercial (Lezama-Orozco *et al*., 2018).

Una fuente de lignocelulosa, que se encuentra en los cuerpos de agua próximos al puerto de Veracruz, es el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) que prolifera en temporada cálida en el río Jamapa y las algas verdes que abundan en las costas del puerto, siendo estas dos fuentes residuos sólidos urbanos para los municipios aledaños, sin aprovechamiento alguno. Además, debido a su alta reproducción y tasa de crecimiento, logra tener una rápida propagación en los cuerpos de agua, consumiendo los nutrientes que allí se depositan de los efluentes urbanos y rurales cercanos a dichos cuerpos, lo que conlleva al fenómeno de eutrofización del mismo y, por ende, muerte de la fauna y flora endémica de los lagos, lagunas y ríos (Carrión *et al*., 2012). El lirio acuático, debido a su contenido de hemicelulosa y celulosa, se considera una fuente de carbohidratos fermentables (azúcares reductores) para emplearlo como medio de cultivo para la biosíntesis de productos fermentados de interés (Jiménez-Fonseca, 2018).

En cuanto a trabajos efectuados sobre la producción de hidrolizados a partir de materiales lignocelulósicos es extensa, empleando diferentes materiales entre los que destacan la caña de azúcar en países como México, Brasil y la India principalmente, además de otras fuentes como tubérculos por su contenido de almidón, rastrojo de maíz, olote de maíz, bagazo de sorgo dulce, cebada y diferentes tipos de pastos y hoja de árboles caducifolia.

Téllez-Luis *et al*. (2001) logran obtener una concentración de xilosa de 58.4 g/L al hidrolizar paja de sorgo rojo con ácido sulfúrico al 6%, por 60 min y 120°C. Pero reportan que la concentración de furfural supera los 5 g/L en el medio, por lo que proponen métodos de detoxificación para su posterior uso.

Herazo *et al*. (2009) hidrolizaron cascarilla de arroz con ácido sulfúrico al 2% por 30 min y obtuvieron 32.5 g/L de azúcares reductores y 9.9 g/L de xilosa. Sin embargo, no mencionan la concentración de productos inhibidores.

Viñals *et al*. (2016) realizaron la hidrolisis ácida de bagazo de caña de azúcar empleando diferentes ácidos, los mejores resultados se obtuvieron al emplear ácido sulfúrico 0.07 N, 120°C por 20 min alcanzando una concentración de 32 g/L de xilosa, posteriormente fue tratado con diferentes medios de detoxificación como resinas de intercambio iónico, neutralización y carbón activado.

Lezama-Orozco *et al*. (2018) realizaron la hidrolisis de bagazo de sorgo como medio de cultivo para la producción de xilitol empleando a *Debaryomises hansenii*, logrando una concentración de 63.7 g/L de xilosa al hidrolizar el bagazo a una temperatura de 120°C y con ácido sulfúrico

al 6%; sin embargo, mencionan que tuvieron que realizar detoxificación por la alta concentración de ácido acético y furfural en el medio.

Sin embargo, el empleo de lirio acuático, como materia prima, no ha sido probado hasta la actualidad. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue determinar las mejores condiciones de hidrólisis ácida del lirio acuático ubicado en el Río Jamapa, Boca del Río, Veracruz, para la obtención de caldos ricos en azúcares fermentables.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo el trabajo de investigación, se colectó el material biológico de forma manual, al igual que el lavado. Posteriormente, se deshidrataron las muestras en estufa de secado a una temperatura de 60°C durante 24 a 48 horas hasta peso seco. Al término de esta, se almacenó hasta su uso. El lirio una vez deshidratado se molió en un molino de martillos hasta obtener un tamaño de partícula de malla 35. Las colectas se realizaron durante los meses de junio y julio de 2021.

Determinación del contenido de Celulosa, Hemicelulosa y Lignina

Para la determinación de lignina se pesó 1 g de muestra y se mezcló con 15 mL de H_2SO_4 al 72% y se dejó reposar por 24 horas. Se transvasó el contenido del vaso a un matraz de 1000 mL, se añadieron 560 mL de agua desionizada y se ebullieron a reflujo durante 4 horas, al término de este proceso, se filtró en una placa filtrante, previamente secada en estufa a 105ºC y se pesa. El sólido filtrado se lavó con abundante agua desionizada caliente hasta que el pH del agua de lavado no fuera ácido, se secó en estufa a 105ºC durante 12 horas y se pesó nuevamente. A partir de los pesos se determinó el contenido en lignina.

El contenido de holocelulosa se determinó como sigue: se pesaron 2 g de muestra, en un erlenmeyer de 250 mL y se añadieron 63 mL de agua desionizada. A la suspensión se le añadieron 0.2 mL de ácido acético y 0.6 g de clorito de sodio. Se cubrió con un vidrio de reloj y se introdujó al baño maría (70-80ºC), agitando de vez en cuando. Este proceso se repitió dos veces más. Al finalizar la tercera hora, se colocó el erlenmeyer en un baño de agua-hielo hasta que la temperatura bajó a los 10ºC. Se filtró en placa filtrante, previamente pesada y se lavó con agua desionizada hasta la eliminación de la coloración amarilla. Posterior al lavado con

agua desionizada, se dejó secar a 60ºC hasta peso constante. El contenido de holocelulosa se calculó determinando el peso seco del residuo del filtrado.

Para determinar el contenido de celulosa se realizó los siguiente: se pesó 1 g de holocelulosa, en un erlenmeyer de 100 mL. Se añadieron 5 mL de NaOH 17.5% mezclando con una varilla de vidrio. Cada 5 minutos se añadieron 2.5 mL de NaOH 17.5% hasta un total de 12.5 mL y se mantuvieron 30 minutos a temperatura ambiente. Se añadieron 16.5 mL de agua desionizada a 20ºC, se mezcló bien y se mantuvó durante 1 hora a temperatura ambiente. A continuación, se filtró en la placa filtrante de peso conocido y se lavó con 50 mL de NaOH 8.3% y posteriormente con agua desionizada. Se repitió el lavado con NaOH 8.3% y agua desionizada dos veces. Se cortó la succión, se añadieron 7.5 mL de ácido acético al 10% y se dejó en contacto 3 minutos. Se volvió a conectar el vacío y se lavó con agua desionizada hasta neutralidad del filtrado. Se secó a 80ºC en estufa durante 4 horas y se pesó. El contenido de celulosa se determinó con el peso del residuo seco.

El contenido de Hemicelulosa se determinó por diferencia entre el contenido de holocelulosa y celulosa.

Proceso de hidrólisis y determinación del contenido de azúcares reductores y ácido acético

La hidrólisis ácida se realizó tomando como parámetros de diseño relación sólido/líquido (20%, 12.5% y 10% peso de lirio/mL de solución ácida), concentración de la solución ácida se emplearon 1%, 2% y 3% de ácido sulfúrico y tiempo de hidrólisis de 15, 30, y 60 min. Todas las cinéticas se llevarán a cabo a una temperatura de 121°C.

Una vez realizado el proceso de hidrólisis, se determinó azucares reductores mediante la técnica de Ácido 3,5-Dinitrosalicílico (DNS) para conocer el contenido de sacáridos, empleando a glucosa como estándar y, además, se le determinó acidez titulable con hidróxido de sodio al 0.1 N para conocer el porcentaje de acidez expresado como contenido de ácido acético.

Análisis estadístico

Los resultados se introdujeron a un modelado por el método de Box-Behnken y posterior al ajuste de regresión multivariado, se sometió a un ajuste de máximos y mínimos para encontrar las condiciones óptimas de hidrólisis tomando como factores de optimización un máximo de concentración de azúcares reductores y un mínimo de concentración de ácido acético, empleando el software Minitab 19.

Resultados y Discusiones

El lirio acuático mostró tener un perfil lignocelulósico favorable para el tratamiento de sacarificación ya que mostró valores mayoritarios de celulosa y hemicelulosa (26.1 ± 4.23% y 68.7 ± 3.45% en peso, respectivamente) y un contenido menor de lignina (5.2 ± 0.89% en peso), lo que hace atractivo su uso como fuente de carbohidratos fermentables; por otro lado, el mayor contenido lo mostró la hemicelulosa, lo que favorece la concentración de un caldo hidrolizado heterogéneo entre hexosas y pentosas.

De acuerdos a los resultados obtenidos, la mayor concentración de azúcares reductores fue de 39.75 g/L, obtenido con el tratamiento de 3% de ácido, 30 min y 12.5% m/v; sin embargo, se obtuvo una concentración de ácido acético de 3.64 g/L, siendo indeseable esto último en medios de cultivos para levaduras del género *Saccharomyces*, *Candida* o *Pichia* ya que disminuyen su crecimiento y producción de metabolitos (Pérez-Bibbins *et al*., 2014). Por ello, se llevó a cabo el análisis de regresión lineal multivariado, resultando en los modelos de predicción:

Azúcar Red. (g/L) = 3.7 + 12.77*A + 0.091*B + 0.72*C - 0.166*A*B -0.401*A*C - 0.0097*B*C + 0.0045*A*B*C (R^2: 81.2%)

Ácido acético (g/L) = -0.495 + 0.881*A + 0.0183 B - 0.01040*A*B + 0.001233*A*B*C (R^2: 75.1%)

Donde A: Concentración de ácido sulfúrico, B: Tiempo de residencia, C: Relación Sólido/Líquido

En los modelos se puede apreciar que la relación S/L no tuvo efecto sobre la concentración producida de ácido acético durante la hidrólisis, siendo la concentración de ácido sulfúrico el factor de mayor influencia. Por otro lado, para la producción de azúcares reductores (Figura 1), los tres parámetros tuvieron influencia en la liberación de los azúcares observándose su influencia, en orden descendente, como sigue: concentración de ácido > relación S/L > tiempo de residencia, teniendo influencia positiva en la liberación de los azúcares a partir del polímero de lignocelulosa. Se realizó la optimización del modelo, obteniéndose las condiciones: 2.91% de ácido sulfúrico, 15 min y 10% m/v, con un ajuste de correlación del 79.8% (R^2) y valores predictivos de 31.07 g/L de azúcares reductores y 2.1 g/L de ácido acético; el modelo se ajustó

a ambos parámetros como máximo la concentración de azúcares y como mínimo la concentración de ácido acético.

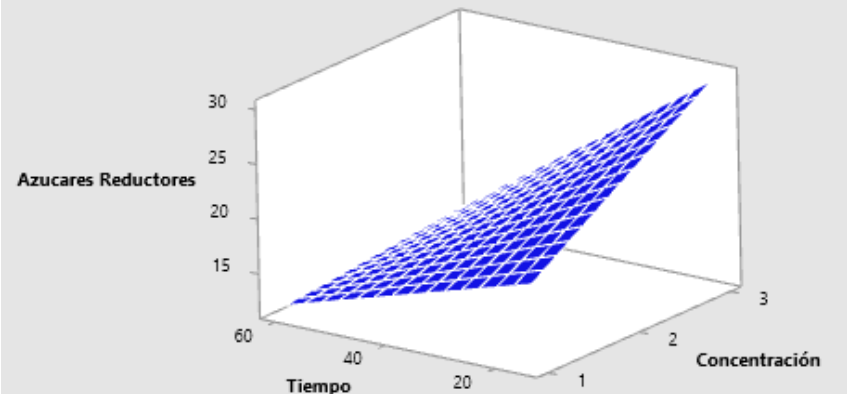


Figura. 1. Superficie de respuesta de azúcares reductores en función de la concentración de ácido y tiempo de residencia.

El modelo también arrojó valores de contenido de azúcares reductores de hasta 45 g/L pero con concentraciones de ácido acético por arriba de los 3.5 g/L, los cuales no eran deseables. Al realizar la corrida experimental obteniéndose valores reales de 33.45 g/L y 1.97 g/L de ácido acético. Se recomienda evaluar el perfil de carbohidratos generado y la concentración de celulosa, hemicelulosa o lignina degrada, para evaluar su aplicación.

Al verificar el rendimiento de la hidrólisis en la corrida experimental óptima se encontró una reducción del 88.8% de hemicelulosa, 34.2% de celulosa y 9.6% de lignina, resultados que muestran la selectividad de la hidrólisis ácida sobre la hemicelulosa. Pérez-Bibbins *et al*. (2014) obtuvieron valores similares en el rendimiento de hidrólisis de la hemicelulosa y celulosa en bagazo de caña y mencionaron que para mejorar el proceso de hidrólisis de la celulosa habría que emplear algún proceso preliminar como la explosión de vapor, método que emplearon en su investigación o una hidrólisis alcalina con la finalidad de eliminar, de primera instancia, la lignina y tener mayor acceso al polímero de celulosa.

Conclusiones

1. El proceso de hidrólisis ácida es un proceso eficiente para la liberación de azúcares contenidos en los materiales lignocelulósicos, principalmente a la hemicelulosa, y en el caso

de este estudio, se logró encontrar las condiciones óptimas de hidrolisis para el lirio acuático. 2. Con ello, se logra aprovechar el recurso como fuente de carbohidratos fermentables y disminuir la afectación que provoca en el ambiente acuático.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por su apoyo financiero con proyecto 11593.21-P para la realización de este proyecto.

Literatura Citada

Carrión, C., C. Ponce-de León, S. Cram, I. Sommer, M. Hernández y C. Vanegas. 2012. Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. Agrociencia 46(6):609-620.

Cuervo, L., J. L. Folch y R. E. Quiroz. 2009. Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. BioTecnología 13:3:11-25.

Herazo, I. C., D. Ruiz y G. S. Arrazola. 2009. Bioconversión de xilosa a xilitol por *Candida guilliermondii* empleando cascarilla de arroz (*Oriza sativa*). Temas Agrarios 14:1-18.

Jiménez-Fonseca, A. L. 2018. Proceso de producción de bioetanol, a partir de la biomasa hidrolizada de la *Eichhornia Crassipes* con la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Tesis de Licenciatura. Universidad Los Libertadores. Bogotá, Colombia. 38 p.

Lezama-Orozco E., R. Ruíz-Salazar, G. Bustos-Vázquez, N. Montes-García, V. Roa-Cordero y G. Rodríguez-Castillejos. 2018. Producción de xilitol a partir de hidrolizados ácidos no detoxificados de bagazo de sorgo por *Debaryomyces hansenii*. Agrociencia 52:1095-1106.

Pérez-Bibbins B., R. P. de Souza-Oliveira, A. Torrado, M. G. Aguilar-Uscanga and J. M. Domínguez. 2014. Study of the potential of the air lift bioreactor for xylitol production in fed-batch cultures by *Debaryomyces hansenii* immobilized in alginate beads. Applied Microbiol Biotechnol 98:151-161.

Téllez-Luis, S. J., J. A. Ramírez and M. Vázquez. 2002. Mathematical modelling of hemi-cellulosic sugar production from sorghum straw. J Food Eng 52:285-291.

Viñals V., M., I. Maciel de M., J. Batista de A. e S. y A. I. Nápoles S. 2006. Métodos de purificación de hidrolizados de bagazo de cañaa de azúcar para la obtención de xilitol. CYTA - J Food 5(2):129-134.

ABUNDANCIA DE CAMARÓN BLANCO Y CAPTURA INCIDENTAL EN LA PESCA DE CAMARÓN SIETE BARBAS

Armando T. Wakida Kusunoki [1] * y Ana Gabriela Díaz Álvarez[2]

Resumen

En el año de 1997 se inicia, formalmente, la explotación del camarón siete barbas, después de un periodo con permiso de pesca de fomento, donde bajo criterios científicos de aspectos biológicos, ecológicos, económicos y sociales se autoriza la actividad. Dentro de esos criterios, la captura incidental de camarón blanco y otras especies fueron aspectos importantes en el establecimiento de los periodos de pesca para este recurso. Actualmente la captura ilegal del camarón blanco es realizada con mayor frecuencia debido a que el precio de este camarón es mucho mayor que del camarón siete barbas. La captura se lleva a cabo con artes de pesca no legalizadas, como la red de enmalle y, principalmente, con la red de arrastre denominada "voladora". El presente proyecto tiene como objetivos: 1) evaluar biologia pesquera, el uso de la red siete barbera y la red voladora y 2) estimar el estado de la población del camarón P. *setiferus* en la zona de Ciudad del Carmen, Campeche. Se realizaron campañas de muestreo de julio a diciembre del 2017. Cada campaña consistió en seleccionar seis estaciones donde antiguamente se realizaban arrastres de muestreo por el CRIP Carmen. En cada una de las estaciones se realizó un arrastre con una red siete barbera y una red "voladora". Toda la captura obtenida se separó por especie. Con los resultados obtenidos se comparaó, de ambas redes, las abundancias obtenidas de la captura incidental (CI), camarón blanco y camarón siete barbas. Los resultados mostraron que a) existe diferencias entre las abundancias de camarón blanco y camarón siete barbas, estimadas con cada red. En el caso de la CI no existió diferencia en las abundancias estimadas, b) Las tallas de las especies de camarones capturadas con la red voladora fueron mayores a las obtenidas por la red siete barbera y C)

[1]* Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, Centro Regional de Investigación Pesquera y Acuícola de Yucalpetén, Yucatán.
[2] Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, Centro Regional de Investigación Pesquera y Acuícola de Ciudad del Carmen, Campeche.

Las densidades de camarón blanco *P. setiferus* en la zona obtenidas en el 2017 no son diferentes a las obtenidas en el periodo 1998 – 2004.

Palabras claves: *Litopenaeus setiferus*, *Xiphopenaeus kroyeri*, ciudad del Carmen, Campeche

Introducción

El camarón siete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri* Heller, 1862) es un recurso pesquero importante en Campeche, ya que genera una derrama económica alrededor de 27 millones de pesos y un número aproximado de 600 empleos directos (Wakida-Kusunoki y Núñez Márquez, 2006). En el año de 1997, se inicia formalmente la explotación del camarón siete barbas, después de un periodo con permiso de pesca de fomento, donde bajo criterios científicos de aspectos biológicos, ecológicos, económicos y sociales se autoriza la actividad.

Uno de los aspectos importantes en el manejo de la pesca del camarón siete barbas es la fuerte y amplia asociación que presenta con el camarón blanco *Penaeus setiferus* (Linnaeus 1767), lo cual provoca que esta especie se capture de manera incidental durante la pesca del camarón siete barbas. La población del camarón blanco esta considerada en un estado de deterioro, además de ser altamente apreciado por su precio. Por lo tanto, algunas de las medidas de manejo recomendadas se basaron en disminuir el efecto de esta pesca sobre las poblaciones de camarón blanco.

Uno de los grandes problemas de las pesquerías de arrastre de camarón es la captura incidental, ya que un gran porcentaje de la misma es descartado. Este factor en la pesca del camarón siete barba adquiere mayor importancia ya que la captura se lleva a cabo en zonas someras, menores de cinco brazas (nueve metros aproximadamente) y en la zona del área natural protegida de la laguna de Términos.

El porcentaje de la captura incidental en la pesca de camarón siete barbas, junto con los periodos de reproducción y reclutamiento de camarón blanco y camarón siete barbas fueron en su conjunto, los criterios para el establecimiento del periodo de captura en la zona de Ciudad del Carmen (Nuñez y Wakida-Kusunoki, 1997).

En los últimos años, la pesca de camarón siete barbas en la zona costera de Ciudad del Carmen, Campeche ha sufrido cambios, como resultados de los aumentos de los insumos. Estos cambios se podrían resumir en un mayor uso de una red de arrastre no autorizada denominada red voladora y que se conoce que captura mayor cantidad de camarón blanco.

Sin embargo, hasta el momento no se ha evaluado los efectos que se tienen al utilizar ese tipo de red en la zona ya que, desde hace más de 10 años, no se han llevado a cabo muestreos directos, ni estudios para conocer el estatus actual de las poblaciones de camarón en la zona.

Debido a lo anterior, y para conocer si las bases técnicas científicas con que se recomendó los periodos de veda de camarón en la zona se mantienen vigentes, es necesario realizar campañas de monitoreo directo para conocer la magnitud de estos cambios.

Por lo que este trabajo presenta los resultados de indicadores biológico pesqueros para evaluar el uso de la red siete barbera y voladora, además de evaluar la población de camarón blanco mediante la comparación de densidades actuales con registros históricos, con el objetivo de conocer el nivel poblacional del camarón blanco y, así, determinar si han existido cambios en el comportamiento de esta variable.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra alrededor de la boca del Carmen, que es la principal salida de agua de la Laguna de Términos y funciona como una ruta de migración de algunas especies de peces que se dirigen a la Sonda de Campeche, pero también constituye una ruta de inmigración de los individuos a la laguna por la capa inferior del agua, distribuyéndose principalmente en áreas de baja salinidad y alta turbidez (Yáñez-Arancibia *et al*., 1991). Las zonas que se encuentran alrededor de esta boca presenta un ambiente de agua salobre y turbia y presenta poca pendiente. El área de estudio tiene tres estaciones al año: de junio a finales de septiembre, que corresponde a la temporada de lluvias; de octubre a marzo, la denominada época de nortes y de abril a mayo, la estación de secas (De la Lanza y Ramírez-García, 1993).

Muestreo

Para la evaluación de la población de camarón blanco y la comparación del uso de la red siete barbera y red voladora, se realizaron muestreos mensuales en la zona de distribución del camarón siete barbas en la franja marina hasta las cinco brazas de profundidad frente a Isla de Carmen y hasta el punto denominado los Mechones, para lo anterior se seleccionaron seis estaciones donde antiguamente se realizaban arrastres de muestreo por el CRIP Carmen (Figura 1). Los valores se compararon con los encontrados en los mismos meses en los dos diferentes periodos (durante la época de veda). En cada estación, se realizó un arrastre con una red de arrastre siete barbera y una red de monofilamento "voladora" y a bordo de embarcaciones menores de la pesca ribereña de la región (Cuadro 1).

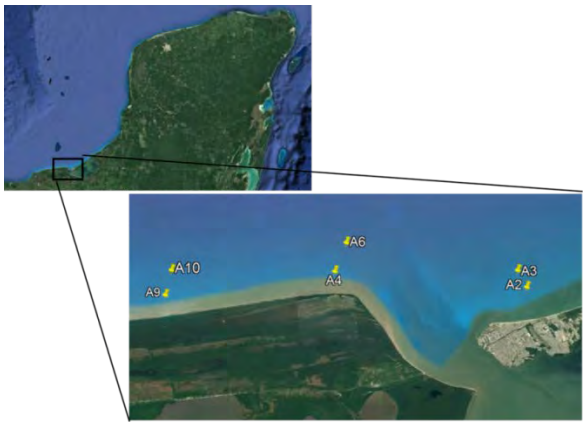


Figura 1. Área de estudio.

Cuadro 1. Características de las diferentes redes utilizadas en los muestreos.

Tipo de red	Características
Red siete barbera	Material: paño de hilo poliamida o polietileno multifilamento Tipo de malla: forma "diamante" Tamaño de malla: 2.54 cm (1 pulgada) Tamaño de relinga superior: 12.7 m
Red voladora	Material: paño de hilo monofilamento Tipo de malla: forma diamante Tamaño de malla: 2.54 cm (1 pulgada) Tamaño de relinga superior: 14.2 m

En cada lance se registró la latitud y la longitud inicial y final mediante GPS electrónico portátil; la hora de inicio y fin del arrastre y el peso de la captura total de camarón siete barbas y camarón blanco. Se tomó toda la captura para medir la longitud total (LT) en milímetros de cada ejemplar y determinó su sexo y el grado de desarrollo (madurez) de las hembras.

Análisis

Las estimaciones de abundancia relativa por estación se realizaron por medio de la captura total de cada especie entre el área cubierta en cada punto de muestreo, la cual se realizó por el método de área barrida (Sparre y Venema, 1997).

Para conocer si existían diferencias entre las abundancias y tallas se realizaron las correspondientes pruebas de Wilcoxon y para comparar la composición de la CI obtenida por cada red, se utilizó una tabla de contingencia. En ambos casos, se utilizó para el análisis el sistema R Commander en R.

Resultados

Indicadores biológico-pesqueros en el uso de la red siete barbera y red voladora

Abundancia

En la Figura 2 se muestran los resultados de abundancias obtenidas con la red siete barbera, en ella se muestra que la abundancia de captura incidental se mantuvo entre los 600 y 1000 kg/Km2, con valor máximo en agosto. Para el caso de la abundancia de camarón siete barbas los mayores valores se encontraron en julio, agosto y noviembre con valores de aproximadamente 50 kg/km2. Por último, los resultados de camarón blanco indican que su rendimiento tiene una tendencia creciente de julio a noviembre (15 a casi 40 kg/km2) y para diciembre se observa una disminución de aproximadamente 10 kg/km2.

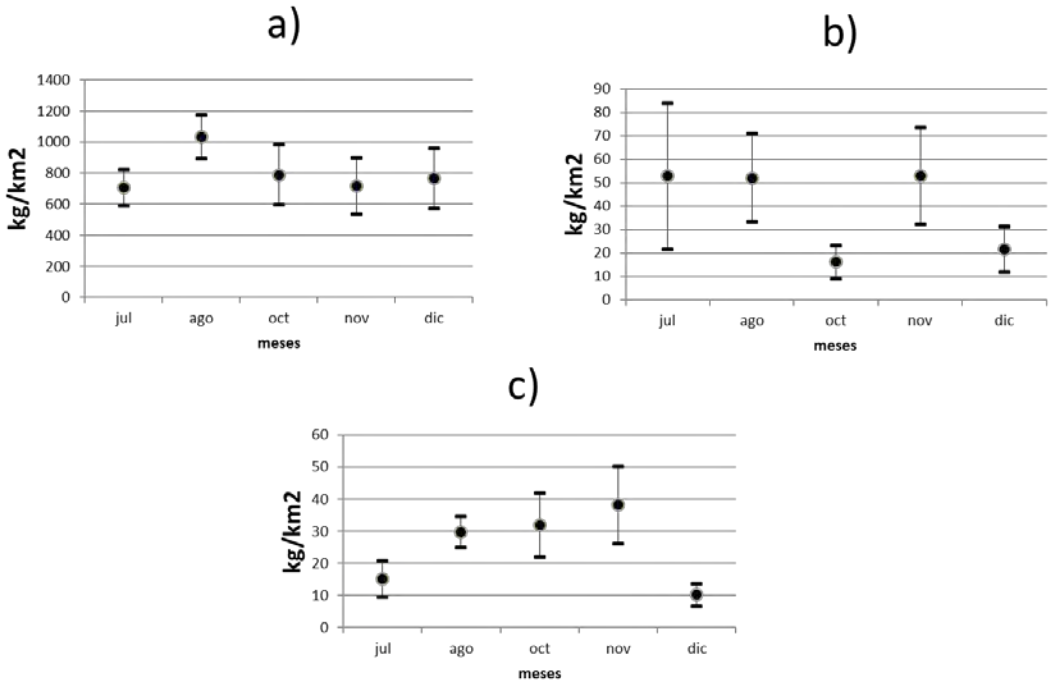


Figura 2. Comparativo de abundancia estimados con la red siete barbera a) Captura incidental, b) camarón siete barbas *X. kroyeri* y c) camarón blanco *P. setiferus* de julio a diciembre del 2017.

En cuanto a los resultados obtenidos con la red voladora, las abundancias de captura incidental estimadas se encontraron generalmente entre 800 y 1000 kg/km2, con un valor mínimo en noviembre de 560 kg/km2 y valor máximo de alrededor de 1040 kg/km2. En el caso de los valores del camarón siete barbas, la mayoría de los valores son menores a 16 kg/km2, con excepción de noviembre cuando el máximo valor se encuentra en aproximadamente 31 kg/km2. El camarón blanco presento durante todo el periodo valores promedios alrededor de los 40 kg/km2 y un valor máximo en agosto con 89 kg/km2 (Figura 3).

Al comparar los resultados promedios de captura incidental, camarón siete barbas y camarón rosado, obtenidos con las redes de pesca utilizadas, se puede apreciar que, para el caso de la captura incidental, aunque el valor promedio es mayor en la red voladora, estadísticamente no existieron diferencias ($P<0.05$). Los valores de camarón siete barbas fueron mayores con la red siete barbera ($P<0.05$) y, por último, la abundancia obtenida para el camarón blanco fue mayor para la red voladora ($P<0.05$) (Figura 4 y Cuadro 2).

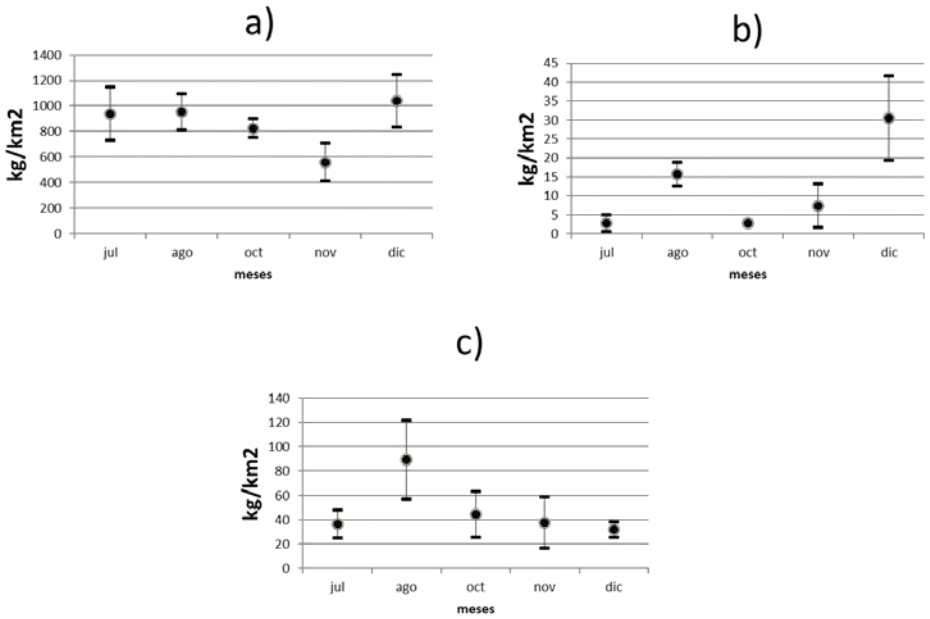


Figura 3. Comparativo de abundancia estimados con la red voladora a) Captura incidental, b) camarón siete barbas *X. kroyeri* y c) camarón blanco *P. setiferus* de julio a diciembre del 2017.

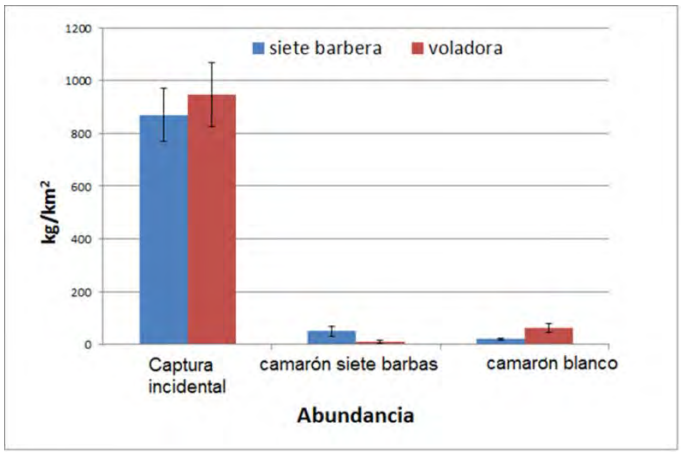


Figura 4. Comparativo de abundancia promedios estimados con la red voladora y red siete barbera de la captura incidental, camarón siete barbas *X. kroyeri* y camarón blanco *P. setiferus* de julio a diciembre del 2017.

Cuadro 2. Tabla de resultados de las pruebas estadísticas para determinar diferencias.

	Siete barbera	Voladora	Valor P
	Kg/kg	Kg/km	
Captura incidental	869	946	0.6
Camarón siete barbas	52.4	9.27	0.03*
Camarón blanco	22.4	62.9	0.04/

*significativo.

Tallas

Las tallas del camarón blanco capturados con la red voladora y red siete barbera presenta un rango de tallas similar, de 85 a 190 cm de longitud total (LT). Aunque la red voladora presenta el mayor porcentaje de tallas mayores de 155 cm de LT, la red siete barbera presenta un mayor porcentaje en tallas menor a 140 cm LT. La red voladora presenta sus principales modas en 155, 160 y 175 cm de longitud total (LT) a comparación de las modas de la red siete barbera que fueron en 115 y 155 cm de LT (Figura 5).

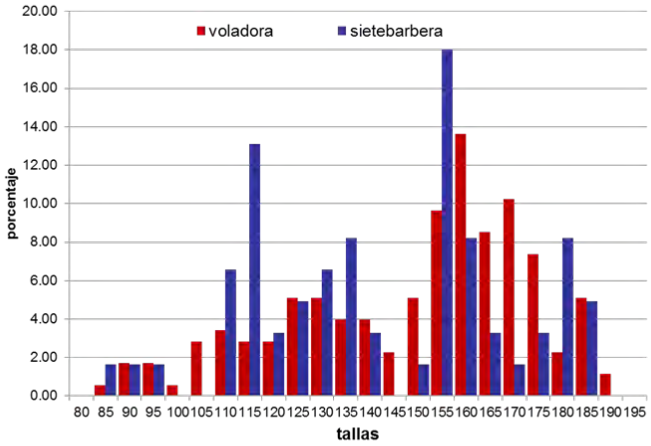


Figura 5. Comparativo de frecuencia de tallas de camarón blanco capturado con ambas redes.

El promedio de la talla de los camarones blancos capturados con la red voladora fue estadísticamente mayor que la obtenida con la red siete barbera. Para el caso de las tallas del camarón siete barbas, obtenidas por ambas redes, el rango de tallas encontradas para la red siete barbera (45 – 105 cm LT) fue más amplia que la obtenida para la red voladora (60 – 100 cm LT) (Figura 6). Aunque las modas fueron iguales para ambas redes (75 cm LT), se observa que los porcentajes de tallas de los organismos capturados por la red voladora, está más sesgadas hacia las tallas mayores. La talla promedio del camarón siete barbas fue mayor en la red voladora ($P<0.05$) (Cuadro 3).

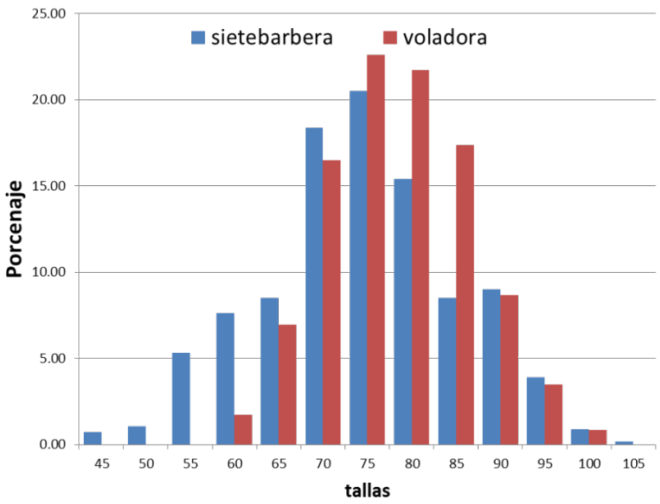


Figura 6. Comparativo de frecuencia de tallas de camarón siete barbas capturado con ambas redes.

Cuadro 3. Tabla de resultados de la prueba estadística para determinar diferencias entre la talla promedio del camarón blanco y camarón siete barbas capturadas con ambas redes.

Especie	Tipo de red		Valor P
	Siete barbas LT (cm)	Voladora LT (cm)	
Camarón siete barbas	72	76	0.0000602*
Camarón blanco	140.5	148.2	0.0493*

*significativo.

Estimación del estado de la población del camarón P. setiferus en la zona de Campeche

La comparación de la abundancia expresada en organismos por km2 se muestra en la Figura 7. Solo se compararon tres meses, que fueron julio, agosto y septiembre, ya que en noviembre y diciembre no existe información histórica.

Los resultados obtenidos en este año se compararon con los obtenidos en el periodo de 1998 al 2004. La información muestra que el valor de densidad obtenida en este año, es muy similar a la obtenida en el periodo antes mencionado. Para el caso de julio y septiembre la información obtenida en el 2017 es similar al valor promedio del periodo 1998 al 2004. Solo en el mes de agosto, el valor obtenido en el 2017 es el segundo valor más alto del periodo analizado. La comparación estadística de los resultados da como resultado que los valores obtenidos en el 2017, no son diferentes ($P<0.05$) a los obtenidos en el periodo de 1998 al 2004.

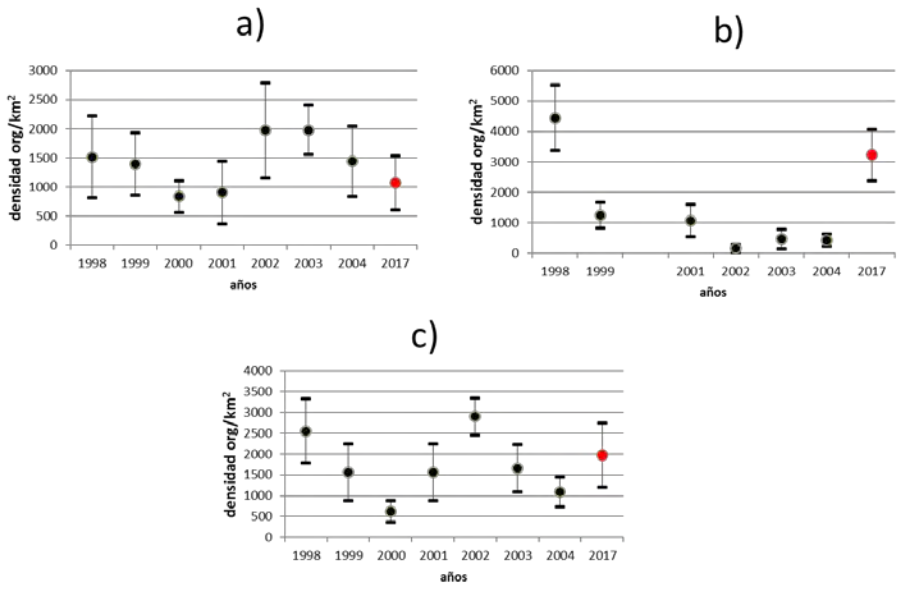


Figura 7. Comparativo de densidad de camarón blanco *P. setiferus* de 1998 al 2004 y 2017. a) julio, b) agosto, c) septiembre.

Discusión

El resultado de la abundancia estimada para la captura incidental, con ambos tipos de redes, presenta un aumento en sus valores al final de la temporada de lluvias (agosto) y un decaimiento hacia la temporada de nortes, a excepción de lo encontrado con la red voladora, donde se presenta un aumento en la abundancia en diciembre. Alvarez-Guillen *et al*. (1985) y Ayala Pérez *et al*. (2012) encontraron esta misma tendencia para una zona que va desde Frontera Tabasco a Isla del Carmen, Campeche. Este aumento podría deberse al aumento de la productividad provocada por la entrada de agua dulce.

Los valores altos de abundancia de camarón siete barba obtenidos con la red siete barbera durante julio, agosto y noviembre, con alrededor de 50 kg/km2, son muy semejantes a lo reportado por Wakida-Kusunoki *et al*. (2017), donde se menciona que los valores más altos en abundancia de camarón siete barbas para la zona de Ciudad del Carmen, se presentan en julio, agosto y octubre. Estos autores mencionan que estos valores son el resultado de la reproducción y reclutamiento de esta especie en la zona. La situación anterior no se presentó con lo obtenido con la red voladora. Para el caso del comportamiento de la abundancia del camarón blanco obtenidos con la red siete barbera, los mayores valores se observaron en

octubre y noviembre, aunque sus valores fueron menores comparados con los obtenidos en los mismos meses con la red voladora, con la cual se obtuvo el máximo valor en agosto y ha sido reportado para la zona ribereña por Wakida-Kusunoki *et al*. (2017).

Los resultados obtenidos con los dos tipos de redes utilizadas indican que la abundancia estimada de la captura incidental total no fue diferente entre ellas (P<.05), aunque la composición de especies si lo fue. Para el caso de las abundancias obtenidas para el camarón siete barbas y camarón blanco, este si fueron diferentes entre las redes utilizadas. Se observó que el uso de la red voladora tiene un mayor rendimiento de camarón blanco y menor para la captura de camarón siete barba. Esta condición posiblemente es resultado del material de construcción y la forma de operar de cada una de las redes. Por ejemplo, la red voladora está hecha con un material más ligero, lo cual tiene como resultado que la red tenga una mayor altura en la boca de la red. Se conoce que el camarón blanco, al sentir la presencia de la red, tiende a hacer un movimiento rápido hacia a arriba o los lados, lo que muchas veces posiblemente tenga como resultado un escape en redes cuya relinga superior no tenga mucha altura, como es el caso de la red siete barbera (Sarmiento-Nefate S. com. Pers).

Las especies con mayor abundancia encontradas en la zona con ambas redes son muy similares a las reportadas por Álvarez Guillen *et al*. (1985). Este autor menciona que once especies son consideradas dominantes en estas comunidades por número (81%), peso (73%) y frecuencia, de éstas, *Arius felis*, *Eucinostomus gula*, *Cynoscion arenarius*, *Stellifer colonensis*, *Citharichthys spilopterus* y *Sphoeroides testudineus* son residentes permanentes en la boca y *Anchoa mitchilli*, *Cetengraulis edentulus*, *Arius melanopus*, *Bairdiella chrysoura* y *Chaetodipterus faber* son visitantes cíclicos o estacionales.

Las composiciones de especies capturadas por ambas redes son muy semejantes entre ellas, pero en su composición son diferentes. Para el caso de la red siete barbera, la principal especie es la jaiba *C. similis*, y para la voladora la sardina cola amarilla. Esta última especie se considera pelágica y se alimenta de plancton (Munroe *et al*., 2015), esto resultado refuerza que la red voladora trabaja en una mayor amplitud y velocidad que la red siete barbera, lo cual le permite no solo capturar organismos más bentónicos, sino también los presentes en la columna de agua.

Las tallas de los camarones, tanto del camarón blanco como las del camarón siete barbas, son mayores si fueron capturadas con la red voladora. Este resultado es consecuencia de lo antes

discutido, la red voladora presenta mayor altura en su boca, lo cual la hace más eficiente. Además, es arrastrada con mayor velocidad, capturando a los organismos con mayor talla que con la red siete barbera.

Las densidades mensuales encontradas para el camarón blanco durante el periodo del proyecto muestran que las densidades encontradas se encuentran dentro del rango del periodo 1998 al 2004. Este resultado muestra que la población de camarón se encuentra en los mismos niveles de ese periodo y que no se refleja una recuperación de la población, esta situación podría ser el resultado de la falta de gobernanza al aplicar las medidas de manejo que en esta región no se han cumplido desde el periodo que se realizaron las campañas de muestreo. Núñez-Márquez (2014), mediante conteos visuales, estima que existe un esfuerzo pesquero aplicado durante el periodo de veda con un máximo en julio-agosto y adjudica este máximo a la captura dirigida al camarón blanco (*P. setiferus*) con redes de enmalle tanto en costa como en laguna.

Conclusiones

1. Existe diferencias entre las abundancias de camarón blanco y camarón siete barbas, estimadas con cada red. En el caso de la CI no existió diferencia en las abundancias estimadas. Por lo tanto, se comprueba que la red voladora captura más camarón blanco que la red siete barbera. 2. Las tallas de las especies de camarones capturadas con la red voladora fueron mayores a las obtenidas por la red siete barbera. 3. Las densidades de camarón blanco P. setiferus en la zona obtenidas en el 2017 no son diferentes a las obtenidas en el periodo 1998 – 2004.

Agradecimientos

Se agradece a Obed de la Cruz Neri por el apoyo en la toma de muestra, a Enrique Amador del Angel Amador (QDP) por el apoyo en el análisis de las muestras.

Literatura Citada

Álvarez-Guillen, H., A. Yáñez-Arancibia y L. Lara R**.** 1985. Ecología de la boca de Carmen, Laguna de Términos. El hábitat y estructura de las comunidades de peces. Anales del Instituto de Limnología y Ciencias del Mar, UNAM 12(1):107-144.

Ayala-Pérez, A. L., G. J. Terán-González, D. Flores-Hernández, J. R. Ramos-Miranda and A. Sosa-López. 2012. Spatial and temporal variability of fish community abundance and diversity off the coast of Campeche, Mexico. Latin American Journal of Aquatic Research 40(1):63-78.

De la Lanza, G. y P. Ramírez-García**.** 1993. La vegetación de manglar en la Laguna de Términos, Campeche, evaluación preliminar a través de imágenes Landsat. Hidrobiológica 3(1,2):29-39.

Munroe, T., K. A. Aiken, J. Brown and L. Grijalba B. 2015. *Cetengraulis edentulus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T190383A16510482. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T190383A16510482.en. Downloaded on 29 January 2018.

Núñez-Márquez, G. 2014. Determinación del esfuerzo de pesca de la flota camaronera ribereña en Ciudad del Carmen, Campeche, mediante conteos visuales. Ciencia Pesquera 22(2):3-17.

Núñez M., G. y A. T. Wakida-Kusunoki. 1997. Pesca de fomento de camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri* en Campeche y Tabasco 1994-1997. Informe técnico (inédito). Instituto Nacional de la Pesca, CRIP de Ciudad del Carmen. Campeche, México. 42 p.

Sparre, P. and S. C. Venema. 1997. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 2. Ejercicios. FAO Fisheries Technical Paper. No. 306.2, Rev. 2. Rome.

Wakida-Kusunoki, A. T., A. González-Cruz, B. Álvarez-López, G. Núñez-Márquez, D. Santana-Moreno, R. I. Rojas-González y A. George-Zamora. 2017. Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el golfo de México y mar caribe. Documento interno. Institutito Nacional de Pesca.

Wakida-Kusunoki, A. T. y G. Núñez-Márquez. 2006. Propuesta de Plan de Manejo para la Pesquería de Camarón Siete Barbas *Xiphopenaeus kroyeri* de Campeche y Tabasco. Documento interno. Institutito Nacional de Pesca.

Yáñez-Arancibia, A., P. Sánchez y A. L. Lara D. 1991. Interacciones ecológicas estuario-mar: estructura funcional de bocas estuarinas y su efecto en la productividad del ecosistema. II Simposio sobre Ecosistemas da Coasta Sul Brasilerira: Estrutura, Funcao e Manejo. Publ. ACIESP 71(4):49-83.

PARÁMETROS, ÍNDICES E INDICADORES PESQUEROS PARA *Callinectes sapidus* RATHBUN, EN EL SUR DE CAMPECHE

Ana Gabriela Díaz Álvarez[1*] y Vequi Caballero Chavez[275]

Resumen

Se han evidenciado fluctuaciones en las tendencias históricas de las capturas por estado a lo largo de las costas del Golfo de México, donde ocurre principalmente la jaiba azul *Callinectes sapidus*. En Campeche se han presentado tendencias que sugieren que los procesos pesqueros están incidiendo en los stocks reproductivos directamente, con riesgo de sobrepesca. Por lo que se trazó una investigación para obtener parámetros, índices e indicadores pesqueros que permitan conocer la situación de la pesquería a través de los análisis tanto biológicos como pesqueros. Los resultados del análisis de la información generada de 2018 y 2021 indicaron que la pesquería de jaiba se encuentra en riesgo de sobreexplotación, las capturas en han estado disminuyendo desde 2019, las tallas encontradas en el último año son inferiores a la promedio de años anteriores, estas fueron de 11 a 168 mm de AC y el promedio estuvo entre 97 y 111 mm de AC, en 2018 el 50% se encontró en 134 mm de AC, la temporada de desove va abril a junio y de octubre a diciembre, que fue cuando se observaron los rendimientos más altos, estos incidieron directamente sobre el stock reproductor muy probablemente. Los rendimientos disminuyeron de 0.0403 kg/hora/arte en 2018 a 0.0244 kg/hora/arte en 2021. La cuasi-renta fue de 1060.0 en 2018 a 256.16 en 2021. La mortalidad total fue de Z= 2.42, con una desviación estándar de 0.0716 y para la sobrevivencia S= 0.089 con desviación estándar de 0.0069. La mortalidad natural fue de 0.893, la mortalidad por pesca fue de 1.53 y la tasa de explotación de 0.63. La tendencia de las capturas aparentemente fue positiva, pero en realidad lo que representó fue una explotación excesiva del recurso, ya que se está capturando por arriba del RMS permisible, que se calculó en 3361.56 t.

[1] Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura. Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera de Ciudad del Carmen. *ana.diaz@inapesca.gob.mx

Palabras clave: jaiba, pesquería, crecimiento

Introducción

La pesquería de jaiba, a nivel nacional, ocupa el noveno lugar en producción pesquera y en valor económico el sexto lugar, reportándose un máximo histórico de 50,272 t (peso vivo) en el 2018. La tasa media de crecimiento anual de la producción, en los últimos 10 años, es de 10.42% (CONAPESCA, 2018); siendo una de las pesquerías más importantes en la región, en el Golfo de México la zona de captura abarca los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán. Las especies objetivo de la pesquería son la jaiba azul (*Callinectes sapidus*) que conforma principalmente las capturas en la zona sur de Campeche (Laguna de términos) y la jaiba prieta (*C. rathbunae*) que se encuentra en zonas menos saladas. En Campeche, las grandes producciones de jaiba llevaron a esta pesquería a ser la segunda en importancia por su volumen y valor de producción. De acuerdo con registros oficiales antes del año 2000 se tuvo una captura media de 2,500 t/año, posterior a ese año las capturas disminuyeron a 1,043 t, las capturas de 2015 a 2019 estuvieron en un promedio de 6,056 t/año, pero en 2020 bajaron hasta las 2630 t.

De acuerdo a la historia de la pesquería en los años 80´s al instalarse nueve plantas procesadoras de jaiba en Campeche se aumentó considerablemente las capturas favoreciendo la explotación desordenada y desmedida del recurso (CONAPESCA 1980), dando como resultado una tendencia al agotamiento de este (la producción ha disminuido casi la mitad del promedio). La única medida de manejo hasta hoy en día es un ACUERDO realizado en 1974 respecto a la talla mínima de captura (110 mm ancho de caparazón). El INAPESCA, en la ficha de jaiba en la Carta Nacional Pesquera vigente, menciona que el recurso se encuentra al máximo rendimiento sustentable. Las evaluaciones realizadas sobre este recurso consideran que una de las necesidades más apremiantes era la definición de estrategias de manejo pesquero. En este sentido, el INAPESCA a partir de 2012 inicia elaboración de los Planes de Manejo Pesquero (PMP) para los principales recursos de interés comercial, pero la falta de información respecto al estado actual de las pesquerías de jaiba de Campeche y Tabasco dificulto su integración al PMP que se elaboró para los estados de

Tamaulipas y Veracruz en 2014. Por lo que en el CRIAP Ciudad del Carmen, a partir del 2015, inició trabajos, por Programas Regionales, buscó actualizar el conocimiento respecto al estado de la pesquería de jaiba y con ello, en esta propuesta se pretende que los parámetros e indicadores de manejo generados en estos años y considerando aspectos a nivel local y regional, así como que hasta 2019, la captura de jaiba se había incrementado considerablemente llegando a ser el primer productor a nivel Golfo de México y que estas cayeron a más del 50% en 2020, sean considerados para un posible manejo de la pesquería.

Materiales y Métodos

Con base en los avisos de arribo (información de los permisionarios, zona de pesca, sitio de desembarque y volúmenes de captura) que proporciona la CONAPESCA, se realizó un análisis de los sitios de desembarque con mayor índice de capturas en Campeche. Se eligió a Isla Aguada y Sabancuy para realizar los muestreos y la temporalidad anual. Se realizaron muestreos de cinco días cada mes en los principales sitios de desembarque en el sur de Campeche en 2018 y 2021. Los lugares con mayores reportes de capturas de jaiba fueron: Isla Aguada, que representa el 79.3% de la captura registrada (siete cooperativas) y Sabancuy con el 19.1% (cinco cooperativas). La zona donde se captura principalmente el recurso “jaiba” es en el interior de la Laguna de Términos, Campeche (Figura 1).

Durante cada muestreo la información biológica, pesquera, tecnológica y socioeconómica de la pesquería de jaiba fue recopilada a partir de los desembarques de la flota de pesca artesanal que se llevan a cabo en las localidades antes mencionadas. Para el seguimiento de los objetivos, se realizaron entrevistas a los patrones de pesca de cada embarcación, con la finalidad de obtener información de su operación de pesca, tales como la zona de pesca (rumbo, distancia, lugar de pesca), el esfuerzo pesquero aplicado (días de pesca, número de artes de pesca, número de pescadores, etc.), de su captura (peso y precio por especie desembarcada) y gastos de la pesca (combustible, alimentación, hielo, carnada, etc.); además, de cada embarcación monitoreada se tomó una muestra de la captura de organismos por especie.

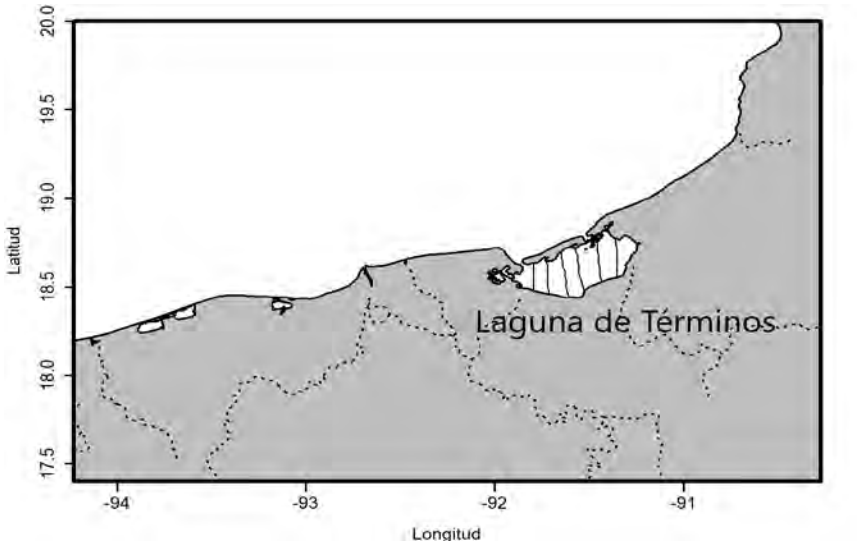


Figura 1. Sitio de muestreo de la Laguna de Términos, Campeche (zona con tramas).

El monitoreo biológico-pesquero de las capturas consistió en el registro de las características morfométricas de cada jaiba de acuerdo con las siguientes consideraciones: se registró el ancho de caparazón (AC, cm), longitud total (LT, cm) y el peso total (PT, g) de cada jaiba. El sexo fue determinado visualmente de cada ejemplar, para las hembras se estableció según la forma del abdomen en forma de triángulo para las inmaduras, redondo o madura y para machos forma de “T”.

Para identificar la especie se observaron sus características morfológicas. La jaiba azul se caracteriza por tener dos dientes de tipo triangular entre la zona orbital, el caparazón es de color crema. Su nombre lo recibe debido a que los machos tienen las tenazas de color azul claro, aunque en las hembras maduras sus tenazas son de color rojo carmín (Palacios, 2002). Con los datos obtenidos, se hizo un análisis de la estructura de tallas (AC, mm) a lo largo del tiempo según Correa-Sandoval *et al.* (1997). Se realizaron diversas estimaciones del número óptimo de clases y de la amplitud óptima de los intervalos para agrupar la frecuencia de tallas. Con el fin de apreciar mejor las tallas modales, fue necesario incluir más clases de talla de las obtenidas por el método de Sturges e, incluso, intervalos más estrechos. Al conocer las clases de talla, se construyeron tablas de distribución de frecuencias con el fin de identificar la estructura poblacional del recurso.

Con el método de Bhattacharya se separaron los componentes normales correspondientes a clases de edad de cada distribución mensual. Los cálculos se realizaron utilizando el programa

FISAT II (FAO ICLARM Stock Assessment Tools; Gayalino *et al*., 1995). Una vez obtenidas las modas, se hizo el seguimiento de las tallas modales para determinar el crecimiento de las cohortes a través del tiempo. El método que se utilizó fue el Análisis de Progresión Modal (APM) según Pauly (1983). Se estimó la talla de primera madurez con los datos de hembras maduras agrupándolos en intervalos de clase, se calculó la frecuencia porcentual acumulada en cada clase y se consideró como talla de primera madurez al intervalo de clase donde el 50% fueron maduras.

Con la información obtenida en las entrevistas se calculó el rendimiento de pesca, se obtuvo de la cantidad de animales que el pescador extrae por cada unidad de esfuerzo (kg/hora/arte), se calculó CPUE (Captura por Unidad de esfuerzo) y cuasi-renta. Por otra parte, se calculó la tasa de mortalidad total Z y la sobrevivencia S por medio del método de Chapman y Ropson, se obtuvo la mortalidad natural M con el paquete computarizado FiSAT II, la mortalidad por pesca F se obtuvo mediante la diferencia entre Z y M (F= Z-M) y tasa de explotación mediante la relación entre Z y F (E= Z/F)

Se analizaron las estadísticas de captura por mes registradas en avisos de arribo durante el período 2013-2020 para conocer la temporalidad. Otra de la información que se obtuvo fue la tendencia de las capturas, graficando los años de captura y trazando una línea de tendencia lineal. Se calculó el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) por medio del método de Captura–MRS propuesto por Martell y Froese (2012), éste consiste en el uso de un conjunto de combinaciones de r (tasa intrínseca de aumento de la población) y k (capacidad de carga) viables. Las estimaciones anuales de biomasa se realizaron con el modelo de producción excedente de Schaefer. Los pares de r-k se evaluaron con una distribución de Bernoulli. Se calculó la media geométrica de r, k, MRS, BRMS, FMRS, y Biomasa (Bt) de cada año de todas las series de tiempo, con un intervalo de confianza al 95%.

Resultados y Discusión

Para determinar los tipos de artes de pesca (aros o trampas) que más se usan, se analizaron las entrevistas hechas en campo, lo que arrojó los resultados que son relativos debido a que la muestra es pequeña y sesgada; aun así, se hizo el análisis y arrojó información que dice

que en la localidad de Isla Aguada el 96% de los pescadores usan embarcaciones con motor y el 100% utiliza trampas; mientras que en la localidad Sabancuy el 94% trabaja con cayucos a la palanca y con trampas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de los pescadores de acuerdo al tipo de unidad de pesca que utiliza.

Nombre de la localidad	Lancha con motor y trampas	Cayuco a la palanca y trampas	Tipo de motor		HP del motor		Marca de motor		
			4 tiempos	2 tiempos	60	20	Suzuki	Honda	Yamaha
Isla Aguada	23	1	17	4	4	19	4	17	1
Sabancuy	1	16	1			1		1	

Se analizaron 1827 de organismos capturados en Campeche, mismos que correspondían a jaiba azul. El análisis de las tallas capturas por los pescadores, determinó que la talla máxima capturada fue de 179 mm, mientras que la talla mínima registrada fue de 11.3 mm; la talla promedio observada fue de 114.74 mm. La distribución de clases y frecuencias determino que se deben manejar 12 intervalos, con una amplitud de 14 mm. Las tallas más representadas para *C. sapidus* en Campeche, se encontró entre los intervalos de 97 mm a 125 mm de AC, esto representó el 84.8% de los organismos registrados. El intervalo que presento mayor porcentaje de frecuencia fue el intervalo de 111 mm a 125 mm con un 40.3% de frecuencia de aparición, los intervalos 97 mm a 111mm y de 125mm a 139mm presentaron porcentajes de frecuencia del 27.0% y 17.5% respectivamente. Los intervalos de tallas menores y mayores presentaron porcentajes de frecuenta mucho menores, en la mayoría de los casos, sus porcentajes de frecuencia son <1%. Jaiba Azul tal como se reporta en estudios anteriores, representando casi la totalidad de los organismos registrados, con respecto a la talla promedio registrada para los organismos (92 mm), esta se ubica por debajo de la talla mínima promedio de captura para este recurso (110 mm), lo cual puede indicar que la mayoría de los organismos capturados de este recurso ya se encuentran por debajo de la talla mínima recomendada, este indicador, se ve apoyado por el hecho de que el 74.5% de los organismos capturados se encuentran dentro de los intervalos de talla que van de los 82 mm a los 111 mm, además este intervalo de tallas es inferior al reportado por el INAPESCA en 2017, donde el 84% de los organismos registrados se encontraron dentro del rango de tallas de 113 mm a 146 mm, lo

cual en su conjunto indica que las tallas de los organismos capturados como resultado de la explotación del recursos está disminuyendo de forma significativa (Cuadro 2). Velásquez *et al*. 2012 mencionan que, en Laguna Madre en Tamaulipas, México las tallas van de 55 a 200 mm y Rodríguez *et al*. 2016 encontraron tallas entre 60 y 207 mm de AC en varias zonas de pesca en Tamaulipas.

Cuadro 2. Distribución de clases y frecuencias de la Jaiba azul (*C. sapidus*) en el estado de Campeche, determinado a partir de los organismos registrados.

Intervalo		Marca de clase	fi	Fi	hi	f%
11	25	18	2	2	0.0011	0.1
25	40	32	0	2	0.0000	0.0
40	54	47	1	3	0.0005	0.1
54	68	61	0	3	0.0000	0.0
68	82	75	7	10	0.0038	0.4
85	97	90	131	141	0.0717	7.2
97	111	104	494	635	0.2704	27.0
111	125	118	736	1371	0.4028	40.3
125	139	132	320	1691	0.1752	17.5
139	154	147	101	1792	0.0553	5.5
154	168	161	31	1823	0.0170	1.7
168	182	175	4	1827	0.0022	0.2
			Suma	1827	1.0000	100.0

Con el método de Bhattacharya, se separaron los componentes normales correspondientes a clases de edad de cada distribución mensual, utilizando la distribución de frecuencia de cuatro mm AC, para hacer los cálculos utilizando el programa FISAT II (FAO ICLARM Stock Assessment Tools; Gayalino *et al*., 1995). Una vez obtenidas las modas, se hizo el seguimiento de las tallas modales para determinar el crecimiento de las cohortes a través del tiempo. El método que se utilizó fue el Análisis de Progresión Modal (APM) según Pauly (1983). Se observó un crecimiento rápido en jaiba *k*= 0.78 y dos desoves en el año, uno de abril a junio y otro de octubre a diciembre (Figura 2). Rodríguez *et al*., 2016 también encontraron este mismo crecimiento en *C. sapidus k*= 749 en Tamaulipas, México.

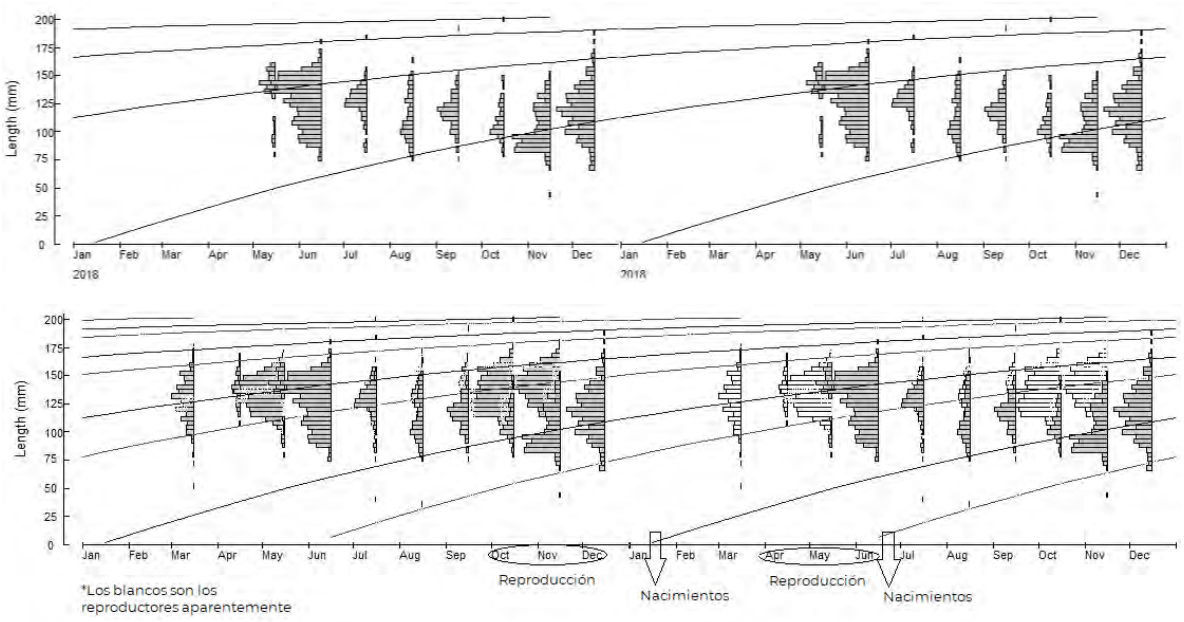


Figura 2. Crecimiento de jaiba azul *C. sapidus* en el sur de Campeche 2018.

Entre la información analizada se encontró que el 50% de las hembras maduras estaba entre los 136 y 138 mm AC, la talla mínima madura fue 70 mm, la máxima 185 mm y el promedio 134 mm AC (Figura 3). Mientras que en Tamaulipas mencionado por Velásquez *et al*. 2012, la jaiba azul alcanza su madurez cuando tienen en promedio una talla de 180 mm AC.

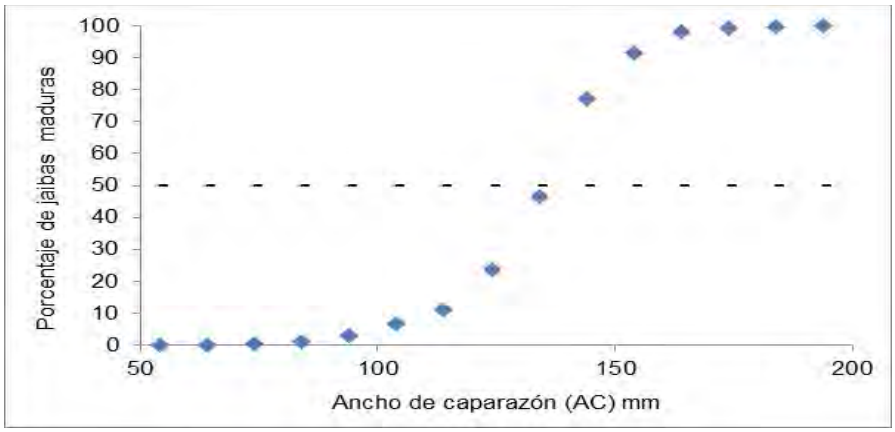


Figura 3. Madurez de hembras de C. sapidus sur de Campeche, 2018.

Los rendimientos más altos en 2018 fueron en marzo y abril (0.0638 y 0.060 kg/trampa/hora), noviembre (0.0474 kg/trampa/hora) y agosto fue similar (0.0436 kg/trampa/hora), el promedio

en los rendimientos fue de (0.0403 kg/trampa/hora), el promedio en los rendimientos por pescador fue de (0.39 kg/trampa/pescador) (Figura 4). Para 2021 el rendimiento de pesca mínimo fue de 0.004, el máximo por hora por arte de pesca fue de 0.075 y el promedio de 0.0244. No existen trabajos recientes sobre evaluación de la pesquería en la zona, por lo que esta parte no se discutirá (Cuadro 3).

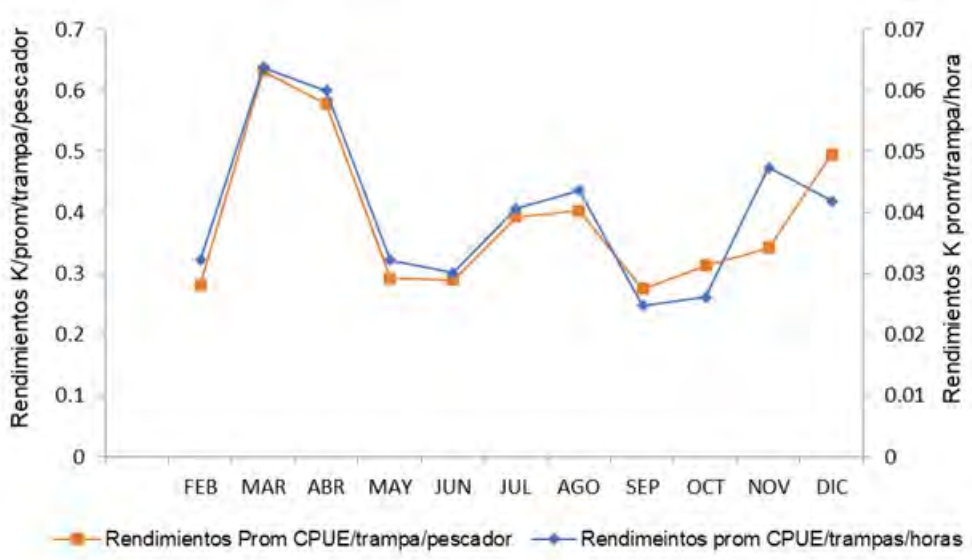


Figura 4. Rendimiento mensual promedio en la pesquería de jaiba en Isla Aguda Campeche.

Cuadro 3. Rendimientos y captura por trampa de jaiba azul (*C. sapidus*) en Campeche 2021.

Concepto	Máximo	Mínimo	Promedio
Captura por unidad de esfuerzo (kg)	83.000	0.000	26.4400
Rendimiento (kg/hora/arte)	0.075	0.004	0.0244
Captura por trampa (kg)	0.450	0.000	0.1500
Precio por kilo ($)	40.000	23.000	30.7500
Valor de la captura ($)	1620.000	0.000	692.8300
Gastos ($)	900.000	80.000	395.2400
Cuasirenta ($)	1156.000	444.000	256.1600
Luz de malla (plg)	3.000	2.000	2.5000
Promedio de trampas (núm.)	260.000	80.000	161.0000

En promedio en 2018, un pescador ganó 1060.4 pesos por viaje, los meses con mayor valor en la captura observados fueron marzo, abril, mayo, agosto y noviembre. En febrero y octubre fue menor el valor, los gastos de avituallamiento mayores fueron en noviembre y de julio a septiembre y las ganancias o cuasirenta fueron mayores en marzo, abril y mayo y las menores en septiembre, octubre y febrero. La ganancia total del viaje de pesca se dividió en dos partes: una para el patrón de la lancha y otra para la cooperativa o permisionario, de manera que en promedio en realidad la ganancia por viaje para un pescador es de 530.2 pesos Figura 5.

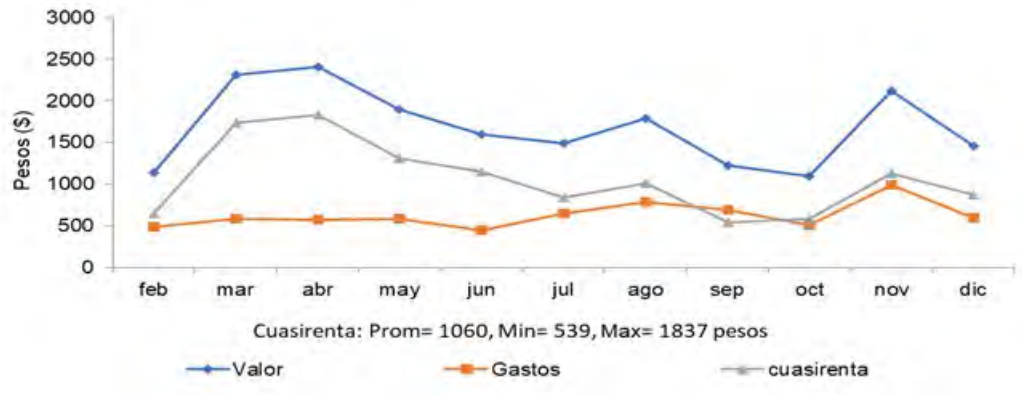


Figura 5. Cuasirenta en la captura de jaiba en Isla Aguda Campeche.

Con la información de las entrevistas en 2021, aunque fueron pocas (43), se pudo obtener la CPUE, el rendimiento, precio por kilo, valor de la captura, gastos y cuasirenta promedio, mínimo y máximo por embarcación; esta es una información relativa, pero si puede ser una referencia para hacer comparaciones con otros años o complementarse con ellos.

Con la información que se obtuvo se pudo obtener para *C. sapidus* en Campeche, la mortalidad total y la sobrevivencia por el método de Chapman y Ropson, estas resultaron para la mortalidad total Z= 2.42 con una desviación estándar de 0.0716 y para la sobrevivencia S= 0.089 con desviación estándar de 0.0069. La mortalidad natural fue de 0.893, la mortalidad por pesca fue de 1.53 y la tasa de explotación de 0.63.

En la zona de Isla Aguada se observó, durante los monitoreos, las mayores capturas y presentó la más alta producción del sur de Campeche. En 2018 la captura mensual fue constante de 201 t (enero) a 481.3 t (mayo), con un promedio aproximado de 352 t por mes durante el año (Figura 6).

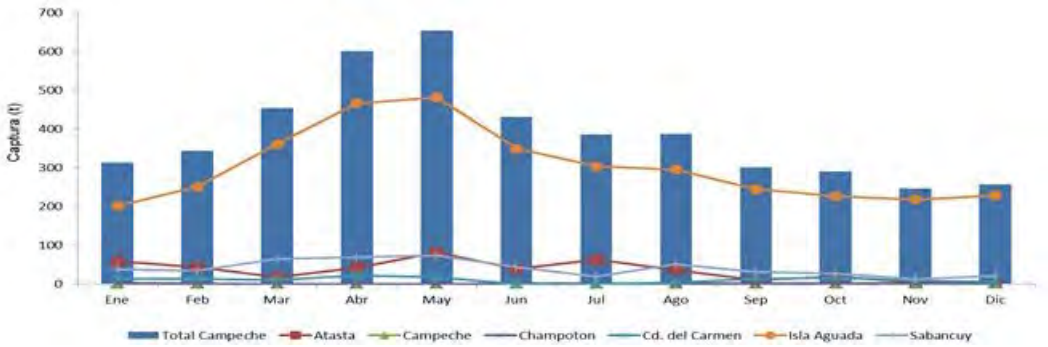


Figura 6. Temporada de captura de jaiba 2018, Isla Aguada respecto a la captura de las localidades y la total de Campeche (Registros avisos de arribo, CONAPESCA, 2018).

Para este punto también se obtuvo información estadística por año y se graficó la captura de jaiba para observar la tendencia, la cual aparentemente tuvo una tendencia positiva, aunque esto no se debe tomar como algo muy bueno, ya que en los últimos dos años se observó una reducción significativa del 2018 a 2019 de 2536 t el 35.2% y del 2018 al 2020 de 4567 t el 63.4%, aunque en el 2020 esto pudo haber sido resultado de la pandemia ya que muchos pescadores dejaron de trabajar debido al temor a los contagios y también porque los mercados se cerraron, sobre todo los foráneos y hubo una baja en las ventas Figura 7.



Figura 7. Tendencia de la captura de jaiba en Campeche.

No se realizó toda la metodología planteada para determinar la biomasa, ni se estimó el riesgo de colapso de la pesquería, pero si se hizo un análisis de la información estadística de 1980 a 2017 del recurso jaiba, por medio del programa “R”, con el cual se obtuvo el rendimiento máximo sostenible (RMS), la tasa intrínseca de incremento poblacional (r) y de la capacidad de carga (K). Los resultados fueron RMS = 3,361.56 t al 95% de confiabilidad, r= 0.99 año-1 (0.62-1.58 año-1), K= 15,035.86 (10, 603.25-18, 725.11 t) (Figura 8).

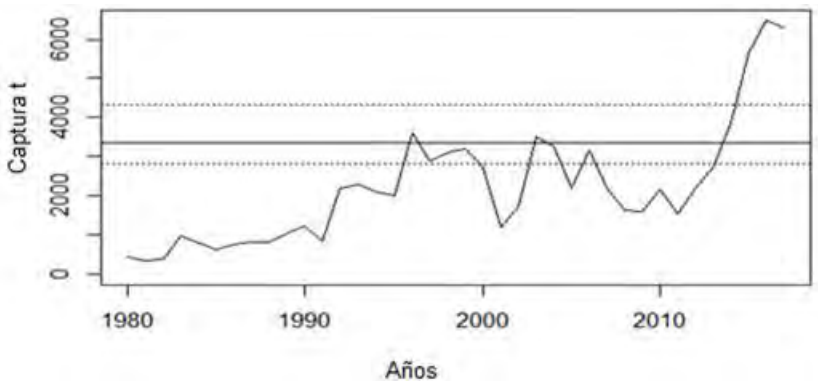


Figura 8. Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) para la pesquería de jaiba azul (*Callinectes sapidus*) del sur de Campeche.

Conclusiones

1. Es posible que la jaiba en Campeche se esté viendo afectada, por sobre explotación del recurso o por una mala gestión de su pesquería, en ambos casos es necesario darle seguimiento a estos estudios y complementarlos para poder dar un veredicto más preciso, sin embargo es evidente que la disminución del rango de tallas con mayor frecuencia de captura en comparación con años anteriores y el decremento en la frecuencia de aparición de organismos con pesos mayores son claros indicadores de que la pesquería de jaiba en el estado está llegando a niveles de explotación por encima del RMS permisible. 2. Es importante mejorar la información disponible para poder generar más conocimiento sobre esta pesquería que lleve al desarrollo y mejoramiento de los instrumentos de gestión de esta pesquería, como lo menciona la Carta Nacional de Pesca de 2018. 3. Es de suma importancia integrar a los pescadores, realizando reuniones informativas, talleres y de esta forma ir concientizando a los pescadores respecto a la importancia de la protección de las hembras ovígeras, y además informar sobre la importancia de no capturar organismos por debajo de talla mínima como medida precautoria.

Literatura Citada

CONAPESCA. 1980. Anuario Estadístico de Acuacultura y pesca. CONAPESCA, SAGARPA.

CONAPESCA. 2018. Anuario Estadístico de Acuacultura y pesca. CONAPESCA, SAGARPA. México http://conapesca.gob.mx/wb/cona/consulta_especifica_por_produccion

Correa-Sandoval, A., P. Sparre y S. C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca. №. 306.1 Rev. 2: 420 p.

Gayanilo, F.C., P. Sparre and D. Pauly. 1993. The fisaT User´s Guide. FAO Computarized Information. FAO, Iclarm Difmar Roma. Series Fisheries 99: 70p.

Martell, S. and R. Froese. 2012. A simple method for estimating MSY from catch and resilience. Rev. Fish and Fisheries 1-11.

Palacios R. M. 2002. La jaiba Biología y Manejo. AGT Editor. México. 152 p.

Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical water: a manual for use with programmable calculators, 325 pp. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila.

Rodríguez-Castro, J. H., J. A. Ramírez-de León, G. Velázquez de la C. 2016. Evaluación del crecimiento de Callinectes sapidus (Decapoda: Portunidae) con métodos basados en talla, Tamaulipas, México.

Velázquez-de la Cruz, G., J. A. Ramírez-de León, R. Pérez-Castañeda, M. A. Reyez- López y A. V. Martínez-Vázquez. 2012. Aprovechamiento de la jaiba azul (*Callinectes sapidus*) en la Laguna Madre de Tamaulipas. México, D.F.: Editorial Plaza y Valdez, S.A. de C.V.

ALGUNOS INDICADORES DE LA PESQUERÍA DE PETO, *Scomberomorus cavalla* DE LA COSTA DE CAMPECHE

Ana G. Díaz Álvarez[1]*, Vequi Caballero Chavez[1], Raúl E. Lara Mendoza[2] y Armado T. Wakida Kusunoki[3]

Resumen

La pesquería de peto, *Scomberomorus cavalla,* en la costa de Campeche representa uno de los recursos de mayor importancia comercial debido al aporte a la economía local y regional. Este trabajo fue resultado de los monitoreos realizados por el programa integral de monitoreo e investigación biológica, pesquera y tecnológica para definir el estado actual de las pesquerías de escama marina en la costa de Campeche, con el fin de realizar propuestas de regulación para su aprovechamiento como recursos sustentables. Durante marzo de 2016 a mayo de 2017 se realizaron muestreos mensuales en las principales localidades pesqueras en donde se desembarca peto por la pesquería dirigida y otras en donde son capturadas incidentalmente. Se registraron organismos cuya estructura de tallas fue de 19.1–73.7 cm LF y una media de 66.5 cm, mientras que, los parámetros de la relación peso-longitud fueron b= 3.0081 y a= 0.0168 y los de crecimiento individual L_∞= 87.58 cm, k= 0.14 año^{-1} y t_0= -0.14 años. En la muestra de organismos maduros de 457 guachinangos, la talla mínima fue de 20.2 cm de LF, la máxima de 72.5 cm y el promedio de 31.7 cm de LF, el 50% de los ejemplares sexualmente maduros (L50%M), fue de 28.0 cm de LF. La CPUE osciló entre 7–124 kg/día y media de 53.47 kg/día, las tasas de mortalidad fueron Z= 2.69 año^{-1}, M= 0.35 año^{-1}, F= 0.28 año^{-1} y una tasa de explotación de E= 0.45 año^{-1}. El peto capturado en Campeche presenta un aparente estado de sobreexplotación, por los que se sugiere seguir realizando estudios para obtener estimadores robustos de la pesquería a nivel regional de esta especie altamente migratoria.

Palabras clave: pesquería artesanal, peto, indicadores pesqueros, Golfo de México

[1] Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura. CRIAP Ciudad del Carmen. E-mail: ana.diaz@inapesca.gob.mx

Introducción

En el Golfo de México el peto ó carito (*Scomberomorus cavalla*) y la sierra (*Scomberomorus maculatus*) son especies importantes en la pesquería artesanal. Estas especies tienen una gran aceptación entre las comunidades debido a su bajo precio y su consumo se remonta a épocas prehispánicas.

El peto y la sierra se caracterizan por ser especies altamente migratorias, cuya migración la realizan de sur a norte durante la primavera-verano y de manera inversa durante otoño-invierno, a lo largo del Atlántico y dentro del Golfo de México (GDM), además de que las capturas de peto son más abundantes cuando temperaturas son frías (Dzul, 2014). Son organismos con una longevidad máxima reportada a nivel mundial de 14 años, aunque para zona del GDM se han reportado hasta 7 años (Zetina *et al*., 1995), presentando tallas entre los 45–115 cm de longitud total (LT) máxima reportada de 184 cm y llegando a pesar hasta 45 kg (Collete y Nauen, 1983).

El peto representa una pesquería importante en el GDM, principalmente en los estados de Veracruz y Campeche que, en conjunto, han aportado más del 70% de la producción promedio registrado en los últimos cinco años (CONAPESCA, 2014). En la Carta Nacional Pesquera (CNP), la pesquería sierra (*S. maculatus*) y peto se manejan en una misma ficha técnica con toda la información biológica, pesquera y socioeconómica para cada especie, en la que se hacen recomendaciones para su manejo a nivel regional GDM y MC (INAPESCA, 2000); en su ficha, destaca la información y evaluaciones pesqueras que se han realizado para estas especies en los demás estados, siendo Campeche, una de las zonas en donde no existe información disponible para realizar recomendaciones en términos de evaluación.

Debido a la importancia comercial y pesquera que representa el peto en el GDM y su comportamiento altamente migratorio entre los estados (incluido Campeche) y países que comparten este recurso en Golfo de México y mar Caribe, es necesario realizar evaluaciones poblacionales y pesqueras que permitan delinear las estrategias adecuadas para su manejo en esta región. Por lo que el presente estudio aporta información acerca de la tendencia de su captura, indicadores biológicos y pesqueros de esta especie que se captura en la costa de Campeche.

Material y Métodos

Se realizaron muestreos mensuales en las principales localidades pesqueras del litoral de Campeche. Los muestreos se enfocaron en la pesquería dirigida al peto, la cual se realiza principalmente en embarcaciones menores de fibra de vidrio (7–9 m de eslora), con motor fuera borda (60–75 hp), utilizando el arte de pesca denominado como curricán, aunque su captura también se registró en pesquerías que operan con redes de enmalle con diferente abertura de malla (8.26–15.24 cm) sobre la superficie. La zona de pesca se encuentra entre los 2–59km de profundidad y a distancias de entre 4–46 km de la costa y cuya flota pesquera opera principalmente en la superficie. Durante los muestreos en campo, se registró información de la captura (kg), esfuerzo pesquero (días de pesca, número de curricanes, número de pescadores, número de paños), información socioeconómica (precios, gastos operativos, etc.). Además, se registró la información biológica de cada organismo, tales como la longitud total (LT, cm), la longitud furcal (LF, cm), el peso total (PT, g).

Tendencia de la captura

Se recopiló información de la serie histórica de captura de esta especie con la finalidad de analizar su tendencia de producción mensual e interanual, así como conocer el estatus actual de su producción a partir de los datos reportados en los Anuarios Estadísticos de Pesca, avisos de arribo de la Subdelegación de Pesca y de las libretas de pesca de los principales centros de acopio de recursos pesqueros.

Indicadores biológicos

Estructura de tallas: se analizó la estructura de tallas (LF, cm) de los ejemplares capturados de *S. cavalla* a través de un histograma de frecuencias y se obtuvieron las tallas mínimas, máximo, promedio y desviación estándar.

Relación peso-longitud: se analizó la relación peso-longitud (PT-LF) a través de un modelo potencial (Ricker, 1975) la cual se representa con la siguiente ecuación:

$$PT = a(LF)^b$$

Dónde PT es el peso total, LF longitud furcal, *a* es el intercepto y *b* es el coeficiente de alometría.

Para conocer el tipo de crecimiento que presenta la especie *S. cavalla* se comparó el exponente de la relación LF-PT contra un valor de b=3 mediante una prueba t de student.

Parámetros de crecimiento: se estimaron los parámetros de crecimiento individual por medio del análisis de frecuencia de tallas (método indirecto) incluidos en la rutina de ELEFAN I del software FiSAT II (Gayanilo *et al,* 2005). Con los parámetros de crecimiento se convirtieron las tallas y pesos a edad para poder realizar otras estimaciones de su dinámica poblacional.

Indicadores pesqueros

Mortalidad y tasa de explotación: se estimó la tasa de mortalidad total (*Z*) a través de la curva a la edad linealizada, mientras que la tasa de mortalidad natural (*M*) fue estimada utilizando la ecuación empírica de Pauly, la mortalidad por pesca se obtuvo a través de la sustracción entre la mortalidad total y *M.* La tasa de explotación (*E*) se estimó derivando de acuerdo a Sparre y Venema (1997).

Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE): la CPUE se estimó a partir de la información derivada de las entrevistas, de las libretas de pesca de las principales bodegas de acopio de recursos pesqueros del litoral de Campeche y de los avisos de arribo. Su estimación fue la división entre la captura (kg) por los días efectivos de pesca.

Resultados y Discusión

Tendencia de la captura

Captura interanual: La tendencia histórica de la captura de peto en el litoral de Campeche ha oscilado entre los 69–2,300 t, la cual aumentó a partir del año 2000 y presentando su pico máximo durante 2004 (2,300 t) y una disminución paulatina durante 2009-2012 con capturas promedio de 1,150 t anuales.

Captura mensual: La tendencia mensual de la captura promedio de 2004 a 2016 de peto ha oscilado entre 10.6–47.8 t, mostrando las mayores capturas durante los meses diciembre a mayo, la cual disminuye paulatinamente conforme el transcurso de los meses. Se reportaron las mayores capturas promedio durante el mes de Febrero (47.8 t) y las capturas más bajas durante octubre y Noviembre (10.6 t) (Figura).

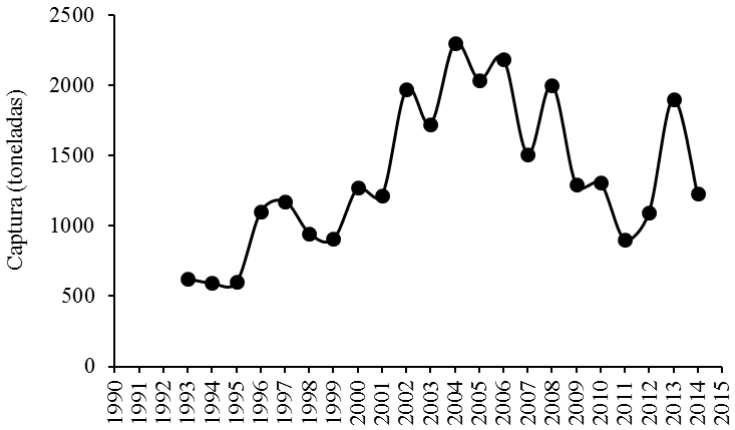


Figura 2. Tendencia histórica de la captura de sierra y peto en el litoral de Campeche durante 1990-2015 (tomado de los Anuarios Estadísticos de Pesca 1990-2015).

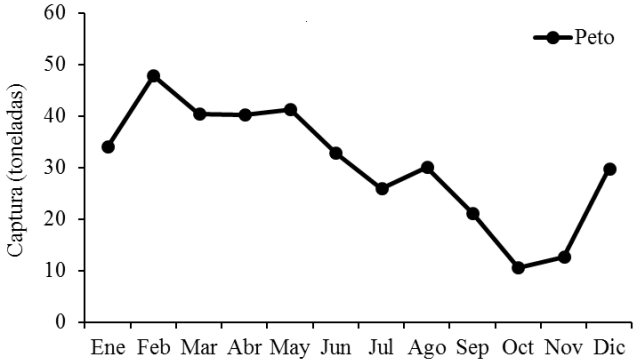


Figura 3. Tendencia mensual de la captura promedio de peto desembarcado en el litoral de Campeche durante el periodo 2006-2014 (Avisos de arribo Subdelegación de Pesca).

Indicadores biológicos

Distribución de tallas: la distribución de tallas (longitud furcal, LF) de los organismos capturados fue obtenida a partir del registro de 1000 organismos, la cual osciló entre 28.5 y 102.7 cm, con promedio de 55.1 cm (DE= 14.7 cm). Dicha talla promedio muestró una aparente disminución respecto a estudios realizados en años anteriores en otros estados del Golfo de México y mar Caribe en donde se han reportado tallas promedio de 62.4–70.9 cm LF (INAPESCA, 2000).

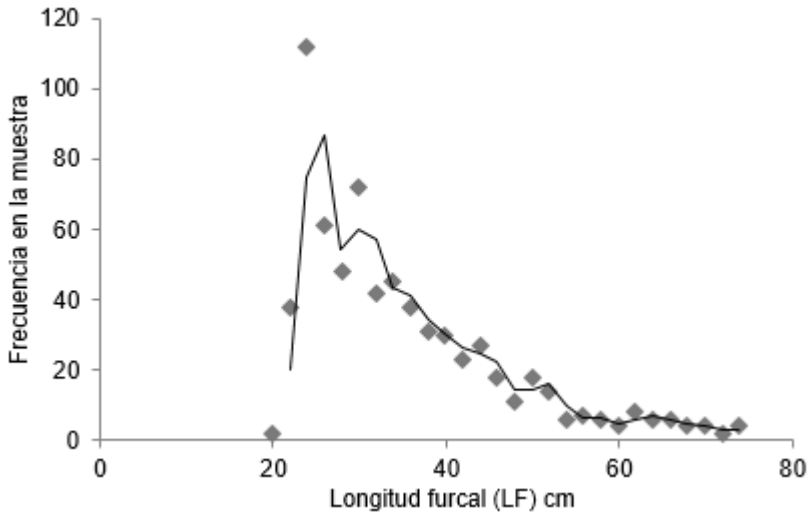


Figura 4. Distribución de tallas (LF) de peto *Scomberomorus cavalla* desembarcado en la costa de Campeche durante 2016-2017.

Relación peso-longitud: esta relación presentó un crecimiento tipo isométrico al mostrar una pendiente *b* = 3.03, la cual no fue estadísticamente diferente al valor teórico de isometría (t= 0.22, *p* >0.05) (Figura 5).

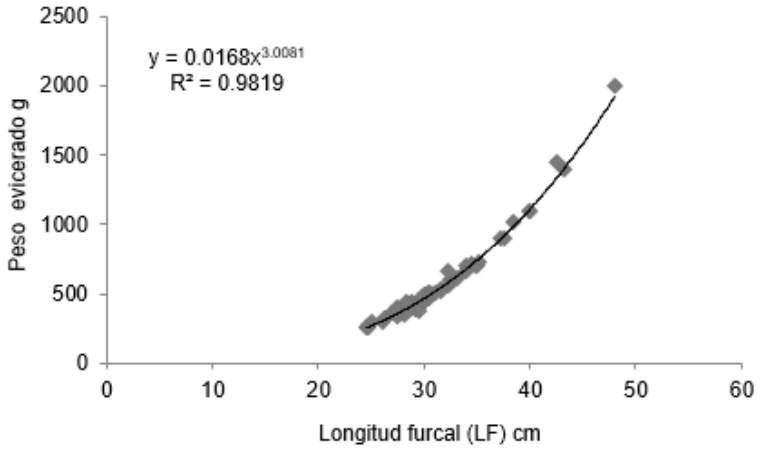


Figura 5. Relación peso-longitud del peto, *Scomberomorus cavalla* capturado en el litoral de Campeche.

Crecimiento individual: Los parámetros de crecimiento individual estimados para sexos combinados a partir de métodos indirectos fueron: *L∞= 87.58 cm, k= 0.14 año-1 y t0= -0.14 años*. Dichos parámetros son menores a los reportados en diferentes estudios en aguas mexicanas del Golfo de México y mar Caribe (Cabrera, 1986; Aguilar *et al.,* 1990; Arreguín-

Sánchez *et al.,* 1994), lo cual pudiera indicar una disminución en el crecimiento individual de esta población a través del tiempo.

Indicadores pesqueros

Captura por unidad de esfuerzo (CPUE): La CPUE estimada a partir de la pesquería dirigida de peto osciló entre 7–124 kg/día de pesca y un promedio de 53.47 kg/día de pesca. De acuerdo a la Carta Nacional Pesquera esta pesquería en el GDM y MC no existe una estrategia de manejo enfocada en la *CPUE*, la cual permitiría tener información enfocada directamente a esta especie y observar las tendencias interanuales de esta pesquería.

Mortalidad y tasa de explotación: La tasa de mortalidad total (*Z*) se estimó en 0.63 año^{-1}, la mortalidad natural (*M*) en 0.35 año^{-1} y la mortalidad por pesca (*F*) de 0.28 año^{-1}, por lo que la tasa de explotación correspondió a una *E*= 0.45 año^{-1}. Los valores estimados en el presente estudio muestran aparentemente una elevada mortalidad por pesca y tasa de explotación respecto a estudios realizados en los años 90 en el GDM y MC (INAPESCA, 2000), aunque los estudios deben seguir realizándose para obtener estimadores robustos de la pesquería a nivel regional.

El RMS estimado para la pesquería de peto capturado en Campeche fue de 301.07 t (IC95%= 249.64 – 356.28 t). La biomasa generada al RMS correspondió a 1 160 t (IC95%= 698.12 – 1 752.07 t). La mortalidad por pesca para alcanzar el RMS (FRMS) fue de 0.283 (IC95%= 0.156 – 0.511). El límite de sobrepesca al último año fue de 140.92 t (IC95%= 68.9 – 1 470.5 t). La tasa intrínseca de incremento poblacional fue r= 0.567 año-1 (IC95%= 0.312 – 1.023 año-1), mientras que la capacidad de carga fue K= 2 320.011 t (IC95%= 1 396.237 – 3 504.144 t).

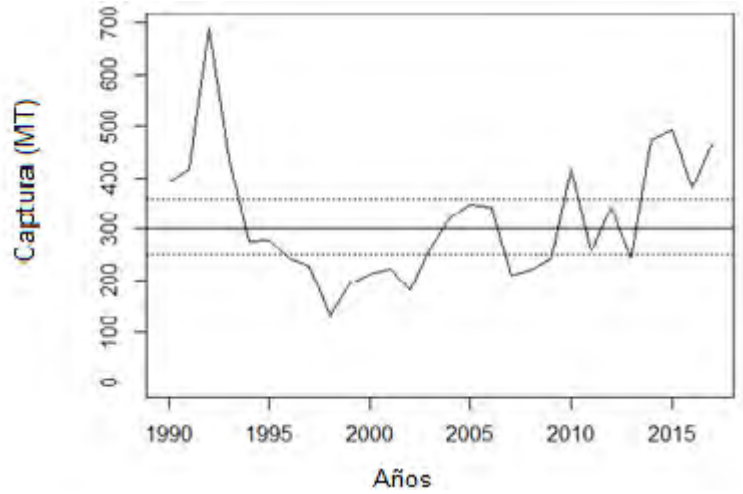


Figura 6. Rendimiento máximo sostenible para la pesquería de peto *S. cavalla* en Campeche.

Conclusiones

1. Se presenta una posible disminución en el crecimiento individual de esta especie a través del tiempo en el Golfo de México y mar Caribe de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo. 2. El peto presenta migraciones muy marcadas a través del año, por lo que este comportamiento afecta notablemente su captura, siendo los meses de diciembre a febrero cuando son más vulnerables a la pesca por la flota que se incide sobre este recurso. 3.El peto capturado en Campeche presenta un aparente estado de sobreexplotación de acuerdo a los indicadores estimados para el GDM y MC en estudios previos, comparados con las estimaciones de la *CPUE*, a las tasas de mortalidad total (*Z*), por pesca (*F*) y a la tasa de explotación pesquera (*E*) del presente estudio.

Agradecimientos

Al sector pesquero de las localidades de Campeche por permitirnos obtener información derivada de su actividad productiva. Al Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, a través del Programa de Escama Marina del Golfo de México y Mar Caribe.

Literatura Citada

Aguilar S., F., S. Salas M., M. A. Cabrera V. y J. D. Martínez A. 1990. Crecimiento y mortalidad del carito *Scomberomorus cavalla*, en la costa norte de la Península de Yucatán. Ciencia Pesquera 8:71-87.

Arreguín-Sánchez, F., M. A. Cabrera and F. A Aguilar. 1995 Population dynamics of the king mackerel (*Scomberomorus cavalla*) of the Campeche Bank, Mexico. EPOMEX México No 231.

Cabrera V., M. A. 1986. Contribución al conocimiento de la pesquería del carito (*Scomberomorus cavalla*) Cuvier, 1829, en la Península de Yucatán. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. ENEP-Iztacala. México.

Collette, B. B. and C. E. Nauen. 1983. FAO Species Catalogue. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. Rome: FAO. FAO Fish. Synop. 125(2):137.

CONAPESCA. 2014. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. SAGARPA. 295 p.

Dzul, M. F. 2014. Captura de *Scomberomorus cavalla* y *S. maculatus* (Pisces: perciformes) y su relación con la temperatura superficial del mar (1998-2009) en el litoral veracruzano, Golfo de México. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Campus Veracruz. Boca del río, Veracruz. 107 p.

Gayanillo, F. C. Jr., P. Sparre and D. Pauly. 2005. Computerized Information Series (Fisheries). No. 8, FAO. Rome, 2005. 163 p.

INAPESCA. 2000. Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo. Instituto Nacional de Pesca. 1042 p.

Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can. 191:382.

Sparre, P. and S. Venema. 1997. Introduction to tropical fish stock assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fish. Tech. Pap. (306/1). Roma, Italia. 337 p.

Zetina, C. E., G. V. Ríos y L. F. Aguilar. 1995. Método de estimación del número de individuos por edad a partir de frecuencias de longitud. Análisis de la bondad en muestras de carito o peto (*Scomberomorus cavalla*) del Golfo de México. INP. SEMARNAP. México. Ciencia Pesquera 11 Nueva Época:5.

Créditos editoriales

Coordinación general

Dr. Rubén Santos Echeverría

Dr. Sergio Uribe

Compiladores

Rigoberto Zetina Lezama

Oscar Hugo Tosquy Valle

Ana Lid Del Angel Pérez

Marcos Ventura Vázquez Hernández

Valentín Alberto Esqueda Esquivel

Claudia Perdomo Montes

Formación y diseño

Claudia Perdomo Montes

Comité de edición

Aixchel Maya Martínez
Ana Lid Del Ángel Pérez
Andrés Rebolledo Martínez
Ángel Capetillo Burela
Antonio Martínez Ruiz
Elizabeth León García
Erika Andrea Hernández
Isaac Meneses Márquez
Jaime Rangel Quintos
Javier Francisco Enríquez Quiroz
José Amador Honorato Zalazar
Juan C. Tamarit Urías
Juan Prisciliano Zárate Martínez
Juan Quintanar Olguín
Marcos Vázquez Hernández
María de J. Martínez Hernández
María de L. A. Cortez Espinoza
Mónica Yazmín Herrera Sotero
Naín Peralta Antonio
Oscar Hugo Tosquy Valle
Pablo Andrés Mesa
Rigoberto Zetina Lezama
Valentín Alberto Esqueda Esquivel

Comité técnico evaluador

Aarón Martínez Gutiérrez
Adrián Guzmán Sánchez
Adriana García Ruiz
Agustín Gallegos Rodríguez
Aixchel Maya Martinez
Aldo Rafael Martínez Sifuentes
Alejandra Vélez Izquierdo
Alejandro Cano González
Alejandro Ledesma Miramontes
Alejandro Perez Muñoz
Alma Rossana Tamayo Sosa
Alma Velia Ayala Garay
Ana Aurora Fontes Puebla
Ana María Anaya Escalera
Ana María Rosales Torres
Anastacio Espejel García
Andrés Flores García
Antonio Álvarez Martínez
Antonio Cano Pineda
Antonio Cantú Covarrubias
Araceli Aguilera Barreyro
Arantzatsu Lassala Irueste
Areli Anaya Hernández
Arely Concepción Ramírez Aragón
Arian Correa Díaz
Artemio Carrillo Parra
Benjamín Zamudio González
Blanca Isabel Sánchez Toledano
Brenda Zulema Guerrero Aguilar
Carlos Gutiérrez Aguilar
Carlos Hugo Avendaño
Carlos Raúl Morales Nieto
Carlos Roman Castillo Martínez
Carolina Citlali Salazar de la Cruz
Carolina Hernández Hernández
César del Ángel Hernández Galeno

Créditos editoriales

Claudia García Figueroa
Claudia María Melgoza Villagomez
Consuelo del Carmen Bautista Muñoz
Cruz Alfredo Tapia Naranjo
Cyndi Gabriela Hernández Coronado
Daniel Cadena Zamudio
Daniela Cruz Delgado
David Abram Betancur Ancona
David Heriberto Noriega Cantú
Doris Fabiola Ly Muñoz
Edgar Enrique Sosa Rubio
Edgardo Bautista Ramirez
Edgardo Cortez Mondaca
Edith Rojas Anaya
Eduardo Daniel Bolaños Aguilar
Eduardo José Cabrera Torres
Edwin Javier Barrios Gómez
Efraín Velasco Bautista
Efrén Díaz Aparicio
Eleodoro Hernández Meneses
Eliab Estrada Cortes
Elizabeth Loza Rubio
Elizabeth Salinas Estrella
Emiliano Loeza Kuk
Emiliano Villordo Pineda
Enrique Canales Islas
Enrique Hernández Garibay
Enrique Noé Becerra Leor
Ericka Ramírez Rodríguez
Estrella Karina Hernández Vázquez
Eulogio Flores Ayala
Feliciano Milian Suazo
Fernando Carrillo Anzures
Francisco Moreno Sánchez
Georgel Moctezuma López
Gerardo Mariscal Landín
Gerardo Martínez Díaz
Gerardo Ordaz Ochoa
Germán Buendía Rodríguez
Germán Nic Matos
Germinal Jorge Cantó Alarcón
Gregorio Álvarez Fuentes
Guillermo Alafita Vásquez
Guillermo Martínez Velázquez
Gustavo Serrano Casilla
H. Jesús Muñoz Flores
Héctor Daniel Inurreta Aguirre
Héctor Ramírez Garduño
Héctor Raymundo Vera Ávila
Héctor Torres Pimentel
Hiram Castro Garibay
Hugo Oswaldo Toledo Alvarado
Humberto Monroy Salazar
Imelda Medina Torres
Isabel Bárcenas Reyes
Isidro Humberto Almeyda León
Ismael Fernando Chávez Díaz
Ismael Tucuch Hass
Israel Ávila Lázaro
Itzel Amaro Estrada
Itzel Guadalupe Arteaga Ríos
J. Isabel López Arroyo
Jaime Mena Covarrubias
Jaime Rangel Quintos
Javier Francisco Enríquez Quiroz
Javier Ireta Moreno
Jesús Manuel Ochoa Rivero
Jesus Martínez Sánchez
Jesús Vázquez Navarrete
Joel Hernández Cerón
Johnny Abraham Burgos Díaz
Jorge Francisco Monroy López
Jorge Oliva Hernández
Jorge Reyes Reyes
José Alfonso Ramírez Arredondo
José Alfredo Medrano Hernández
José Ángel Prieto Ruíz
José Ángel Prieto Ruíz
José Antonio Espinosa García
José Carlos Monárrez González
José German Flores Garnica
José Luis Arispe Vázquez
José Luis Jolalpa Barrera
José Luis Pons Hernández
José Luis Romano Muñoz
José Rodolfo Goche Télles
Juan Becerra
Juan Carlos Tamarit Urias
Juan H. Hernández Medrano
Juan José Pacheco Covarrubias
Julián Cerano Paredes
Julieta Gertrudis Estrada Flores
Justo Abelardo Tepal Chalé
Karla Alicia Peraza Jiménez
Laura Yavarik Alvarado Avila
Liliana Lara Capistrán
Liliana Muñoz Gutiérrez
Lucía E. Rangel Porta
Luis Antonio Gálvez Marroquin
Luis Humberto López Hernández
Luis M. Hernández Fuentes
Magdiel Torres de la Cruz
Manuel Enrique Ovando Cruz
Manuel Silva Luna
María Alejandra Mora Avilés
María Gricelda Vázquez Carrillo
María Guadalupe Herrera Hernández
Marianguadalupe Hernández Arenas
Mario A. Urías López
Mario Martín González Chavira
Mario Orozco Santos
Marisela Cristina Zamora Martínez
Martha Elena Fuentes López
Martin Enrique Romero Sánchez
Martín Gómez Cárdenas
Martin Martínez Salvador
Mauricio Sosa Montes
Mauricio Velázquez Martínez
Mercedes Borja Bravo
Miguel A. Manzanilla Ramírez
Miguel Angel Cano García
Miguel Ángel Vallejo Reyna
Miguel Enrique Arechavaleta Velasco

Créditos editoriales

Monica Lozano Contreras
Nelda Uzcanga Pérez
Nicolás Maldonado Moreno
Oscar Martín Antúnez Ocampo
Pedro Hernández Rojas
Pedro Jurado Guerra
Rafael Ariza Flores
Rafael Filemón Rodríguez Hernández
Rafael Gómez Jaimes
Raquel Cossío Bayúgar
Raúl Díaz Plaza
Raúl Rodríguez Guerra
Reyna Ivonne Torres Acosta
Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez
Ricardo Basurto Gutiérrez
Rosa Elena Sarmiento Silva
Rosendo Hernández Martínez
Rubén Hernández Ortiz
Sabel Barrón Freyre
Salvador Horacio Guzmán Maldonado
Salvador Sampayo Maldonado
Sandra Eloísa Rangel Estrada
Santos Ramírez Carreto
Sara González Ruiz
Silvia Salcido Ruiz
Susana Elizabeth Ramírez Sánchez
Susana Flores Villalva
Teodoro Domínguez Castillo
Teresa Sánchez Torres Esqueda
Tomás Pineda Ojeda
Tzel Amaro Estrada
Valentín Alberto Esqueda Esquivel
Venancio Cuevas Reyes
Verónica Mariles Flores
Vicente Eliezer Vega Murillo
Víctor Montero Tavera
Vidal Guerra de la Cruz
Yajima Yahosca Osorno Borst
Yasmín Alcalá Canto
Yesenia Guadalupe Contreras Magallanes
Yolanda B. Moguel Ordóñez
Yolanda Moguel Ordóñez
Zoila Carmen Lagunes Sánchez