ISSN: 3061 - 8363

XXXVII



REUNIÓN CIENTÍFICA-TECNOLÓGICA, FORESTAL Y AGROPECUARIA TABASCO

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

AÑO 3, NÚM 1
5 Y 6 DE NOVIEMBRE 2026

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ing. Columba Jazmin López Gutiérrez
Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México

Dr. Ulises Mejía Haro
Subsecretario de Agricultura y Desarrollo Rural

MVZ. Carlos Francisco Lastra González
Titular de la Oficina de Representación Estatal de la SADER en Tabasco

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Alejandro Espinosa Calderón
Director General Interino

Dra. Consuelo López López
Coordinadora de Investigación, Innovación y Vinculación

Dr. Cruz Alfredo Tapia Naranjo
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Mtro. David García Sánchez
Coordinador de Administración y Sistemas

Lic. Leonardo Ávila Franco
Titular de la Unidad Jurídica

Centro de Investigación Regional Golfo Centro

Dr. Héctor Daniel Inurreta Aguirre
Director Regional

Dra. Edna Elena Suárez Patlán
Directora de Investigación

Lic. Malinatzin García Robles
Directora de Administración

Dr. Dante Sumano López
Director de Coordinación y Vinculación en Tabasco

“Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco”

Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco”. Año 3, No. 1, noviembre 2026, 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. Daniel Inurreta Aguirre. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2025-030717074000-102, ISSN: 3061-8363 on line, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de este número Dr. Dante Sumano López, Campo Experimental Huimanguillo del Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Km 1, Carretera Huimanguillo - Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, CP. 86400, Teléfonos: 5538713700, ext. 87501.

https://reunioncientificatabasco.com.mx

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: Dante Sumano López, Pablo Ulises Hernández Lara y Cassandra del Carmen Fuentes Sánchez

INDICE

ACUACULTURA **1**

ANÁLISIS PRELIMINAR DEL USO DE ALIMENTO SUPLEMENTADO CON *SPIRULINA PLATENSIS* PARA EL CULTIVO DE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS **2**
JULIA ESTEFANÍA RUIZ-PALOMEQUE[1]*, ROMÁN ROBERTO VÁSQUEZ-RENDÓN[2] Y FERNANDO VÍCTOR IRIARTE-RODRÍGUEZ[3] 2
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE JAULAS FLOTANTES PARA LA ENGORDA DE MOJARRA TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*), VARIEDADES GRIS Y ROJA **5**
YANIRA GUADALUPE CONDE-BAUTISTA[1]*, MARIO FERNÁNDEZ-PÉREZ[2] E IRMA GALLEGOS-MORALES[3]. 5

AGROECOLOGÍA **10**

IMPACTO EN EL CONTROL DE *FRANKLINELLA OCCIDENTALIS PERGANDE* (THISANOPTERA: THRIPIDAE) Y SU EFECTO EN LOS ENEMIGOS NATURALES **11**
MARIO ALBERTO MIRANDA-SALCEDO[1]*, SAÚL PARDO MELGAREJO[1] Y ESPERANZA LOERA[2] 11
COMPORTAMIENTO DE FORRAJEO EN JAULA DE CAMPO DE *DORYCTOBRACON CRAWFORDI* (VIERECK) Y *DIACHASMIMORPHA LONGICAUDATA* (ASHMEAD) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) **14**
MARIO ALBERTO MIRANDA-SALCEDO[1]*, MARTIN ALUJA[2], ERNESTO GONZÁLEZ-GAONA[3] Y CATARINO PERALES-SEGOVIA[4] 14
EVIDENCIAS DE CAMBIO DEL PATRON DE LLUVIAS Y EFECTO DEL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO), EN LA FRANJA AGUACATERA DE MICHOACÁN **18**
LUIS MARIO TAPIA VARGAS[1]*, ADELAIDA STEPHANY HERNÁNDEZ-VALENCIA[2], ANSELMO HERNÁNDEZ PÉRERZ[1]. 18
EFICACIA DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS CONTRA *DOLICHOTETRANYCHUS FLORIDANUS* EN PLANTAS DE PIÑA BAJO INVERNADERO **21**
GERARDO MONTIEL-VICENCIO[1]*, MA. TERESA SANTILLÁN-GALICIA[2], ARIEL WILBERT GUZMÁN-FRANCO[2] Y NAIN PERALTA-ANTONIO[1] 21
NAIN PERALTA-ANTONIO[1]*, ANDRÉS REBOLLEDO-MARTÍNEZ[1], JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO[2], MARÍA ENRIQUETA LÓPEZ-VÁZQUEZ[1] Y GERARDO MONTIEL VICENCIO[1] 24
LOS HUERTOS URBANOS ORGÁNICOS COMO ESTRATEGIA PARA FORTALECER LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN CIUDAD CAUCEL, YUCATÁN **27**
HENRY MANUEL RAMOS-JIMÉNEZ[1], JOSÉ MANUEL SALAYA-DOMÍNGUEZ[2] Y FLOR DE MARÍA RIVERA-ALEGRÍA[3]* 27
EFECTO DEL TÉ DE PEZ DIABLO EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE PEPINO CRIOLLO EN TENOSIQUE, TABASCO **32**
ESTEBAN PEÑA-PEÑA[1*], JESÚS YAIR MOSQUEDA-ESTEBAN[1], ALLISON JANAY ARANDA-SUÁREZ[1], DAVID JUÁREZ-DEHARA[1]32
MANEJO DE AGROQUÍMICOS EN INMEDIACIONES DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS: CAÑÓN DEL USUMACINTA Y RESERVA DE LA BIOSFERA DE WANHA' **37**

SANTA ISABEL CORZO ROMERO[1], ESTEBAN PEÑA-PEÑA[1], ROBERTO RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ[1], JULIO CÁMARA-CÓRDOVA[1]*, DAVID SALOMÓN DE LA O-HIDALGO[1], JOSÉ CISNEROS-DOMÍNGUEZ[1], BLANCA ESTELA DÍAZ-MARÍN[1] Y PATRICIA DEL CARMEN AGUILAR-GARCÍA[1]. 37

BIOTECNOLOGÍA 42

ANÁLISIS FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE TRES LEGUMINOSAS COMESTIBLES EN TABASCO, SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTIMICROBIANA CONTRA BACTERIAS FITOPATÓGENAS 43
NAYBI R. MUÑOZ-CAZARES[1]*, LUZ DEL CARMEN LAGUNES-ESPINOZA[1], CARLOS FREDY ORTIZ-GARCÍA[1] Y SERGIO ARANDA-OCAMPO[2] 43
CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE ALMIDÓN DE YUCA PARA SÍNTESIS DE ECOFILMS 49
JANETH PEREGRINO-GARCÍA[1], GLORIA IVONNE HERNÁNDEZ-BOLIO[2], MONTSERRAT SORIA-CASTRO[2], WILLIAM SANTIAGO GONZÁLEZ-GÓMEZ[2], DAMIANYS ALMENARES LÓPEZ[1], MANUEL MATEO HERNÁNDEZ-VILLEGAS[1] Y GLORIA IVETTE BOLIO-LÓPEZ [1*]. 49
EFECTO ANTIVIRAL DE LOS FITOFÁRMACOS CURCUMINA, RESVERATROL Y ÁCIDO GLICIRRICÍNICO CONTRA EL *ORTHORUBULAVIRUS SUIS* 54
JOSÉ LUIS CERRITEÑO-SÁNCHEZ[1]*, JULIETA SANDRA CUEVAS-ROMERO[1], DALIA GONZÁLEZ-ESPARRAGOZA[2], Y SUSANA ELISA MENDOZA-ELVIRA[2] 54
PRODUCCIÓN RECOMBINANTE DE CRY1BA DE *B. THURINGIENSIS* CON POTENCIAL APLICACIÓN CONTRA INSECTOS CAUSANTES DE PLAGAS 59
JOSÉ LUIS CERRITEÑO-SÁNCHEZ[1]*, JULIETA SANDRA CUEVAS-ROMERO[1], DALIA GONZÁLEZ-ESPARRAGOZA[2], Y SUSANA ELISA MENDOZA-ELVIRA[2] 59
ESTRATEGIA BIO-DIRIGIDA PARA EL DESCUBRIMIENTO DE CANDIDATOS HERBICIDAS A PARTIR DE CIANOBACTERIAS MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE BIOENSAYOS, FRACCIONAMIENTO Y METABOLÓMICA 63
JUAN FABRICIO LAZCANO-ESCOBAR[1], TONATIU CAMPOS-GARCÍA[1], NUTAN PRASAD ROUT[1], NAYELI SARAHÍ QUIÑONES-ISLAS[2]* 63
EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA PROTEÍNA RECOMBINANTE CRY1BA DE *B. THURINGIENSIS* CONTRA LARVAS DEL GUSANO BARRENADOR DEL GANADO (COQUEREL) 66
JOSÉ LUIS CERRITEÑO-SÁNCHEZ[1]*, JULIETA SANDRA CUEVAS-ROMERO[1], DALIA GONZÁLEZ-ESPARRAGOZA[2], SUSANA ELISA MENDOZA-ELVIRA[2], IRENE LÓPEZ-GONZÁLEZ[3], RENÉ GARCÍA-RODRÍGUEZ[4] 66

CAMBIO CLIMÁTICO 70

DETERMINACIÓN DEL CARBONO EN BIOMASA AÉREA DE PLANTACIONES FORESTALES DE *PINUS ELLIOTTI* VAR. *ELLIOTTI* X *PINUS CARIBAEA* VAR. *HONDURENSIS* MEDIANTE INVENTARIO DASOMÉTRICO 71
DE LA O-CÓRDOVA, A.'; DOMÍNGUEZ-DOMÍNGUEZ, M.[1], RINCÓN-RAMÍREZ, J. A.'; ACOSTA-PECH, R.[1] MARTÍNEZ-ZURIMENDI, P.[2] 71
MANEJO SOSTENIBLE DE VINAZAS DERIVADAS DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCAL 75
TEÓFILO MENDOZA-ROJAS[1], LUCIANO MARTÍNEZ-BOLAÑOS[1], VICTORINO GÓMEZ-VALENZUELA[1]*, URIEL BAEZA-NAEH[1], EFRAÍN PAREDES-HERNÁNDEZ[1] Y ELEODORO HERNÁNDEZ-MENESES[1]. 75
IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE CAFÉ ORO AZTECA (*COFFEA ARABICA* L.) EN MÉXICO 81

GABRIELA RAMÍREZ-OJEDA[1]*, NAYELI SARAHÍ QUIÑONES-ISLAS[2], SERGIO SANTIAGO HERRERA-GÓMEZ[2], RAQUEL ROQUE-RUVALCABA[3], OSCAR MARTÍN ANTÚNEZ-OCAMPO[4], JUAN FRANCISCO CABALLERO-PÉREZ[5] Y ROSALÍO LÓPEZ-MORGADO[6] 81

DESARROLLO DE PROTOTIPO DE UN SISTEMA BIOAISLANTE PARA EDIFICACIONES EN CLIMAS TROPICALES 85

JOSÉ ALBERTO MORALES BOLAINA[1*], GLORIA IVETTE BOLIO-LÓPEZ[1], ALEX VALADEZ-GONZÁLEZ[2] Y MIGUEL ÁNGEL VELÁZQUEZ-CARMONA[1] 85

IMPLICACIONES DEL USO DE MALLA SOMBRA EN LA TEMPERATURA DURANTE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE PIÑA MD-2 90

ROSA LAURA REBOLLEDO-GARCÍA[1]*, ANDRÉS REBOLLEDO MARTÍNEZ[2], MARÍA ENRIQUETA LÓPEZ VÁZQUEZ[2], NAIN PERALTA ANTONIO[2], CASIMIRO ORDÓÑEZ PRADO[1], ROGELIO MIRANDA MARINI[2] Y GERARDO MONTIEL VICENCIO[2]. 90

CULTIVOS ANUALES 94

EFECTO DEL AMBIENTE EN FENOLOGIA Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE SOYA EN EL SURESTE MEXICANO 95

MIRNA HERNÁNDEZ-PÉREZ[1]*, JUAN SAMUEL GUADALUPE JESÚS ALCALÁ-RICO[2], LILIANA SAUCEDO-PICAZO[1], JHIBRÁN FERRAL-PIÑA[3] Y MARÍA ALMA RANGEL-FAJARDO[4] 95

COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DOS CHILES SECOS Y TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN TABASCO, MÉXICO 100

MIGUEL TORRES-GONZÁLEZ[-1], SAMUEL CÓRDOVA-SÁNCHEZ[-1*], EDER RAMOS-HERNÁNDEZ[-2], ROSA GRACIELA SANTOS-ARGUELLES[-2] Y JUAN MANUEL ZALDIVAR-CRUZ[-3] 100

RESPUESTA AGRONÓMICA DE VARIEDADES DE ARROZ DE TEMPORAL A BIOESTIMULANTES Y DENSIDADES DE SIEMBRA 102

SERGIO SALGADO-VELÁZQUEZ[1]*, FABIOLA OLVERA-RINCÓN[2], LUCAS ALEJANDRO FADDA[3], PABLO ULISES HERNÁNDEZ-LARA[1], DANTE SUMANO-LÓPEZ[1] Y SAMUEL CÓRDOVA-SÁNCHEZ[4]. 102

TOLERANCIA A LA INUNDACIÓN DEL SUELO EN DOS VARIEDADES DE *COFFEA ARABICA* L.: RESPUESTA HÍDRICA, DAÑO FOLIAR Y SUPERVIVIENCIA 107

EDGAR COLORADO-MEZA[1], MARCO ANTONIO TORAL-JUÁREZ[2*], FELIPE EMILIANO GUTIÉRREZ-PALACIOS[1], LUZ AMELIA SÁNCHEZ-LANDERO[1] Y JOSÉ MARIO GUERRERO-CONTRERAS[3]. 107

VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO FLUVISOL CULTIVADO CON MAÍZ RELACIONADO CON EL RENDIMIENTO EN EL CAMPO EXPERIMENTAL HUIMANGUILLO INIFAP. 112

LUIS GIOVANNI PÉREZ-CÁRDENAS [1]*, ALDO ALBERTO LÓPEZ-CORTÉS [1], SERGIO SALGADO-VELÁZQUEZ [2] Y LORENA VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ [1] 112

INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO MICELIAL DE *MONILIOPHTHORA RORERI* MEDIANTE FUNGICIDAS QUÍMICOS 116

REBECA RODRÍGUEZ-FALCONI[1], JAIME RUBÉN CID-ALCUDIA[2] Y JORGE GUSTAVO RODRÍGUEZ-ESCOBAR[3]*, ... 116

EVALUACIÓN *IN VITRO* DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE *COLLETOTRICHUM* SPP. EN PAPAYA 120

REBECA RODRÍGUEZ-FALCONI[1], ALAN PÉREZ-MONTIEL[2] Y JORGE GUSTAVO RODRÍGUEZ-ESCOBAR[3]*, ... 120

APTITUD AGROCLIMÁTICA PARA *PHASEOLUS LUNATUS* L, FRIJOL IB EN EL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO. 124

GENOVEVO RAMÍREZ-JARAMILLO[1]*, MÓNICA GUADALUPE LOZANO-CONTRERAS[2], WILSON I. AVILÉS-BAEZA[2] 124

RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE HÍBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ EN PRIMAVERA-VERANO EN TABASCO 129

SABEL BARRÓN-FEYRE[1]*, MAURO SIERRA-MACIAS[2] Y CLARA RÍOS-ISIDRO[2]. 129

VALIDACIÓN DE HIBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ EN EL CICLO OTOÑO-INVIERNO EN LA CHONTALPA TABASCO 134
SABEL BARRÓN-FEYRE[1]*, MAURO SIERRA-MACIAS[2] Y CLARA RÍOS-ISIDRO[2]. 134

CULTIVOS PERENNES 138

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE *PHYTOPHTHORA* SPP. EN CACAO DE TABASCO Y NORTE DE CHIAPAS, MÉXICO 139
MARILYN ESTEFANIA YZQUIERDO-ALVAREZ[1], CARLOS FREDY ORTIZ-GARCÍA[1*], JOAQUÍN ALBERTO RINCÓN-RAMÍREZ[1], LORENZO ARMANDO ACEVES-NAVARRO[1] Y EDER RAMOS-HERNÁNDEZ[2] 139
DIFERENCIACIÓN MORFOLÓGICA DE *PHYTOPHTHORA TROPICALIS* Y *PHYTOPHTHORA PALMIVORA* EN CACAO DEL SURESTE DE MÉXICO 142
CARLOS FREDY ORTIZ-GARCÍA[1], MARILYN ESTEFANIA YZQUIERDO-ALVAREZ[1]* Y JOAQUÍN ALBERTO RINCÓN-RAMÍREZ[1] LORENZO ARMANDO ACEVES-NAVARRO[1] Y EDER RAMOS-HERNÁNDEZ[2] 142
EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE FOSFITO (PHI) SOBRE °BRIX EN VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR 145
LA APLICACIÓN FOLIAR DE FOSFITO AFECTA DIFERENCIALMENTE LAS CONCENTRACIONES DE CALCIO, MAGNESIO Y COBRE EN CAÑA DE AZÚCAR 150
JAZMIN LAVIN-CASTAÑEDA[1]*, FERNANDO CARLOS GÓMEZ-MERINO[2] Y LIBIA IRIS TREJO-TÉLLEZ[2] 150
IDONEIDAD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA EL CULTIVO DE *MANGIFERA INDICA* L. EN MÉXICO BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 155
LUCAS ALEJANDRO FADDA[1]*, SERGIO SALGADO-VELÁZQUEZ[2], ELIZABETH LEÓN-GARCÍA[3], HÉCTOR CABRERA-MIRELES[1] Y JORGE GUSTAVO RODRÍGUEZ-ESCOBAR[1]. 155
ESTUDIO DE ADOPCIÓN DE TRES TECNOLOGÍAS ESTABLECIDAS EN SISTEMAS DE AGRICULTURA EN PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN AGRICULTORES DEL ESTADO DE CHIAPAS. 159
EILEEN SALINAS-CRUZ[1]*, CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ-MÁRQUEZ[2], GERARDO COLIN-GARCIA[1], OSIAS RUIZ-ÁLVAREZ[1], ALMA VARGAS-DE LA MORA[1] Y WALTER LÓPEZ-BÁEZ[1] 159
ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE CAFÉ (*COFFEA ARABICA* L.) EN LA ZONA CAFETALERA DEL ESTADO DE COLIMA, MÉXICO. 162
NAYELI SARAHÍ QUIÑONES-ISLAS[1]*, GABRIELA RAMÍREZ-OJEDA[2], SERGIO SANTIAGO HERRERA-GÓMEZ[1], RAQUEL ROQUE-RUVALCABA[3], OSCAR MARTÍN ANTÚNEZ-OCAMPO[4], JUAN FRANCISCO CABALLERO-PÉREZ[5] Y ROSALÍO LÓPEZ-MORGADO[6] 162
ESPECIES DE MOSCA PINTA (*ANEOLAMIA SPP.*) EN HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO 166
ÁNGEL ISAI DE LA CRUZ MOLINA[1], DANTE SUMANO LÓPEZ[2]*, SERGIO SALGADO VELÁZQUEZ[2], GLORIA IVETTE BOLIO LÓPEZ[1], JOSÉ ABEL BROCA BADAL[1], ÁNGEL DAVID AVALOS HERNÁNDEZ[1] Y LUÍS FERNANDO LUNA AGUILAR[1]. 166
PRESENCIA Y DAÑO DE LA PALOMILLA *ACHARIA PAUPER* (DYAR) (LEPIDOPTERA: LIMACODIDAE) EN *THEOBROMA CACAO* L. EN TABASCO, MÉXICO 170
MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ-GUILLERMO[1*], JORGE QUIROZ-VALIENTE[1], LORENZO GRANADOS-ZURITA[1], MANUEL BARRÓN ARREDONDO[1], ISABEL CRISTINA ACOSTA-BALCAZAR[2] E IZAMAR LÓPEZ-DOMÍNGUEZ[3] 170
SELECCIÓN DE GENOTIPOS COMPATIBLES DE CACAO, COMO ESTRATEGIA PARA INCREMENTAR RENDIMIENTO DE GRANO 174
[1]ELDA MARÍA SUAREZ-SÁNCHEZ Y ALFONSO AZPEITIA-MORALES[2*] 174
CALIDAD DEL FRUTO DE TRES VARIEDADES DE CAFÉ, CULTIVADAS EN DOS ALTITUDES EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO 178

Oscar Martín Antúnez-Ocampo[1*], Carlos Daniel Francisco-Manzano[2], Nayeli Sarahi Quiñones-Islas[3], Gabriela Ramírez-Ojeda[4], José Luis Solís-Bonilla[5] y Martín Solís-Martínez[2] 178

DIMENSIONES FÍSICAS Y ATRIBUTOS DE CALIDAD DE FRUTOS DE PIÑA MD-2 CON NUTRICIÓN ORGÁNICA Y MINERAL. 182

María Enriqueta López-Vázquez[1*] Rosa Laura Rebolledo-García[1], Andrés Rebolledo-Martínez[1], Nain Peralta-Antonio[1], Jeremías Nataren Velázquez[1], Laureano Rebolledo-Martínez[2] y Gerardo Montiel-Vicencio[1].... 182

SOBREVIVENCIA, INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE WOOD POCKET EN TRES GENOTIPOS DE LIMON PERSA SOBRE TRES PORTAINJERTOS EN LA HUERTA, JALISCO..... 187

José Joaquín Velázquez-Monreal[1]*, Juan Eduardo Murillo_Hernández[1], Emiliano Loeza-Kuk[2], José Concepción García-Preciado[1] y Mario Antonio Vega-Loera[1]. 187

DAÑO FOLIAR CAUSADO POR Curculionidos EN LIMÓN PERSA (CITRUS LATIFOLIA TANAKA), EN HUIMANGUILLO, TABASCO. 191

Luis Fernando Luna Aguilar[1], José Abel Broca Badal[1], Ángel David Avalos Hernández[1], Ángel Isaí de la Cruz Molina[1], Aaron de Jesús Lezama Garcia[1], Dante Sumano López[2], Sergio Salgado Velázquez[2]. 191

ECONOMÍA CIRCULAR 196

SISTEMA SUSTENTABLE DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL CON TRES ESPECIES FORESTALES..... 197

Sergio Alonso Hernández-Sánchez[1]*, Miriam Gallegos-González [1], Ismael Valencia-Hernández[1], Jedive Abarca-Córdova [1], José Javier Torres-Hernández[1], Isaías de Abraham Almeida[1], Manuel Damián Domínguez-Palma[1], Ángel Antonio Frías-Aguilar[1], René Omar Torres-García[1], Javier Ruíz-García[1] y Fernando Antonio De la Cruz-De la Cruz[2]..... 197

ELABORACIÓN DE PELLETS A PARTIR DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) EN EL TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LA REGIÓN SIERRA 202

FORESTERÍA Y SILVICULTURA 205

CRECIMIENTO E INCREMENTO DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. EN MICHOACÁN, MÉXICO 206

Jonathan Hernández-Ramos[1*], Xavier García-Cuevas[2], Enrique Buendía-Rodríguez[3], Casimiro Ordoñez-Prado[4], Bossuet Gastón Cortés-Sánchez[5] y Francisco Javier Ruiz Hernández[6] 206

ESTRUCTURA MORFOMÉTRICA DE LA COPA DE *Quercus laurina* Bonpl 212

Hernández-Ramos Jonathan[1]*, Roberto Reynoso-Santos[2], Fabiola Rojas-García[3], García-Cuevas Xavier[4], Ramiro Puc-Kauil[5] y Ana Luisa Trujillo Elisea[6] 212

CARACTERIZACIÓN, MANEJO Y BENEFICIOS SOCIALES DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA EN LOS MUNICIPIOS DE CÁRDENAS Y HUIMANGUILLO, TABASCO..... 216

Jennifer Salaya-Gutierrez[1*], Marivel Domínguez-Domínguez[1], Silvia Del Carmen Ruíz-Acosta[2], Víctor Córdova-Ávalos[1], Francisco Izquierdo-Reyes[1] y Pablo Martínez-Zurimendi[3]. 216

TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTIVARIADO APLICADO AL MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake..... 221

Secundino Torres-Lamas[1]*, Pablo Martínez-Zurimendí[2], Marynor Elena Ortega-Ramírez[3], Manuel Jesús Cach Pérez[2] y Marivel Domínguez-Domínguez[4]..... 221

POTENCIAL DE LA MADERA DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN EL SURESTE DE MÉXICO..... 226

SECUNDINO TORRES-LAMAS[1]*, PABLO MARTÍNEZ-ZURIMENDÍ[2], MARYNOR ELENA ORTEGA-RAMÍREZ[3], MANUEL JESÚS CACH PÉREZ[2] Y MARIVEL DOMINGUEZ-DOMINGUEZ[4] 226

ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN UNA PLANTACIÓN DE *ENTEROLOBIUM CYCLOCARPAUM* EN EL ESTADO DE JALISCO 231

AGUSTÍN RUEDA-SÁNCHEZ[1]*, J. TRINIDAD SÁENZ-REYES[2], JUAN DE DIOS BENAVIDES-SOLORIO[1], HIPÓLITO JESÚS MUÑOZ-FLORES[2] Y RUBÉN BARRERA-RAMÍREZ[2] 231

COEFICIENTE DE ASERRÍO DE *ENTEROLOBIUM CYCLOCARPUM* EN UNA PLANTACIÓN EN EL ESTADO DE JALISCO 236

J. TRINIDAD SÁENZ-REYES[1]*, AGUSTÍN RUEDA-SÁNCHEZ[2], JUAN DE DIOS BENAVIDES-SOLORIO[2], HIPÓLITO JESÚS MUÑOZ-FLORES[1] Y RUBÉN BARRERA-RAMÍREZ[1] 236

MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN BOSQUES DE ENCINO DEL NORTE DEL ESTADO DE MÉXICO 241

CASIMIRO ORDÓÑEZ-PRADO[1], BOSSUET GASTÓN CORTÉS-SÁNCHEZ[2]*, JUAN CARLOS TAMARIT-URIAS[1], VIDAL GUERRA-DE LA CRUZ[2], ENRIQUE BUENDIA-RODRIGUEZ[3], JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ-MORENO[4], ADRIÁN HERNÁNDEZ-RAMOS[5] Y JONATHAN HERNÁNDEZ-RAMOS[6] 241

GANADERÍA 247

EFECTO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA SOBRE LA GANANCIA DIARIA DE PESO Y EL APORTE NUTRICIONAL EN OVINOS. 248

MARTIN URIEL HUERTA-TÉLLEZ[1], NELY OLIVIA IBARRA-GONZÁLEZ[1*], SALOMÓN VÁZQUEZ-LÓPEZ[1] Y RICARDO DE VICENTE-CORTÉS[1] 248

ANÁLISIS DE UN SISTEMA GANADERO HACIA UNA TRANSICIÓN A UN MANEJO SUSTENTABLE DE LA GANADERÍA, EN CHIAPAS, MÉXICO. 251

EILEEN SALINAS-CRUZ[1]*, ALMA VARGAS- DE LA MORA[1], GERARDO COLIN-GARCIA[1], OSIAS RUIZ-ÁLVAREZ[1], WALTER LÓPEZ-BÁEZ[1] 251

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA EN LA LOCALIDAD BENITO JUAREZ EN CANDELARIA, CAMPECHE. 255

FRECUENCIA DE MASTITIS SUBCLÍNICA Y PERFIL DE SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE AISLAMIENTOS BACTERIANOS EN CINCO UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE OSTUACÁN, CHIAPAS. 260

ROBERTO OMAR CASTAÑEDA-ARRIOLA *[1], TOMÁS COOX-CHI [2], JUAN CARLOS CRUZ-SÁNCHEZ [2], ADRIÁN ALEXIS HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ [2], VÍCTOR JHONATAN HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ [2], ORLANDO DE JESÚS JIMÉNEZ-GARCÍA [2] Y JOSÉ MIGUEL VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ [2]. 260

DIAGNOSTICO SEROLOGICO DE BABESIOSIS BOVINA EN UNIDADES DE PRODUCCION DE LA ZONA NORTE DE CHIAPAS 265

JOSÉ JUAN LIRA-AMAYA*[1], JESÚS ANTONIO ÁLVAREZ-MARTÍNEZ[1], CARMEN ROJAS-MARTÍNEZ[1], ROBERTO OMAR CASTAÑEDA-ARRIOLA[2], KARIME YAMILLET ANTONIO ANTONIO[3], YURITZI CRISTAL DEL CARPIO HERNÁNDEZ[3], SOFÍA ESQUIPULAS RUIZ[3], ERIKA YATZARI HERNÁNDEZ LÓPEZ[3] Y ERIN YAEL HERNÁNDEZ LÓPEZ[3]. 265

CRECIMIENTO DE *CENCHRUS PURPUREUS* VARIEDADES ROXO Y TAIWÁN CON DIFERENTES PH DEL SUELO Y CON FERTILIZACIÓN 269

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO PREDESTETE DE CORDEROS Y DE LA OVEJA CON LACTANCIA CONTROLADA 275

CINTIA VANESA MARTINEZ-JERONIMO[1], ERIKA BELEM CASTILLO-LINARES*[2] Y JORGE OLIVA-HERNÁNDEZ[2] 275

VIRGILIO BRICEÑO ROMERO[1], CARLOS LUNA-PALOMERA[1]*, NOEL M. MALDONADO-GARCÍA[1] Y NADIA FLORENCIA-OJEDA-ROBERTOS[1] 281

MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES 284

PRIORIZACIÓN DE CUENCAS DE MORELOS MEDIANTE ÍNDICES DE EROSIÓN, PRODUCCIÓN HÍDRICA, AGRICULTURA Y CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA 285
WALTER LÓPEZ BÁEZ[1]*, ALMA LIZ VARGAS DE LA MORA[1], IGNACIO SÁNCHEZ COHEN[2] Y SERGIO ESQUIVEL ARRIAGA[2] 285
MODELOS DE CRECIMIENTO E INCREMENTO PARA *BURSERA SIMARUBA* (L.) SARG. EN EL SUR DE QUINTANA ROO, MÉXICO 291
XAVIER GARCÍA-CUEVAS[1*], RAMIRO PUC-KAHUIL[2], JONATHAN HERNÁNDEZ-RAMOS[3] Y GERARDO LAGUNES-RODRÍGUEZ[4] 291
VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN FOLIOLOS DE TRES VARIEDADES DE COCOTERO (*COCOS NUCIFERA* L.) 297
EDER RAMOS HERNÁNDEZ[1*], MARÍA DEL CARMEN SILVERIO GÓMEZ[2] Y MATILDE CORTAZAR RÍOS[2]..... 297
ZONIFICACIÓN EDAFOCLIMÁTICA MEDIANTE ANÁLISIS MULTIVARIADO COMO HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN AGRÍCOLA EN TABASCO, MÉXICO..... 300
CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE MICROCUENCAS MEDIANTE ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y MODELACIÓN ESTADÍSTICA EN EL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO..... 306
WALTER LÓPEZ BÁEZ[1*], IGNACIO SÁNCHEZ COHEN[2] Y ALMA LIZ VARGAS DE LA MORA[1] 306
MANUEL JESÚS ZAVALA LEÓN[1*], MARÍA ALMA RANGEL FAJARDO[1] Y FELIPE SANTAMARÍA BASULTO[1]..... 311
CONSERVACIÓN DE SEMILLAS DE CHILE DULCE (*CAPSICUM ANNUUM* L.) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO..... 315
MANUEL JESÚS ZAVALA LEÓN[1*], FELIPE SANTAMARÍA BASULTO[1], MARÍA ALMA RANGEL FAJARDO[1] Y MARIELA VÁZQUEZ CALDERÓN[2]..... 315
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN PORCÍCOLA MEDIANTE UN FILTRO PERCOLADOR 319
CELIA DE LA MORA-OROZCO[1], GERARDO DOMÍNGUEZ ARAUJO[1], EDGARDO MARTÍNEZ-OROZCO[2*] Y LAURA IZASCUM PÉREZ-VALENCIA[2] 319
RECONOCIMIENTO DE LA FAUNA ASOCIADA AL MANGLAR COMO EXPRESIÓN DEL CONOCIMIENTO ECOLÓGICO LOCAL EN LA ZONA COSTERA DE TABASCO, MÉXICO 323
CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ-MÁRQUEZ[1*], JUAN MANUEL ZALDÍVAR-CRUZ[2], SAÚL SÁNCHEZ-SOTO[2], ÁNGEL SOL-SÁNCHEZ[2] Y MARIO MANUEL ALIPHAT FERNÁNDEZ[3] 323
DESEMPEÑO FISICOQUÍMICO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE RECIRCULACIÓN BAJO CONDICIONES DE CLIMA TROPICAL HÚMEDO 328
MARÍA ELENA CÁRDENAS-CÓRDOVA[1], CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ-MÁRQUEZ[2*], HUGO ALVARADO-DIAZ[3], RUDY SOLÍS-SILVÁN[1] Y LITZY FLOR JAVIER-VELÁZQUEZ[1]. 328
CAMBIOS A LARGO PLAZO EN LA ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD ARBÓREA DE LAS SELVAS DEL TORMENTO, CAMPECHE..... 334
OMAR ALEJANDRO BRAVO HERNÁNDEZ[1], ALFARO REYNA TERESA[2*], JOSÉ JOAQUÍN RÍOS GÓMEZ[3], JULIO CALÁN ZETINA[3], DELGADO BALBUENA JOSUÉ[4, 5] Y MAYA MARTÍNEZ AIXCHEL[2]..... 334
DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE SILVESTRE DE ALGODÓN *GOSSYPIUM LOBATUM* GENTRY 338
CLAUDIA PÉREZ MENDOZA[1*], MA. DEL ROSARIO TOVAR GÓMEZ[1], GABRIELA RAMÍREZ OJEDA[2] Y MARTHA ELENA PEDRAZA SANTOS[3] 338
EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD FUNCIONAL Y RESISTENCIA DEL PAISAJE ANTE LA FRAGMENTACIÓN EN EL CITTFOR "EL TORMENTO", CAMPECHE. 342
CARMEN ALICIA VALENZUELA ALFARO[1], JOSUÉ DELGADO BALBUENA[2] Y TERESA ALFARO REYNA[3]* 342

SOCIOECONOMÍA Y DESARROLLO RURAL..... 348

ESTRATEGIA NATURAL, INFORMADA Y RAZONADA PARA GESTIONAR LA TRANSFERENCIA E INNOVACIÓN TECNOLOGICA EN SECTOR AGRÍCOLA 349
Jesús Uresti-Gil[1]*, José Antonio Espinosa García[2] y Raymundo Vázquez Gómez[3]..... 349
FACTORES ASOCIADOS CON LA ADOPCIÓN Y CONTINUIDAD DE LA VARIEDAD DE FRIJOL VERDÍN..... 355
Jaime Rangel-Quintos[1]*, Oscar Hugo Tosquy Valle[2] y Eileen Salinas Cruz[3] 355
CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES DE MAÍZ PEPITILLA Y DESTINO DE LA PRODUCCIÓN EN CUETZALA DEL PROGRESO, GUERRERO 360
Erika Belem Castillo-Linares[1]*, César del Ángel Hernández-Galeno[2], Miguel Ángel Martínez-Ortíz[3], Yolanda Salinas-Moreno[3] y José Manuel Cabrera-Toledo[4]..... 360
CERTEZA Y VALORACIÓN PRELIMINAR DE ATRIBUTOS AGROECOLÓGICOS SEGÚN CANAL DE COMPRA EN VERACRUZ-BOCA DEL RÍO 364
Karina Pascual-Osorio[1*], José Jaime Arana-Coronado[1], Andrés Rebolledo-Martínez[2], Gerardo Montiel-Vicencio[2] y Roberto Carlos García-Sánchez[1] 364
ABASTECIMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN DE YUCA DULCE (*Manihot esculenta* Crantz) EN EL MERCADO TRADICIONAL DE CATEMACO, VERACRUZ..... 368
Lily Lorena Luna-Castellanos[1], Alejandra Soto-Estrada[1]*, Oscar Burbano-Figueroa[2], Isaac Meneses-Márquez[3] y Octavio Ruiz-Rosado[1]..... 368
RECAMBIO GENERACIONAL Y SU IMPACTO EN LA GANADERIA BOVINA DOBLE PROPÓSITO CASO PIEDRAS NEGRAS VERACRUZ. 372
Kenia Ximena Hernández Ignacio[1], Jaime Rangel Quintos[2*], Jorge Eduardo Vieyra Durán[1], Itzyaeli Karina Domínguez Santacruz[1]..... 372

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS 377

DESARROLLO DE UNA MATRIZ TERMOPROTECTORA MULTIBARRERA PARA PROBIÓTICOS EN UN SNACK HORNEADO DE PLÁTANO MACHO..... 378
Deibi Candelario Morales-Cruz[1], Laura Mercedes Lagunes-Gálvez[1]*, Rosa Elena Delgado-Portales[2], Alejandro de la Cruz-Martínez[2], Mario Moscosa-Santillán[2] 378
EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LAS HOJAS DE NARANJA AGRIA (*Citrus aurantium* L.) 381
ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS TROPICALES CON FINES NUTRICIONALES 385
Celia Velázquez Torres[1], Manuel Mateo Hernández Villegas[1], Gloria Ivette Bolio López[1] y Omar Sarracino Martínez[1]..... 385

ACUACULTURA

ANÁLISIS PRELIMINAR DEL USO DE ALIMENTO SUPLEMENTADO CON *SPIRULINA PLATENSIS* PARA EL CULTIVO DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS

Julia Estefanía Ruiz-Palomeque[1]*, Román Roberto Vásquez-Rendón[2] y Fernando Víctor Iriarte-Rodríguez[3]

[1]Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra, Carretera Teapa-Tacotalpa, km 4.5, Francisco Javier Mina, C.P. 86801, Teapa, Tabasco; [2]Unidad Regional Universitaria SurSureste (URUSSE), Carretera Teapa-Vicente Guerrero, km 7.5, San José Puyacatengo, C.P. 86801, Teapa, Tabasco; [3]División Académica de Ciencias Agropecuarias, UJAT, Carretera Villahermosa-Teapa, km 25+2, Ranchería La Huasteca 2da Sección, C.P. 86298, Villahermosa, Tabasco.
*Autor para correspondencia: juliaestefaniaruizpalomeque@gmail.com

Palabras clave: *Tilapia, Oreochromis niloticus, Spirulina platensis, suplemento.*

Introducción

La tilapia (Oreochromis niloticus) se ha consolidado como una de las especies de peces más cultivadas a nivel global debido a su adaptabilidad, rápido crecimiento y resistencia a condiciones adversas. No obstante, uno de los principales desafíos en su cultivo es el alto costo de los alimentos balanceados, especialmente la harina de pescado, que puede representar desde el 60 hasta el 70 % del costo total de producción. En respuesta a esta problemática, se ha investigado el uso de microalgas como fuentes proteicas alternativas. La Spirulina platensis destaca por su alto contenido de proteína (entre 50 % y 70 % del peso seco), con perfil de aminoácidos completo y presencia de compuestos bioactivos (ficocianina, carotenoides), vitaminas y minerales esenciales. Estudios recientes demuestran que la inclusión de Spirulina platensis en la dieta de tilapia puede sustituir hasta el 30–50 % de la proteína proveniente de harina de pescado sin afectar negativamente el crecimiento ni la supervivencia de la población, e incluso en algunos casos mejorar la conversión alimenticia (Soma et al., 2024; Al-Nadabi et al., 2024). Por otra parte, se ha reportado que la suplementación con niveles entre 2.5 % y 10 % de espirulina mejora los parámetros inmunológicos del pez, incluyendo el recuento de leucocitos, la actividad fagocítica y la integridad intestinal, lo cual puede expresarse en mayor resistencia a enfermedades comunes en acuacultura (Youssef et al., 2023). En este mismo sentido, se ha evidenciado que dietas combinadas con Spirulina platensis y pre o probióticos potencian aún más la calidad del estado de salud, crecimiento y capacidad antioxidante en tilapia juvenil, lo cual refuerza su potencial como suplemento natural en acuacultura (Abdo et al., 2024).

Los sistemas acuapónicos son un enfoque que integra la acuacultura con la hidroponía, con la finalidad del aprovechamiento eficiente del agua y nutrientes de alto valor, como lo son nitratos, fosforo, algo de potasio, calcio, magnesio y micronutrientes. Dentro de la acuaponía, los sistemas acoplados permiten la circulación continua del agua entre los tanques de peces y sustratos de plantas, mientras que en un sistema desacoplado dicho flujo es controlado y segmentado entre los tanques para evitar efectos sobre el cultivo de las plantas. Algunos de los efectos reportados para las hortalizas en sistemas acuapónicos acoplados son la mala asimilación de nutrientes (Aslanidou et al., 2023), desequilibrio nutrimental, exceso de amonio, nitritos sólidos suspendidos y reducción de la cantidad de oxígeno disuelto.

En este contexto, resulta innovador plantear un análisis que combine el uso de alimento suplementado con Spirulina platensis en sistemas acoplados, así, el objetivo de esta investigación fue cuantificar el efecto del alimento suplementado con Spirulina platensis sobre parámetros productivos de la tilapia (Oreochromis niloticus) y del cultivo vegetal asociado en un sistema acuapónico recirculante.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Carretera Villahermosa – Teapa, km 25, Ranchería La Huasteca 2da. Sección, C.P. 86290. Ubicada en la Latitud 17°55'18" Norte y Longitud 92°52'16" Oeste en un espacio habilitado para prácticas de acuaponía y nutrición acuícola, durante veinte semanas del periodo otoño-invierno del 2025. Los sistemas acuapónicos acoplados experimentales se implementaron específicamente en el área de Invernaderos de la DACA, cuya ubicación proporciona un ambiente idóneo. Paralelamente, el proceso de formulación, producción y mezcla de los tratamientos dietéticos (Dieta Control y Dieta Experimental suplementada) se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimento Vivo, el cual está adscrito al área de Acuacultura de la DACA y cuenta con la infraestructura especializada para la propagación, cosecha y procesamiento de la biomasa de *Spirulina platensis*, asegurando así la calidad y homogeneidad de las dos dietas que fueron probadas comparativamente en los sistemas de acuaponía.
Para el experimento se utilizó un sistema integrado recirculante con 6 tanques de 1000 l cada uno de los cuales contó con 55 alevines de tilapia, donde se alimentó a los ejemplares con dos tipos de alimentación: alimento convencional y alimento suplementado con *Spirulina platensis*. 50 plántulas de tomate verde y albahaca fueron establecidas en contenedores de PVC por cada tanque de producción, conformando así el sistema acuapónico. Los parámetros registrados para los peces fueron peso (g) y talla (cm) y para las plántulas altura (cm) y número de hojas.
La presente investigación fue diseñada bajo un enfoque experimental controlado para evaluar el efecto del alimento suplementado con *Spirulina platensis* sobre el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada en un sistema acuapónico acoplado. El diseño experimental fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 2 tratamientos y 3 repeticiones. Los datos fueron analizados con un análisis de varianza (ANOVA) y la determinación de grupos fue realizada mediante la prueba *t* de *student*. Las pruebas estadísticas se realizaron mediante *RStudio*: software estadístico de código abierto con el paquete específico de *agricolae*. El nivel de significancia utilizado fue un $\alpha = 0.05$.

Resultados y discusión

Para analizar los resultados se consideró el peso y talla de las tilapias y relacionó con el componente vegetal mediante la altura y número de hojas de las plántulas. Durante la primera semana los parámetros de las tilapias mostraron valores similares. En la segunda semana del experimento, se observó una diferencia entre los tratamientos de los peces, con un cambio en el valor promedio de peso y talla. Durante la tercera semana la suplementación con *Spirulina platensis* mostró una diferencia significativa en peso y talla, indicando un efecto en los parámetros de peso en las tilapias, aumentando su valor, aunque las tallas no presentaron diferencia significativa, lo que puede sugerir un efecto nutricional diferenciado. Durante el periodo experimental se registró la mortalidad de los peces en ambos tratamientos. La mortalidad con el tratamiento suplementado fue de 6.67% y en la alimentación convencional, este valor fue de 9.70%. Estos valores fueron considerados durante todo experimento para ajustar la carga alimenticia.
Con respecto al material vegetal, la primera semana registrada, la altura media en el sistema hidropónico suplementado *Spirulina platensis* alcanzo un valor de 4.2 cm para la albahaca, mientras que, para el tomate verde, los valores registrados alcanzaron un valor promedio de 3.4 cm. Respecto a los cultivos para el sistema sin suplementación, se obtuvo una media de crecimiento de 5 cm y 3.7 cm para la albahaca y el tomate verde. El tratamiento de alimento convencional favoreció en un principio un mayor crecimiento tanto en albahaca como en tomate, mientras que el tratamiento con *Spirulina platensis* mostró plantas más pequeñas y con menor desarrollo foliar. Durante la segunda semana se observó que el tratamiento de alimento convencional presentó un mayor crecimiento en las plantas de albahaca. En la tercera semana evaluada el tratamiento de alimento normal tuvo un mejor rendimiento en cuanto a la altura alcanzada por la albahaca. El tomate verde creció más en altura con *Spirulina platensis*, pero con menos hojas, lo que indicó un estrés o limitación nutricional. Durante la cuarta semana la albahaca presentó mayor crecimiento y número de hojas en el sistema de alimento normal. El tomate verde mostró crecimiento vertical mayor

con *Spirulina platensis*, pero crecimiento foliar reducido, indicando estrés y disponibilidad limitada de nutrientes. No se encontró una diferencia significativa entre la variable altura de planta y tratamiento debido al tipo de alimento suministrado a la tilapia. En términos prácticos, el alimento suplementado con *Spirulina platensis* no promovió un crecimiento en altura superior, respecto al alimento convencional en la cuarta semana analizada.

Los resultados demostraron que las tilapias alimentadas con espirulina presentaron un mayor peso final respecto al alimento convencional, presentando diferencias estadísticas significativas, mientras que en la talla no se encontró evidencia para considerar diferencias estadísticas relevantes entre tratamientos. En el componente vegetal la albahaca presentó un mayor desarrollo con el tratamiento convencional, mientras que el tomate verde mostró mayor crecimiento en altura con *Spirulina platensis*, aunque con evidencias de estrés fisiológico, sin embargo, las variables de crecimiento vegetal no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

Conclusiones

En los resultados de esta investigación, destaca que el alimento suplementado con *Spirulina platensis* demostró tener un mejor rendimiento zootécnico en las tilapias, principalmente en la variable peso (g), por lo que su uso se puede considerar una alternativa funcional dentro de la producción acuícola. También se pudo comprobar que el tratamiento con alimento comercial adicionado con *S. platensis* no favoreció el desarrollo de los cultivos de hortalizas probados, especialmente el cultivo de tomate verde. Lo que puede significar un desequilibrio en la disponibilidad de nutrientes dentro del sistema acuapónico. En referencia a ello, se puede mencionar que la espirulina representa un suplemento útil para el componente animal del sistema y que su aplicación debe ser regulada o ajustada para evitar afectaciones cuando se integran cultivos agrícolas en el sistema recirculante. Con los datos obtenidos podemos mencionar que el alimento convencional para tilapia mantuvo condiciones adecuadas para el desarrollo de hortalizas en las condiciones de agua, pH, CE, sedimentos y temperatura, del sistema acuapónico evaluado.

Referencias bibliográficas

Abdo, S. E., El-Nahas, A. F., Abdellatif, R. E., Mohamed, R., Helal, M. A., Azzam, M. M., Di Cerbo, A., & El-Kassas, S. (2024). Combined Dietary *Spirulina platensis* and Citrus limon Essential Oil Enhances the Growth, Immunity, Antioxidant Capacity and Intestinal Health of Nile Tilapia. *Veterinary Sciences*, *11*(10), 474. https://doi.org/10.3390/vetsci11100474.

Al-Nadabi, R., Gallardo, W. G., & Al-Souti, A. (2024). *Spirulina Arthrospira platensis* as fishmeal replacement: effect on the growth, survival and proximate composition of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Applied Environmental Biotechnology, 9(2), 30-34. https://doi.org/10.26789/aeb.2024.02.004.

Aslanidou, M., Elvanidi, A., Mourantian, A., Levizou, E., Mente, E., & Katsoulas, N. (2023). Nutrients Use Efficiency in Coupled and Decoupled Aquaponic Systems. Horticulturae, 9(10), 1077. https://doi.org/10.3390/horticulturae9101077.

Soma, K., Kals, J., Opiyo, M. A., Ndambi, A., García-Cubero, R., Barbosa, M. J., Rurangwa, E., & Vernooij, A. (2024a). Toward sustainable food systems: can spirulina (*Arthrospira platensis*) become a sustainable source of protein to enhance the nutritional benefits of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)? Frontiers In Sustainable Food Systems, 8. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1283150.

Youssef, I. M. I., Saleh, E. S. E., Tawfeek, S. S., Abdel-Fadeel, A. A. A., Abdel-Razik, A. H., & Abdel-Daim, A. S. A. (2023). Effect of *Spirulina platensis* on growth, hematological, biochemical, and immunological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Tropical Animal Health and Production, 55(4). https://doi.org/10.1007/s11250-023-03690-5.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE JAULAS FLOTANTES PARA LA ENGORDA DE MOJARRA TILAPIA (*Oreochromis niloticus)*, VARIEDADES GRIS Y ROJA

Yanira Guadalupe Conde-Bautista[1]*, Mario Fernández-Pérez[2] e Irma Gallegos-Morales[3].

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias DACA, Km.25. Carretera Villahermosa-Teapa.C.P.86290. Teapa, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: yaniraconde15@gmail.com

Palabras claves: Tilapia, tasa de crecimiento, dimorfismo.

Introducción

La visión actual de la pesca y la acuacultura es desarrollar un subsector productivo, competitivo y sustentable que aporte a la seguridad alimentaria, de forma significativa, ofreciendo alimentos de alto valor nutricional, de calidad y a precios accesibles (SADER, 2019). La acuicultura moderna ha centrado sus esfuerzos en optimizar el rendimiento productivo de especies de interés comercial como la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), una de las más cultivadas a nivel mundial. Entre los principales factores que influyen en el crecimiento de esta especie se encuentran el sexo y la línea genética, los cuales pueden incidir significativamente en el desempeño zootécnico y, por tanto, en la rentabilidad de los sistemas de cultivo. La acuacultura continental mundial utiliza técnicas e instalaciones de cultivo muy diversos, esta labor y las prácticas difieren ampliamente en cuanto a la intensidad de los recursos, el nivel de sofisticación tecnológica y el grado de integración con otras actividades de producción. Las jaulas flotantes permiten un control eficiente del cultivo, ya que facilitan la alimentación, el monitoreo de la salud de los peces y la prevención de enfermedades. Además, este sistema maximiza el uso del espacio acuático, haciéndolo ideal para áreas donde el terreno disponible es limitado. En este método, el éxito depende de factores clave como la calidad del agua, el manejo adecuado de la densidad de siembra, el tipo de alimento utilizado y la implementación de buenas prácticas de manejo. La engorda en jaulas flotantes no solo ofrece oportunidades económicas para productores de diferentes escalas, sino que también contribuye al desarrollo sostenible de la acuicultura en comunidades rurales y costeras. Este modelo productivo es una alternativa atractiva para satisfacer la creciente demanda de pescado a nivel global, promoviendo una actividad acuícola rentable, responsable y alineada con los principios de conservación ambiental (FAO, 2022). Objetivo general: Comparar el crecimiento de la tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus) línea gris y línea roja, sin masculinizar, en un sistema de jaulas flotantes.

Materiales y métodos

El Laboratorio de Producción Acuícola “AQUADACA”, se encuentra ubicada en la localidad de La Huasteca 2a. Sección (Alvarado la Raya) pertenece al municipio de Centro en el Estado de Tabasco, México. El área cuenta con estanques rectangulares funcionales y con sistemas de geomembranas y aireación, el área de estanques de la unidad se localiza para mayor precisión en las Coordenadas N17°59'12.8" O 92°55'49.01". El estanque donde fueron instaladas las jaulas dispone de una superficie de 472 m2 con una profundidad de 1. 8 m en la porción más profunda, está provisto de una cubierta de geomembrana, entrada y salida de agua y cuenta con aireador independiente, adaptado a un sistema de mangueras que distribuyen de forma homogénea el oxígeno a todo el estanque.
Para el desarrollo del trabajo se construyeron dos tipos de jaulas flotantes, adaptadas a las diferentes etapas del cultivo. Antes de la instalación de las jaulas, el estanque fue vaciado, limpiado y encalado, con el objetivo de eliminar posibles organismos no deseados como parásitos, larvas de peces u otros patógenos.

Crecimiento I

Se utilizaron 2220 peces, de los cuales 1110 fueron crías de tilapia de línea genética gris y 1110 de la línea genética roja, obtenidas de la empresa ARTIFISEAS. Los peces fueron sometidos a un proceso de aclimatación progresiva a las condiciones del medio local, lo cual consistió en la adaptación a la temperatura del agua del estanque durante 45 minutos previos a su liberación. Como medida sanitaria

preventiva, las crías fueron desinfectadas mediante un baño con sal al 3% antes de su siembra. Asimismo, se realizó una selección inicial, descartando individuos con malformaciones, lesiones visibles o signos de enfermedad. Se procuró que todos los peces sembrados presentaran un tamaño y peso corporal homogéneo, a fin de reducir la variabilidad en el crecimiento individual. Para cada línea de peces se utilizaron 3 jaulas, en una densidad de 41.1 peces por m^3 por jaula, donde se dio seguimiento a su desarrollo durante un periodo de 80 días. Durante este periodo se llevaron a cabo biometrías quincenales que permitieron realizar los ajustes en la alimentación en función de la biomasa estimada para cada jaula. La alimentación en esta fase consistió en alimento balanceado flotante de 1.5 a 2.5 mm (Pedregal SilverCup2 ®) con un contenido proteico que fue desde el 45% al 40%, dispuesto en cuatro raciones por día. Además, se mantuvo una observación del comportamiento de los peces, su aceptación del alimento y su estado sanitario general. Cuando los peces alcanzaron un peso promedio de 50 gr. se consideró el momento adecuado para el proceso de sexado manual, el cual consistió en la identificación morfológica externa de las características sexuales. Este procedimiento se llevó a cabo por personal capacitado, evaluando las diferencias anatómicas en la papila genital, forma del abdomen y otras particularidades propias del dimorfismo sexual en tilapias. Los individuos fueron clasificados en machos y hembras, y posteriormente distribuidos en jaulas independientes según su sexo. La separación por sexo tuvo como objetivo optimizar el rendimiento del cultivo, ya que se evita la reproducción indeseada y los machos generalmente presentan mejores tasas de crecimiento en comparación con las hembras y puede mejorar la eficiencia alimenticia y el bienestar animal.

Crecimiento II

En esta etapa los peces se sembraron en jaulas separadas por sexo, 270 hembra y 270 machos, a una densidad de 30 peces por m^3 para cada línea, esta fase tuvo una duración de 63 días que fueron alimentados con alimento balanceado flotante de 2.5 y 3.5 mm (Pedregal SilverCup®), formulado con un contenido proteico de 40%, de acuerdo con los requerimientos nutricionales específicos para tilapia en fase de engorda. La ración diaria se dividió en tres porciones distribuidas a lo largo del día, con ajustes realizados cada 15 días en función del valor de la biomasa obtenida en las biometrías.

En ambas etapas de crecimiento se realizaron biometrías cada 15 días para determinar el crecimiento de los peces y realizar los ajustes correspondientes en la alimentación. Durante cada muestreo se tomó una muestra representativa de peces por jaula (10% del total de cada jaula), seleccionados de forma aleatoria para evitar sesgos. Para la evaluación de los parámetros zootécnicos se realizaron las mediciones de Peso total (g) y longitud total (cm) y tras ser pesados y medidos, los peces fueron reintroducidos cuidadosamente en sus respectivas jaulas, estos datos permitieron calcular indicadores productivos:

Tasa de crecimiento diario (TCD)= Peso final – peso inicial/tiempo

Factor de conversión alimenticia (FCA)= Alimento ingerido/Biomasa

Factor de Condición (FC)= Peso/ $longitud^3$ x 100

Supervivencia (%) = Animales cosechados/animales sembrados x 100

Los datos obtenidos fueron capturados en Microsoft Excel y posteriormente analizados estadísticamente utilizando el software IBM SPSS Statistics 27.0. Se realizó una comparación entre líneas genéticas para cada indicador productivo mediante pruebas de ANOVA de una vía.

La cantidad diaria de alimento suministrado fue determinada con base en la biomasa total estimada en cada jaula, utilizando el tipo de alimento y porcentaje según la etapa del cultivo. La frecuencia de alimentación durante el crecimiento I fue de 4 veces al día y para el crecimiento II, 3 raciones, ajustando la cantidad de alimento en cada biometría.

Durante el desarrollo del trabajo, se llevó a cabo un monitoreo sistemático de los principales parámetros fisicoquímicos del agua, con el objetivo de garantizar condiciones óptimas para el crecimiento de los peces y minimizar factores de estrés que pudieran afectar los resultados, los parámetros medidos fueron temperatura, oxígeno disuelto, pH y concentración de nutrientes (NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-). Se realizaron recambios diarios del 20%, ajustado proporcionalmente a la biomasa presente en el sistema y se mantuvo en funcionamiento ininterrumpido el sistema de aireación mecánica, Todos los datos recolectados fueron registrados manualmente en hojas de bitácora específicas para cada jaula, al mismo tiempo, fueron digitalizados en archivos de formato Excel, lo que facilitó el análisis posterior y la elaboración de gráficas para la interpretación de los resultados.

Resultadosy discusión

Crecimiento I

Se evaluaron dos variables complementarias: la ganancia de peso acumulada y la tasa de crecimiento diario. Estos indicadores permiten comparar la eficiencia de crecimiento y el momento de mayor respuesta productiva de cada línea, aportando información clave para optimizar el manejo de alimentación, densidad y selección genética en sistemas de producción intensiva. La línea roja exhibe un crecimiento más constante y acumulado, mientras que la gris presenta una minoría moderada en la etapa inicial. Al final del periodo, ambas alcanzan pesos muy similares, lo cual sugiere que, aunque la roja es algo más eficiente a lo largo de todo el ciclo, la gris puede compensar retrasos intermedios.

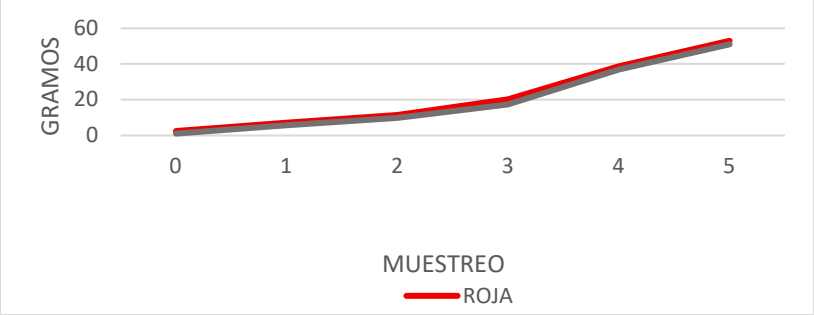


Figura 1. Ganancia de peso de ambas líneas en etapa de crecimiento I

Cuadro *1. Tasa de Crecimiento por muestreo de ambas líneas en etapa I*

Muestreo **Línea**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Roja	0.32	0.31	0.74	1.52	1.03
Gris	0.33	0.30	0.52	1.18	1.02

Nota: se realizó una evaluación quincenal de la tasa de Crecimiento que ambas líneas reflejaban expresada en g/día.

La línea roja presentó un valor de K de 2.11, mientras que la línea gris mostró un valor ligeramente inferior, de 2.05. Esta diferencia sugiere que, durante la fase de crecimiento evaluada, los organismos de la línea roja exhibieron una mejor conformación corporal o mayor índice de robustez en comparación con los de la línea gris.

Otro dato que se evaluó son los resultados de supervivencia obtenidos en las dos fases del crecimiento para las líneas de tilapia roja y gris donde la línea roja presentó un 66 % de supervivencia, frente al 68% de la Gris.

Durante la evaluación de la población de tilapias, se analizó la proporción de sexos de las dos líneas genéticas. Los resultados obtenidos evidencian diferencias notables en la distribución entre hembras y machos para cada línea. En la línea roja, se registró un total de 734 individuos, de los cuales 396 fueron hembras, lo que representa el 53.95% del total. Los machos, por su parte, fueron 338, equivalentes al 46.05%. Esta distribución indica un ligero predominio de hembras en esta línea genética. En contraste, la línea gris presentó una tendencia opuesta. De un total de 756 individuos evaluados, 363 fueron hembras (48.02%) y 393 machos (51.98%), evidenciando un leve predominio de machos. Estos resultados sugieren que existen diferencias en la proporción sexual entre ambas líneas genéticas de tilapia, lo cual podría estar relacionado con factores genéticos o condiciones ambientales durante el proceso de cría. Dichas diferencias deben considerarse al planificar estrategias de reproducción, dado que la proporción de sexos influye directamente en la eficiencia de producción y mejora genética en programas de cultivo acuícola.

Crecimiento II

El análisis de los resultados obtenidos en el estudio comparativo del crecimiento de tilapia roja y tilapia gris en el periodo de crecimiento II, se analizó en función del sexo de los individuos. En la línea de tilapia roja los machos exhibieron mayores pesos que las hembras durante toda esta etapa de crecimiento. El peso

final promedio para los machos rojos fue 159.9 g, y para las hembras rojas, fue 131.6 g. En la línea de tilapia gris, los machos mostraron consistentemente pesos mayores que las hembras en cada muestreo. El peso final promedio de los machos fue de 154.2 g, en comparación con 121.3 g para las hembras.
La tilapia roja hembra demostró un mayor peso que la tilapia gris hembra durante todo el crecimiento. Al inicio de esta etapa, las hembras rojas pesaron 49 g y las hembras grises 43 g. Al final del experimento, las hembras rojas promediaron 131.6 g, y las hembras grises promediaron 121.3 g. la tilapia roja macho exhibió pesos ligeramente mayores que la tilapia gris macho en cada muestreo. Los pesos iniciales fueron 56.3 g para los machos rojos y 54 g para los machos grises. Para el cuarto y último muestreo, los machos rojos alcanzaron un peso promedio de 159.9 g, mientras que los machos grises alcanzaron 154.2 g. La TACRE más alta se observó en los machos rojos (1.64), seguidos por los machos grises (1.59), las hembras rojas (1.31) y las hembras grises (1.24). La tasa de crecimiento confirma la tendencia observada en las gráficas anteriores: los machos de ambas variedades superan a las hembras en eficiencia de crecimiento. Particularmente, los machos de tilapia roja presentan la TACRE más alta del estudio (1.65 g/día), seguidos muy de cerca por los machos de tilapia gris (1.59 g/día). Las hembras, aunque con valores más bajos, también reflejan un mejor desempeño en la variedad roja. Se obtuvieron los promedios generales por línea: Línea Roja: 1.47 g/día y Línea Gris: 1.41 g/día
Aunque la línea Roja muestra un valor promedio ligeramente superior, se realizó una prueba t de Student para comparar ambas líneas y el resultado fue: Valor de p = 0.823, esto indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre ambas líneas en cuanto a su TACRE durante esta etapa ($p > 0.05$). Al igual que en el análisis del factor de condición, esto podría deberse al tamaño reducido de muestra (n=2 por línea), que limita la capacidad para detectar diferencias reales. Durante la fase de Crecimiento II, los valores del Factor de Condición (K) muestran diferencias marcadas entre líneas y sexos, lo que permite identificar tendencias relevantes en cuanto a la conformación corporal de los ejemplares.

Cuadro 2. Comparación del Factor de Condición presentado entre líneas en la etapa de crecimiento II.

Factor de condición (k) en crecimiento ii					
Linea	B1	B2	B3	B4	B5
Hembra roja	2.16	2.01	1.85	1.84	1.96
Macho roja	2.15	1.91	1.83	1.87	1.91
Hembra gris	1.47	1.96	1.98	1.91	1.96
Macho gris	1.38	1.96	1.97	1.81	1.89

La línea roja presentó un porcentaje de supervivencia del 82%, mientras que la línea gris mostró un porcentaje de supervivencia del 80%. Esto indica una ligera mayor supervivencia en la línea roja en comparación con la línea gris durante la etapa II.

Los resultados de obtenidos confirman la existencia de una clara influencia del dimorfismo sexual en el crecimiento de la tilapia, evidenciado por tasas de crecimiento superiores en machos de ambas líneas (roja y gris), en la segunda etapa de crecimiento. Este patrón es ampliamente respaldado por la literatura.
Alvarado-Ruiz (2015) encontró que, en jaulas flotantes, los machos de *Oreochromis niloticus* alcanzaron una ganancia diaria de 2.74 g, superando a las hembras (2.18 g/día), lo cual concuerda con los valores observados en el presente trabajo, donde los machos de la línea roja fueron superiores al alcanzar 1.64 g/día frente a 1.31 g/día en hembras. Aunque las tasas absolutas son más bajas en este desarrollo, la tendencia general se mantiene, lo que sugiere que el dimorfismo sexual es consistente incluso bajo diferentes condiciones ambientales y genéticas. Esta diferencia puede atribuirse a varios factores, incluyendo las condiciones de cultivo, la densidad de siembra, la calidad del agua, la composición de la dieta, y las características genéticas específicas de las poblaciones de tilapia utilizadas. Chakraborty et al. (2011) investigaron el crecimiento de tilapia nilótica monosexo y de sexo mixto en diferentes sistemas de cultivo (cisterna, flujo continuo, corrales y estanques), encontrando variaciones en las tasas de crecimiento que resaltan la influencia del ambiente de cultivo. En un contexto más amplio, la variación en el potencial

de crecimiento entre diferentes cepas de *Oreochromis niloticus* ha sido bien documentada (Lind et al., 2015; Ridha, 2006). Esto sugiere que, si bien el dimorfismo sexual es una constante biológica, la expresión fenotípica del crecimiento puede ser modulada significativamente por la interacción genotipo-ambiente. La ligera disparidad en el porcentaje de machos al inicio de la primera etapa (46% línea roja vs. 52% línea gris) podría, aunque de forma marginal, haber contribuido a las diferencias iniciales en el peso final, pero esta variabilidad se vuelve menos relevante una vez que la segregación por sexo permite una evaluación más precisa del potencial de crecimiento inherente a cada sexo.

Conclusiones

El presente estudio proporciona evidencia sólida sobre el rendimiento productivo de dos líneas de tilapia, roja y gris, criadas en jaulas flotantes. Se identificó una clara ventaja en crecimiento en los individuos machos de ambas líneas, confirmando el dimorfismo sexual ampliamente descrito en la literatura. La línea roja presentó una ligera ventaja en crecimiento, lo que sugiere una mejor adaptación o superioridad genética bajo las condiciones del ensayo.

La sobrevivencia fue alta en ambas líneas, especialmente en la segunda fase del experimento, lo cual respalda la viabilidad del sistema de jaula flotante como una alternativa eficiente y sustentable para la acuicultura de tilapia.

Aunque no se realizaron intervenciones hormonales, la proporción de sexos observada sugiere una tendencia natural que podría ser aprovechada o manipulada en futuros ciclos para maximizar el número de machos y con ello el rendimiento del sistema.

Este estudio no solo aporta datos relevantes para la comunidad científica y técnica, sino que también brinda herramientas prácticas para acuicultores y productores que buscan mejorar su productividad a partir de decisiones informadas sobre la línea genética, el manejo de sexos y el tipo de sistema de cultivo.

Referencias bibliográficas

Alvarado-Ruiz, C. (2015). Comparación del crecimiento de machos y hembras de la tilapia Oreochromis Niloticus cultivadas en jaulas. Uniciencia, 29(1). https://doi.org/10.15359/ru.29-1.1.

Chakraborty, S. B., Mazumdar, D., Banerjee, S., & Ross, L. G. (2011). Growth of mixed-sex and monosex Nile tilapia in different culture systems. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 11(1), 131–138. doi.org.

FAO. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. In El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. FAO. https://doi.org/10.4060/cc0461es.

Lind, C. E., Safari, A., Agyakwah, S. K., Attipoe, F. Y. K., El-Naggar, G. O., Hamzah, A., Hulata, G., Ibrahim, N. A., Khaw, H. L., Nguyen, N. H., Maluwa, A. O., Zaid, M., Zak, T., & Ponzoni, R. W. (2015). Differences in sexual size dimorphism among farmed tilapia species and strains undergoing genetic improvement for body weight. Aquaculture Reports, 1, 20–27. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.03.003.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2019). Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Productividad Pesquera y Acuícola para el ejercicio 2019. Diario Oficial de la Federación. http://www.dof.gob.mx/ Página 1 de 9.

Ridha, M. T. (2006). Comparative study of growth performance of three strains of Nile tilapia, Oreochromis niloticus, L. at two stocking densities. Aquaculture Research, 37(2), 172–179. doi.org.

AGROECOLOGÍA

IMPACTO EN EL CONTROL DE *FRANKLINELLA OCCIDENTALIS PERGANDE* (THISANOPTERA: THRIPIDAE) Y SU EFECTO EN LOS ENEMIGOS NATURALES

Mario Alberto Miranda-Salcedo[1]*, Saúl Pardo Melgarejo[1] y Esperanza Loera[2]

[1]Campo Experimental Valle de Apatzingán-CIRPAC-INIFAP.
[2]CUCRO-UACH, Morelia Mich.
*Autor por correspondencia: miranda.marioalberto@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Insecticidas, trips. cítricos, enemigos naturales.*

Introducción

El uso excesivo de aplicaciones químicas para el control de *Diaphorina citri* Kuwayama 1908 (Hemiptera: Liviidae), propicio la resurgencia de plagas secundarias como los trips, que ha afectado a todas las zonas citrícolas del país (Miranda-Salcedo *et al.,* 2019, 2020). Esta plaga afecta además de los cítricos a diferentes cultivos: mango, aguacate, berries y hortalizas (Hoddle, 1999; Johansen y Guzmán, 1998; Miranda-Salcedo *et al.,* 2019). La especie *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) es la más importante por los daños directos e indirectos que causa actualmente a los cítricos del valle de Apatzingán (Miranda-Salcedo *et al.,* 2019, 2020, 2021). Los trips son muy difíciles de controlar, debido a su compleja biología y amplio rango de hospederos (Mound, 1997). Sin embargo, para su control se usan productos de amplio espectro como organofosforados, piretroides, neonicotenoides y mezclas (Kay y Herron, 2010; Miranda *et al*., 2020) lo cual ha propiciado la eliminación de sus enemigos naturales y la selección de resistencia a una variedad de insecticidas de diferentes grupos toxicológicos (Desneux *et al*., 2007). El objetivo del presente estudio fue evaluar insecticidas de generación relativamente reciente para el control del complejo de especies de trips en limón mexicano.

Materiales y métodos

Se realizaron dos bioensayos en una huerta de limón mexicano de siete años de edad la cual se encuentra en las instalaciones del Campo Experimental del Valle de Apatzingan 102◦ 13´ 54´´ Longitud Oeste, 19◦ 00´ 51´´ Latitud Norte, 368 msnm de altitud y un clima BS1 cálido semi seco. El primer estudio inició el 9 de junio del año 2024 y los muestreos se prolongaron hasta los 44 días después de la aplicación. Se evaluaron los siguientes productos y dosis: 1) Flupyrafurone® (1.56 ml/l de agua); 2) Pyriproxifen® (1 ml/l de agua); 3) Pimetrozine® (1.5 ml/l de agua); 4) Flonicamid® (0.6 ml/l de agua); 5) Buprofezin® (4 ml/l de agua); 6) Tolfenpyrad® (2 ml/l agua); 7) Fenpiroxymate (3 ml/l de agua); 8) Spirotetramat® (1ml/l agua); 9) Ciantraniliprole® (0.8 ml/l agua); 10) Clorantraniliprole® (0.2 ml/l agua); 11) Extracto de Nim® mas aceite (4 ml mas 6 ml aceite / l de agua); 12) Extracto de nim mas diatomeas (4 ml mas 6 gr diatomeas/ l agua); 13) Silicio® (6 gr/l agua); 14) Caolín® (20 gr/l agua); 15) Serifel® *Bacillus amyloliquefaciens* (5 gr/l agua); 16) Sales potásicas® (6 gr/l agua) y Testigo absoluto® (agua). El segundo bioensayo se realizó el 17 de febrero de 2025 y los muestreos se prolongaron 49 después de la aplicación. Se evaluaron los siguientes productos y dosis: 1) Pyriproxyfen 1 ml/L agua (Pirizon); 2) Tolfenpyrad 1ml/L (Hachi-Hachi); Fenpiroxymate 1 ml/L (Portal); 4) Ciantraniliprole 0.4 ml/L (Coragen); 5) Flupyridifurone 0.5 ml/L (Sivanto); 6) Abamectina 3.8 0.4 ml/L (Rotamik); 7) Nim mas aceite 4+6 ml/L; 7) *Isaria fumorosa* (Cover) 1 ml /L; 9) *Metarhizium anisoplae* (Muska-D); 10) *Beauveria bassiana* (Baeva) 1 ml/L y 11) Testigo agua. En el primer bionsayo cada tratamiento constó de diez réplicas (cada árbol era una repetición) y se aplicó un litro del producto por árbol con mochila motorizadas, mientras que en el segundo cada tratamiento consto de 5 réplicas. Para cuantificar los especímenes se usó la técnica del golpeteo, la cual consistio en seleccionar una rama a una altura de 1.5 m, con un palo se daban tres golpes y los especímenes se cuantificaban en una tabla de color azul marino de 38x21 cm. Las variables de respuesta fueron: el número de trips, el número de crisopas, el número de coccinélidos, el número de fitoseidos y el número de antocoridos por unidad de muestreo. En el primer bioensayo se realizó un muestreo previo a la aplicación y a los 2, 8, 15, 20, 28, 35 y 44 días después de la aplicación. En contraste, en el segundo bioensayo los muestreos fueron a 1, 7, 14, 22, 29,35, 42 y 49 días después de la aplicación. los Se usó un diseño experimental completamente al azar y se

realizaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad a los datos, posteriormente se efectuó el ANOVA con la ayuda del programa estadístico SAS, la prueba de comparación de media utilizada fue la de Duncan (P≤ 0.05).

Resultados y discusión

Las condiciones ambientales del Valle de Apatzingán, favorecen la presencia durante todo el año de *F. occidentalis*, lo cual dificulta su manejo, sí solamente se sustenta en la aplicación de productos químicos. Por lo tanto, las aplicaciones con productos de amplio impacto no son efectivas y afectan más a sus enemigos que a la plaga (Miranda-Salcedo, 2019). Una mejor alternativa es el uso de insecticidas biorracionales, por que controlan a la plaga en un rango del 40 % y afectan menos a sus enemigos naturales. En el primer bioensayo, se observó que después de 8 días de aplicado el producto, los mejores tratamientos significativamente diferentes al resto de tratamientos fueron: el Spirotetramat, las Sales Potásicas y el Silicio. En general las densidades poblacionales fueron bajas, tomando en consideración que el umbral económico es de 7 trips por unidad de muestreo (Miranda *et al*., 2019, 2020). A los quince días post aplicación no se presentaron diferencias significativas, en contraste a los 20 y 29 días después de la aplicación todos los tratamientos fueron significativamente diferentes respecto al testigo. Varios de los insecticidas evaluados son una alternativa para el control de trips, que actualmente presenta resistencia a insecticidas convencionales, además de que afectan menos a los enemigos naturales. Por ejemplo, el Spirotretramat® impacto de manera significativamente en la presencia del enemigo más abundante, que fueron las crisopas, por lo cual algunos productos como las Sales Potasicas y el silicio tuvieron un buen control a esta densidad de la plaga, ya que pueden ser compatibles con enemigos naturales, bajo un programa de control biológico por conservación.
En el segundo bioensayo las poblaciones de trips estuvieron abajo del umbral económico que es de 7 trips por unidad de muestreo. No se observaron diferencias significativas en las diferentes fechas de muestreo (1, 7, 14, 22, 29, 35, 42 y 49 días después de la aplicación), además se realizó un análisis estadístico del promedio de las ocho fechas de muestreo y no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($F_{10,44}$; $P<0.1930$); la densidad estuvo en un rango de 0.24 a 0.35 trips por unidad de muestreo.
Las bajas poblaciones de trips, posiblemente se debieron a la presencia de enemigos naturales, por ejemplo: *Chrysoperla rufilabris, Cereochrysa cincta* (Neuroptera: Chrysopidae); *Stethorus* sp., *Hippodamia convergens, Olla v-nigrum* (Coleoptera: Coccinelidae) y el fitoseido *Phytoseius persimilis*. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para crisopas ($F_{10,44}$; $P<0.0.7200$), coccinélidos ($F_{10,44}$;$P<0.2000$), fitoseidos ($F_{10,44}$;$P<0.0.0655$) y arañas ($F_{10,44}$;$P<0.0646$).

Conclusiones

En el primer bioensayo los productos que controlaron significativamente mejor a los trips después de los ocho días fueron el Spirotetramat®. El Silicio y las Sales Potasicas. Después de los 21 y 29 días de aplicado los productos todos los tratamientos fueron mejores significativamente diferentes al testigo.
En el segundo bioensayo no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y las poblaciones estuvieron abajo del umbral económico.
Existe un amplio gremio de enemigos naturales que atacan al complejo de trips como: *C. rufilabris, C. cincta, Stethorus sp.,* el fitoseido *Phytoseius persimilis* y diferentes especies de arañas, pero no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Agradecimientos y fuente financiadora

Las investigaciones aquí reportadas fueron financiadas a través de los proyectos “Evaluación de insecticidas para el manejo del psílido asiático de los cítricos y desarrollo de una metodología para determina efectividad” y “Manejo biorracional de trips en limón mexicano en Michoacán”.

Referencias bibliográficas

Desneux, N., A. Decourtye and J. M. Delpuech. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. Annual Review Entomogy, 52: 81-106.

Hoddle, M. S. 1999. The biology and management of the avocado thrips, Scirtothrips perseae Nakahara (Thysanoptera: Thripidae). www.biocontrol.ucr.edu/avocadothrips.html.

Kay, I. R. and G. A. Herron. 2010. Evaluation of existing and new insecticides including spirotetramat and pyridalyl to control Frankliniella occidentalis (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on peppers in Queensland. Australian Journal of Entomology, 49: 175-181.

Johansen, R. M., A.G. Guzmán. 1998. The genus Scirrtotothrips Shull, 1909 (Thisanoptera: Tripidae, Sericotripini) in Mexico. Fol. Entomol. Mex. 104: 23-108.

Miranda-Salcedo, M.A. 2019. Manejo agroecológico de plagas de los cítricos en el valle de Apatzingán. Memoria XLII Congreso Nacional de Control Biológico, Veracruz. 37-49 pp.

Miranda-Salcedo, M.A., E. Loera-Alvarado y E. Cortez-Mondaca. 2019. Interacción de trips (Thysanoptera: Thripidae) y sus enemigos naturales en limón mexicano, en Michoacán. Memoria XLII Congreso Nacional de Control Biológico, Veracruz, Ver. 71-75 pp.

Miranda-Salcedo, M. A., C. Perales-Segovia, E. Costes-Mondaca, E. Loera-Alvarado y J. M. Miranda-Ramírez. 2020. Manejo Agroecológico de Frankliniella occidentalis Pergande (Thysanoptera: Thripidae) en limón mexicano en Michoacán. Entomología Mexicana 183-188 p.

Mound, L. A. 1997. Biological Diversity, pp. 1997-256. In: T. Lewis (ed). Trips as crp pests. CAB International, Londres, 740 p.

COMPORTAMIENTO DE FORRAJEO EN JAULA DE CAMPO DE *DORYCTOBRACON CRAWFORDI* (VIERECK) Y *DIACHASMIMORPHA LONGICAUDATA* (ASHMEAD) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE)

Mario Alberto Miranda-Salcedo[1]*, Martin Aluja[2], Ernesto González-Gaona[3] y Catarino Perales-Segovia[4]

[1]Campo Experimental Valle de Apatzingán-CIRPAC-INIFAP, Km 17 carretera Apatzingán-C. Caminos, Antunez Mich. C.P. 60781 tel. 018000882222 ext. 84601, [2]Instituto de Ecología A.C., Km 2.5 Antigua Carretera a Coatepec tel. 228 842 18 00.[3]Campo Experimental de Pabellones, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Aguascalientes, México, [4]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes México.
*Autor por correspondencia: miranda.marioalberto@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Parasitoides, moscas de la fruta, control biológico.*

Introducción

La coexistencia de especies de parasitoides que comparten los mismos recursos puede explicarse por varias razones entre las que destacan: a) las diferencias en la conducta de forrajeo (Vet y Bakker, 1985) y b) la variación espacial y temporal de la distribución de recursos (Hawkins, 2000). Estos factores pueden reducir las interacciones competitivas entre las especies (Mills, 2000). Por ejemplo, si el competidor superior (i.e., el de mayor agresividad intrínseca y extrínseca, virulencia y fecundidad) se agrega en parches con alta densidad de hospederos, se incrementa su competencia intraespecífica y el competidor inferior (i.e., el de menor agresividad y fecundidad) tiene mayor oportunidad de encontrar los parches con baja densidad de hospederos, donde el competidor superior esté ausente (Godfray, 1994). La coexistencia también se logra si el competidor inferior tiene mayor capacidad de búsqueda y puede encontrar refugios libres del competidor superior (Inouye, 1999). Hay también coexistencia si en el gremio de parasitoides existen diferencias en las preferencias de un área de recurso en particular o en el comportamiento de selección de hospederos (Vet y Bakker, 1985). En estudios recientes con parasitoides de moscas de la fruta se aportan evidencias de coexistencia en un gremio de parasitoides. Por ejemplo, Purcell *et al.,* (1994) registraron la presencia simultánea de *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead), *Biosteres arisanus* (Sonan) y *Tetrastichus giffardianus* (Silvestri), en huertos de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Hawaii. Los tres parasitoides explotan diferentes edades de madurez de larva y en distintos sitios del dosel. En el Estado de Veracruz, México, Sivinski *et al.* (1997), estudiaron la distribución espacial y temporal de cinco especies de parasitoides de larvas de *Anastrepha*, en siete especies de frutales y encontraron que el parasitismo de *Doryctobracon areolatus* (Szepligeti), *D. longicaudata* y *Utetes* (= *Bracanastrepha*) *anastrephae* (Viereck) fue superior en los sectores bajos de los árboles. *Doryctobracon areolatus* fue más abundante en los márgenes del dosel, a diferencia de *U. anastrephae* que mostró preferencia por el interior de los árboles de *Spondias* spp. También se registraron cambios del porcentaje de parasitismo a través del período fenológico de fructificación en *Doryctobracon crawfordi* (Viereck), *D. longicaudata* y *U. anastrephae. Doryctobracon areolatus* disminuyó su actividad conforme avanzó la época lluviosa y concluyó la época seca. Otro caso de interacciones competitivas entre un parasitoide introducido y una especie nativa es el descrito por Sivinski *et al*. (1997) quienes recuperaron adultos de la especie introducida *D. longicaudata* y de la nativa, *D. crawfordi*, a partir de los mismos frutos de guayaba (*P. guajava* L.) y sobre todo naranja dulce (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck). Con base en lo anterior, decidí estudiar esta interacción por la repercusión práctica, ya que estas dos especies de parasitoides se crían masivamente para el control de las moscas de la fruta del género *Anastrepha*. Conocer el comportamiento de forrajeo por hospederos de estas dos especies nos permitirá tomar decisiones en programas de liberación inundativa. Se puede suponer entonces que la interacción entre *D. longicaudata* y *D. crawfordi* es reciente y por ello el sistema se presta de manera muy especial para poner a prueba una serie de hipótesis sobre competencia y coexistencia.

Materiales y métodos

Con el fin de estudiar algunos elementos que conforman el comportamiento de forrajeo de *D. crawfordi* y *D. longicaudata* bajo condiciones de jaula de campo se realizaron tres experimentos: 1) preferencia por ovipositar en frutos a diferentes alturas, 2) respuesta funcional a diferente número de larvas por fruto y 3) parasitismo a diferente tiempo de exposición de frutos con larvas. Los experimentos se llevaron a cabo en Metapa de Domínguez, Chiapas, entre julio y agosto de 1998. Para realizar los experimentos, se usaron tres jaulas cilíndricas de tres metros de altura por tres metros de diámetro como las descritas por Calkins y Webb (1983). Dentro de la jaula se colocaron árboles de mango (*Mangifera indica* L.) (Anacardiaceae) y chicozapote (*Achras zapota* L.) (Sapotaceae) distribuidos uniformemente. La edad de las parejas que se utilizaron fue de cinco a diez días de edad y sin experiencia previa de oviposición en frutos de guayabas. Como unidad de oviposición se usaron frutos de guayaba los cuales se rellenaron con larvas de *A. ludens* de ocho días de edad. Los frutos se cubrieron con parafilm (Laboraty Film, American National Can/Tm, Greenwich, Conneticut, USA), para evitar que salieran las larvas. En el experimento de preferencia por ovipositar en frutos a diferentes alturas, se seleccionaron tres niveles (0, 90 y 180 cm), para tener mejor visibilidad y evitar que las ramas tuvieran contacto con la malla. En los experimentos sobre respuesta a diferente número de larvas por fruto y tiempos de exposición de frutos, se seleccionó el estrato de 180 cm de acuerdo con los antecedentes sobre el forrajeo en campo de cada especie. Aparentemente *D. crawfordi* prefiere forrajear en el árbol y *D. longicaudata* no muestra una preferencia por un estrato (Sivinski *et al.* 1997; López *et al*. 1999). Los frutos expuestos a 90 y 180 cm se colgaron del techo de la jaula, con hilos de coser y para fijarlos del techo se usó un “clip”. Para decidir el tipo de análisis se hicieron pruebas de normalidad y homocedasticidad a cada variable de respuesta. Debido a que los datos no se distribuyeron normalmente, se transformaron a rangos y se hicieron análisis de varianza de una y dos vías (Conover e Iman, 1981), para comparar el número de hembras posadas por fruto y el parasitismo en función de los factores: preferencia por estrato, densidad de larva por fruto y tiempo de exposición de los frutos. Se utilizó la prueba de Scheffé, para efectuar las comparaciones pareadas entre tratamientos (Statistica, 1984).

Resultados y discusión

Los resultados muestran que *D. crawfordi* forrajea en el estrato superior del dosel, mientras que *D. longicaudata* forrajea en los tres estratos y además parasita larvas en el suelo, hecho que no se constató en el caso de *D. crawfordi*. Con base en lo anterior se corrobora la posible interacción competitiva entre ambas especies, ocasionada por las características del comportamiento de forrajeo de *D. longicaudata*. Bajo condiciones de jaula de campo, las hembras de *D. longicaudata* pueden forrajear en los tres estratos, aún cuando bajo condiciones naturales forrajean principalmente en el estrato inferior, por lo que los resultados obtenidos no se pueden generalizar a lo que ocurre en campo (Sivinski *et al*., 1997). Adicionalmente, los resultados señalan que las hembras de *D. longicaudata* pelean entre sí al momento de forrajear en el estrato inferior, afectando su adecuación o parasitismo (Montoya *et al.,* 2000). Este hecho se constató al comparar los resultados del parasitismo de ambas especies estudiadas aquí. En el caso de *D. longicaudata* existe un decremento del parasitismo en presencia de coespecíficos, en comparación con los resultados obtenidos en presencia de *D. crawfordi*. Estos resultados coinciden con los obtenidos en los estudios de interacciones competitivas y de demografía bajo condiciones de laboratorio, lo cual aporta evidencias adicionales sobre la posible competencia entre ambas especies. En *D. crawfordi* se puede especular que existe una historia de interacción y probable competencia con el gremio de parasitoides nativos. Sin embargo, al ocupar un recurso sin explotar, producto de la introducción de diferentes especies de cítricos en América, las interacciones se presentaron principalmente en frutales nativos, como guayaba *Psidium guajava,* guayaba tejón *P. sartorianum,* guayaba ácida *P. guineense,* cacao silvestre *Tapirira mexicana,* y pomarrosa *Syzygium jambo,* porque los parasitoides nativos *D. aerolatus* y *U. anastrephae* raramente forrajean en cítricos (López *et al*., 1999). Posteriormente, con la introducción de *D. longicaudata,* se generaron nuevas interacciones con el gremio de parasitoides nativos. En este caso, la interacción competitiva entre *D. crawfordi* y *D. longicaudata* ocurre en el hospedero exótico *Citrus sinensis,* originario de la misma región de donde proviene *D. longicaudata* al explotar mejor el recurso, producto de su mayor fecundidad y agresividad.

Los resultados indican que bajo condiciones de jaula de campo *D. longicaudata* y *D. crawfordi* no presentan densa dependencia en respuesta a cambios en la densidad de larvas por fruto. En el caso de *D. longicaudata,* estos resultados difieren a los obtenidos bajo condiciones de laboratorio, donde sí incrementa su tasa de ataque, tanto en presencia de no competencia (una hembra por jaula), como de competencia intraespecífica (tres hembras por jaula) (Montoya *et al.,* 2000). Estas diferencias pueden explicarse por el hecho de que los estudios de laboratorio en muchas ocasiones arrojan resultados preliminares que pueden variar bajo condiciones de campo (Stiling, 1987). En este caso, al trabajar bajo condiciones más naturales, se observó un patrón diferente. Las diferencias observadas, posiblemente se deban: 1) a que el tamaño de la arena en condiciones de laboratorio es más pequeño y los parasitoides permanecen más tiempo en el mismo parche (van Lenteren y Bakker, 1978), 2) a que bajo condiciones seminaturales los parasitoides no tenga la misma capacidad de ataque, en comparación a condiciones de laboratorio (Stiling 1987) y 3) a la protección que tienen las larvas hospederas dentro de los frutos que incrementa el tiempo de búsqueda (Hawkins, 2000). En contraste, *D. crawfordi* tanto en condiciones de laboratorio, como de jaula de campo no responde a cambios en la densidad de su hospedero. Lo anterior, posiblemente se debe a que es una especie que presenta limitación de huevos y requiere un mayor tiempo o manipuleo del hospedero (Rosenheim, 1996) y al efecto interespecífico. Este estudio abre la posibilidad de diseñar nuevas líneas de investigación en programas de liberaciones por aumento en México, al utilizar especies nativas y no depender como hasta la fecha de enemigos naturales exóticos, cuyo impacto en el control de moscas de la fruta en diferentes regiones y en el caso particular de México ha sido limitado (Sivinski *et al*., 1997; Aluja, 1999).

Agradecimientos y fuente financiadora

Las investigaciones aquí reportadas fueron financiadas a través de la beca de doctorado en el Instituto de Ecología de la UNAM (1995-1999).

Referencias bibliograficas

Aluja, M. 1999. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) research in Latin America: myths, realities and dreams. An. Soc. Entomol. Brasil 28: 565-594.

Calkins, C. O. & J. C. Webb. 1983. A cage and support framework for behavioral tests of fruit flies in the field. Fla. Entomol. 66: 512-514.

Godfray, H. C. J. 1994. Parasitoids Behavioural and Evolutionary Ecology. Princeton University Press. N.J., USA.

Hawkins, B. A. 2000. Species coexistence in parasitoid communities: does competition matter? pp. 198-213. En Parasitoid Population Biology. M. E. Hochberg & A.R. Ives (eds.). Princeton University Press. N.J. USA.

Inouye, B. D. 1999. Integrating nested spatial scales: implications for the coexistence of competitors on a patchy resource. J. Anim. Ecol. 68: 150-162.

López, M., M. Aluja & J. Sivinski. 1999. Hymenopterous larval-pupal and pupal parasitoids of Anastrepha flies (Diptera: Tephritidae) in Mexico. Biol. Control 15: 119-129.

Montoya, P., P. Liedo, B. Benrey, J. F. Barrera, J. Cancino & M. Aluja. 2000. Functional response and superparasitism by Diachasmimorpha longicaudata (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of fruit flies (Diptera: Tephritidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 93: 47-54

Purcell, M. F. 1998. Contribution of biological control to integrated pest management of tephritid fruit flies in the tropics and subtropics. Integr. Pest Manag. Rev. 3: 1-21.

Rosenheim, J. A. 1996. An evolutionary argument for egg limitation. Evolution 50: 2089-2094.

egg load and survival. Behav. Ecol. 8: 226-232.

Sivinski, J., M. Aluja & M. Lopez. 1997. Spatial and temporal distribution of parasitoids of Mexican Anastrepha species (Diptera: Tephritidae) within the canopies of fruit trees. Ann. Entomol. Soc. Am. 90: 604-618.

Statistica. 1984. StatSoft Inc., 5.1 Tulsa Okla., USA.

Stiling, P. D. 1987. The frequency of density dependence in insect host-parasitoid systems. Ecology 68: 844-856.

van Baalen, M. 2000. The evolution of parasitoid egg load, pp. 103-120. En Parasitoid Population Biology. M. E. Hochberg & A. R. Ives (eds.). Princeton University Press. London, U. K.

Vet, L. E. M. & K. Bakker. 1985. A comparative functional approach to the host detection behaviour of parasitic wasps. II. A quantitative study on eight eucoilid species. Oikos 44: 487-498.

EVIDENCIAS DE CAMBIO DEL PATRON DE LLUVIAS Y EFECTO DEL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO), EN LA FRANJA AGUACATERA DE MICHOACÁN

Luis Mario Tapia Vargas[1]*, Adelaida Stephany Hernández-Valencia[2], Anselmo Hernández Pérerz[1].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP_CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Av. Latinoamericana 1101 C.P. 60150, Uruapan, Mich. México. [2]Colegio de Postgraduados. Instituto de Fitosanidad. Carr. México-Texcoco Km. 32.5 Montecillo, Edo. De México C.P: 56230.
*Autor para correspondencia: tapia.luismario@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Lluvias máximas, intensidad y cantidad, El Niño.*

Introducción

El cultivo del aguacate es el más importante de México y del estado de Michoacán por los ingresos que genera, que ascienden a más de 41,000 millones de pesos, en una superficie sembrada de 182 mil ha, esto le hace el cultivo de mayor valor económico del país, ningún cultivo horto-frutícola comercial le supera (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, 2024). El aguacate es un cultivo que requiere temperaturas frescas todo el año y lluvias de al menos 1000 mm por año (Salazar *et al*., 2007), de preferencia no torrenciales, ya que pueden ocasionar caída de fruto y por tanto ´pérdidas económicas. sin embargo, en años recientes existe la percepción de que hay menos cantidad de lluvia, o el patrón de la intensidad ha cambiado, todo ello con respecto a tiempos del siglo pasado o bien que los efectos de El Niño Osilación del Sur (ENSO), aún a miles de kilómetros, tienen efecto en el patrón de lluvias que afectan a México en general y a la franja aguacatera de Michoacán en particular, lo cual usualmente se traduce en lluvias o sequías más intensas, dependiendo de la región geográfica (Magaña, 1999). El Objetivo de este trabajo fue determinar la existencia del cambio climático con énfasis en la precipitación y la influencia de ENSO en el patrón de lluvias torrenciales que causan destrozos en la región aguacatera.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Campo Experimental Uruapan, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los datos evaluados fueron los registros de lluvia de la Estación Climática del INIFAP, los cuales datan desde 1963 a la fecha. Se compararon dos periodos de lluvia por año del periodo (A), 1963-1972 del siglo XX, con los datos del periodo (B) 2016-2025 del siglo XXI (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de lluvia total (mm) del intervalo mayo-octubre de los periodos de tiempo 1963-1972 y 2016-2025 de la estación climática del INIFAP en Uruapan, Mich.

Años	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	Media
Lluvia (mm)	1439	1388	1288	1659	1270	1570	1458	1827	1712	1560	1617
Años	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Lluvia (mm)	1490	1383	1288	1716	1373	2508	1434	1160	1490	1399	1524

Con esta información, se procedió a dividir y agrupar las lluvias de cada día en tres rangos: <10 mm (intensidad baja), >10<30 (intensidad media) y >30 mm (intensidad alta), aplicando el estadístico Xi^2 (Xi Cuadrada), que permite determinar si existe diferencia entre las cantidades de lluvia registrada 24 horas para dos periodos de tiempo evaluados:

$$Xi^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i}$$

Donde: $\theta_{i=}$ Valores observados de lluvia (mm); e_i= valores esperados de lluvia

El efecto de El Niño Oscilación del Sur (ENSO), en el incremento de lluvias máximas en 24 horas, en el estado de Michoacán se analizó gráficamente, de acuerdo a la disponibilidad de información del calentamiento de la superficie marina en el Perú (Stockdale, 2026). La intensidad del niño se mide comparando la temperatura promedio mensual actual, con un promedio basado en 30 años de información, si es positiva es efecto Niño o negativa que es efecto Niña. El efecto niño es catastrófico a nivel global (Stockdale, 2026). Para este trabajo se tomaron las anomalías reportadas para comparar con los eventos máximos de lluvia en la regio aguacatera de Michoacán.

Resultados y discusión

Los valores totales de lluvia acumulados en 10 años de registro,1963-1972 y 2016-2025, observados para las variables intensidad y días con lluvia (Cuadro 2). Como se aprecia en el siglo pasado, las lluvias claramente eran de menor intensidad, predominando las lloviznas de menos de 10 mm y por el contrario, las lluvias más intensas (>30 mm) corresponden al periodo reciente 2016-2025, en esta variable se obtuvo con el análisis estadístico $Xc^2 = 419.1 **$, ello indica, que las lluvias en 24 horas son mayores de 30 mm en el siglo actual, en una cantidad de 1000 mm en diez años, es decir 100 mm más por año, estas lluvias de alta intensidad tienen un mayor poder destructivo, de erosión y de destrozos de infraestructura y áreas urbanas. Es notable que los valores totales de intensidad total de lluvia, son también diferentes con 16,114 mm para el periodo 1963-1972 y de 15,114 para el periodo 2016-2025.
Estos resultados indican que el periodo (2016-2025), anualmente se registran 100 mm menos de lluvia, lo cual si puede afectar los requerimientos de agua del aguacate y la recarga de los acuíferos de toda la franja. El número de días con lluvia también fue significativo con $Xc^2 = 241.1 **$, que indica que en el periodo (1963-1972), se tenían 107.7 días de lluvia por año, mientras que en el periodo 2016-2025 se presentan sólo 90 días de lluvia por año, lo que significa que, aunque haya semejante cantidad de lluvia, en el periodo 2016-2025 se han perdido casi 18 días de lluvia, lo que refuerza el carácter desastroso del temporal en la zona aguacatera de Michoacán. Las diferencias en cantidad de lluvia son de 16.7% más alto en el periodo 1963-1972, con respecto al periodo reciente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores acumulados a 10 años de Intensidad de lluvia y número de días con lluvia en la zona aguacatera de Michoacán.

Período	Intensidad de lluvia (mm) Observados				Período	Número de días con lluvia mm) Observados			
	<10	>10<30	>30	Total		<10	>10<30	>30	Total
1963-72	2725.0	6977.1	6411.9	16114.0	1963-1972	557	383	137	1077
2016-25	1544.2	6156.0	7414.1	15114.3	2016-2025	403	357	142	902
Total	4269.2	13133.1	13826.0	31228.3	Total	960	740	279	1979

Diferencias en el patrón de lluvias, no sólo se ha hecho presente en la zona aguacatera de Michoacán, el fenómeno del niño localizado en las costas de Perú también ha hecho efecto en la franja aguacatera. La Figura 1, presenta la relación de El Niño, con los eventos máximos de lluvia, lo que se puede apreciar en 11 ocasiones de manera clara, destacando el evento máximo de lluvia de más de 250 mm en 2010, el cual fue catastrófico en la zona aguacatera con destrucción de infraestructura y accidentes mortales. El análisis anterior demuestra que en el periodo reciente (2016-2025), por la anomalía del patrón de lluvias han aumentado las lluvias de alta intensidad y en combinación con la presencia de ENSO, hasta la fecha se tienen las lluvias de más alta intensidad, de más de 150 mm en 24 horas.

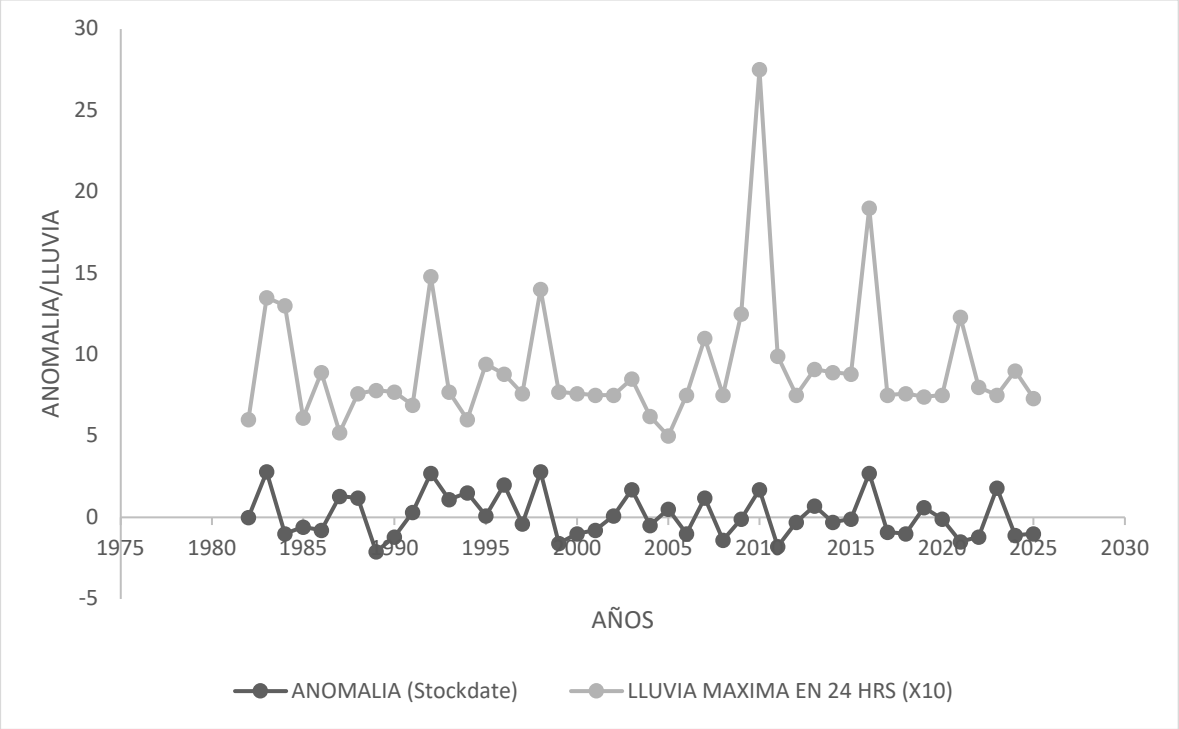


Figura 1. Anomalías en la precipitación promedio diaria anual y la relación entre el fenómeno de El Niño (ENSO) y la lluvia máxima en 24 horas en la franja aguacatera de Michoacán

Conclusiones

El patrón de lluvias en la zona aguacatera de Michoacán presenta tendencia a registrar más de lluvia de alta intensidad (>100 mm año^{-1}) y menos cantidad de lluvia de baja intensidad (>110 mm año^{-1}), en el periodo 2016-2025, respecto al periodo 1963-1972. Asimismo, el número de días con lluvia en el periodo 1963-1972, también es muy definido con 17 días más de lluvia, con relación al periodo 2016-2025. Existe relación entre el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur y el incremento de lluvias torrenciales de más de 100 mm en 24 horas en la franja aguacatera de Michoacán

Referencias bibliográficas

Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. 2024. Dirección General del Sistema de Información Agricola y Pecuaria. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/.

Magaña R.O. 1999. Los Impactos de El Niño en México. Secretaría de Gobernación. Dirección General de Protección Civil. 242 pp.189-204.

Salazar G.S., Isidro José Luis González-Durán, L.M. Tapia Vargas. 2011. Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate 'Hass' en Michoacán, México. Revista Chapingo, Serie Horticultura. 17(2):183-194.

Stockdale, T. 2026. Medición de fuerza de El Niño: introducción de índices del Niño Relativo. ECMWF. https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/science-blog/2026/measuring-strength-el-nino.

EFICACIA DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS CONTRA *DOLICHOTETRANYCHUS FLORIDANUS* EN PLANTAS DE PIÑA BAJO INVERNADERO

Gerardo Montiel-Vicencio[1]*, Ma. Teresa Santillán-Galicia[2], Ariel Wilbert Guzmán-Franco[2] y Nain Peralta-Antonio[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla, carretera federal Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz, México, C.P. 91700; [2]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Fitosanidad, Entomología y Acarología, carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56264.

*Autor para correspondencia: montiel.gerardo@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Acarología, control biológico, manejo integrado, tenuipalpidae.*

Introducción

La piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.) es uno de los cultivos tropicales de mayor relevancia económica para México y su producción se concentra principalmente en el estado de Veracruz. Entre los problemas fitosanitarios del cultivo se encuentra el ácaro *Dolichotetranychus floridanus* (Banks) (Acari: Tenuipalpidae), cuyas colonias se establecen en las areas basales y no clorofílicas de las hojas. La alimentación del ácaro ocasiona oxidación y necrosis del tejido, debilitamiento de la planta y deterioro de su condición fisiológica. La disposición compacta y superpuesta de las hojas de piña, además de ofrecer refugio a la plaga, dificulta el monitoreo y la cobertura uniforme de los tratamientos aplicados sobre el follaje (Das *et al*., 2001; Uriza Ávila *et al*., 2018).

El manejo de *D. floridanus* generalmente se realiza con acaricidas sintéticos. Esta estrategia puede reducir con rapidez las infestaciones, pero su empleo reiterado aumenta el riesgo de selección de resistencia, residuos y afectación de la fauna benéfica. Los hongos entomopatógenos constituyen una alternativa de interés porque infectan a los artrópodos por contacto: sus conidios se adhieren al tegumento, germinan y penetran la cutícula, de modo que no requieren ser ingeridos por la plaga. Sin embargo, la eficacia depende de la virulencia del aislamiento, la concentración y viabilidad del inóculo, la cobertura de aplicación y las condiciones de temperatura, humedad y radiación presentes en el microhábitat.

Evaluaciones preliminares en arenas de laboratorio mostraron que los aislamientos *Isaria fumosorosea* Pfr4 y *Metarhizium anisopliae* Ma129 infectan a *D. floridanus*, (Montiel-Vicencio *et al*., 2025). No obstante, los ensayos sobre discos foliares eliminan gran parte de la complejidad estructural de la planta y aseguran un contacto más uniforme entre los conidios y los ácaros. Por ello, fue necesario determinar si esa actividad se mantenía en plantas completas, donde las colonias ocupan espacios protegidos entre las bases foliares y el inóculo está sujeto a condiciones ambientales más variables. El objetivo de este estudio fue comparar la eficacia de *I. fumosorosea* Pfr4 y *M. anisopliae* Ma129 para reducir la abundancia de huevos, inmaduros y adultos de *D. floridanus* en plantas de piña bajo condiciones de invernadero. Se planteó que ambos hongos disminuirían la población del ácaro, pero que la magnitud de la respuesta dependería del aislamiento y del estadio de desarrollo evaluado.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (19.4907° N, 98.8937° O). Se utilizaron plantas de piña de aproximadamente 400 g, infestadas con *D. floridanus* y procedentes de plantaciones comerciales de la localidad Los Robles, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Las plantas se establecieron individualmente en macetas de 5.5 L con una mezcla de peat moss y agrolita en proporción 70:30 (v/v). Durante el estudio se registraron la temperatura y la humedad relativa del invernadero para documentar las condiciones semicontroladas en las que se desarrolló la evaluación.

Los aislamientos *I. fumosorosea* Pfr4 y *M. anisopliae* Ma129, preservados a -20 °C en crioviales con glicerol al 10 %, se reactivaron en agar dextrosa Sabouraud. Después de 15 días de incubación a 25 °C y oscuridad, los conidios se recuperaron con Tween 80 al 0.03 %. La concentración se determinó mediante cámara de

Neubauer y las suspensiones se ajustaron a 1 × 10^8 conidios mL^{-1}. Para ambos aislamientos se utilizó inóculo con germinación igual o superior a 90 %.
Se evaluaron cuatro tratamientos: *I. fumosorosea* Pfr4, *M. anisopliae* Ma129, Tween 80 al 0.03 % como control del surfactante y un testigo absoluto sin aplicación. Las suspensiones se aplicaron con una torre de aspersión instalada dentro de una cámara de acrílico de 150 × 50 × 50 cm y calibrada a 25 psi. Cada planta recibió 10 mL de la suspensión correspondiente. Se realizaron dos aplicaciones, separadas por un intervalo de ocho días.
La unidad experimental fue una planta establecida en maceta. Cada tratamiento contó con seis repeticiones y el experimento se realizó en tres ocasiones independientes. Ocho días después de la segunda aplicación, las plantas se trasladaron al laboratorio y se cuantificó en toda la planta el número de huevos, inmaduros y adultos de *D. floridanus*. El diseño correspondió a bloques completamente al azar. Los conteos de cada estadio se analizaron mediante modelos lineales mixtos generalizados con distribución Poisson y función de enlace logarítmica; el tratamiento y el estadio de desarrollo se consideraron efectos fijos, mientras que el bloque y la repetición temporal se incorporaron como efectos aleatorios. La significancia estadística se evaluó con $\alpha = 0.05$. Adicionalmente, la reducción porcentual de cada tratamiento se calculó respecto al testigo absoluto para expresar la magnitud biológica del efecto.

Resultados y discusión

Los tratamientos con hongos entomopatógenos modificaron la abundancia de *D. floridanus* en los tres estadios evaluados. *I. fumosorosea* Pfr4 registró los menores conteos de adultos, inmaduros y huevos; *M. anisopliae* Ma129 mostró valores intermedios, mientras que Tween 80 al 0.03 % y el testigo absoluto presentaron las poblaciones más altas y no difirieron estadísticamente entre sí (Cuadro 1). Este patrón indica que la disminución observada con los hongos no se explicó por el surfactante ni por el procedimiento de aspersión, sino por la actividad de los aislamientos.

Cuadro 1. Abundancia media por planta y reducción porcentual de *Dolichotetranychus floridanus* después de dos aplicaciones de hongos entomopatógenos en invernadero.

Tratamiento	Adultos	Inmaduros	Huevos
Isaria fumosorosea Pfr4	618.1 c (54.4)	371.7 c (56.5)	196.6 c (69.4)
Metarhizium anisopliae Ma129	882.4 b (34.9)	586.9 b (31.3)	508.2 b (20.8)
Tween 80 al 0.03 %	1071.0 a (21.0)	717.2 a (16.0)	600.4 a (6.5)
Testigo absoluto	1356.4 a	854.0 a	641.9 a

Valores entre paréntesis: reducción (%) respecto al testigo absoluto. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

I. fumosorosea redujo la abundancia de adultos, inmaduros y huevos en 54.4, 56.5 y 69.4 %, respectivamente. En contraste, *M. anisopliae* produjo reducciones de 34.9 % en adultos, 31.3 % en inmaduros y 20.8 % en huevos. La superioridad de Pfr4 en las tres categorías confirma que la eficacia no puede atribuirse únicamente a la concentración de conidios, ya que ambos hongos se aplicaron a la misma dosis y con viabilidad comparable. Las diferencias pueden relacionarse con atributos propios del aislamiento, como la adhesión y germinación de los conidios, la velocidad de penetración y colonización del hospedero, o una mayor compatibilidad con el microclima formado entre las hojas de la piña.
La mayor reducción relativa se observó en los huevos tratados con *I. fumosorosea*. Debido a que la evaluación cuantificó la población presente ocho días después de la segunda aplicación, este resultado integra distintos procesos: mortalidad de hembras, disminución de la oviposición, interrupción del desarrollo embrionario y cambios en la supervivencia de los estadios que originan nuevos adultos. Por tanto, el diseño no permite atribuir toda la reducción a un efecto ovicida directo. En otros ácaros fitófagos se ha comprobado que algunos hongos pueden penetrar la cubierta del huevo y alterar el embrión, pero la intensidad del efecto depende de la especie y del aislamiento (Zhang *et al.*, 2014). Se requieren bioensayos dirigidos

específicamente a huevos de *D. floridanus* para separar la mortalidad embrionaria del efecto indirecto ocasionado por la reducción de hembras y de su fecundidad.

El desempeño de Pfr4 en plantas completas es relevante porque *D. floridanus* ocupa un microhábitat difícil de alcanzar. Las bases foliares superpuestas pueden dificultar la entrada de las gotas, aunque también protegen a los conidios de la radiación directa y pueden conservar humedad por más tiempo. La humedad favorece la germinación, mientras que la radiación ultravioleta y la desecación reducen la viabilidad y persistencia de los hongos entomopatógenos (Braga *et al*., 2015). La respuesta obtenida representa, por ello, el resultado conjunto de la virulencia del aislamiento, la tecnología de aplicación y las condiciones ambientales dentro de la roseta que forman las hojas de la planta de piña.

M. anisopliae Ma129 también disminuyó las poblaciones, pero su efecto fue menor y especialmente limitado sobre huevos. Esta respuesta no invalida a la especie como agente de control, ya que existe variación amplia entre aislamientos en virulencia, tolerancia ambiental y persistencia sobre el follaje. Los resultados resaltan que la selección debe realizarse a nivel de aislamiento y no solo de especie. Asimismo, la ausencia de diferencias entre Tween 80 y el testigo absoluto demuestra que el surfactante empleado no produjo por sí mismo una disminucion importante del ácaro.

El invernadero constituye una etapa experimental más cercana a la realidad que se observaría en campo, que, en las arenas usadas en condiciones de laboratorio, pero aún no reproduce la exposición a lluvia, radiación solar intensa, fluctuaciones térmicas y crecimiento continuo del follaje presentes en plantaciones comerciales. En consecuencia, la eficacia observada no debe extrapolarse directamente como una recomendación de campo. Los siguientes pasos deben incluir la evaluación de Pfr4 en parcelas de piña, el seguimiento de la persistencia del inóculo, la optimización del volumen y momento de aplicación y la verificación de su compatibilidad con ácaros depredadores y otros organismos benéficos. Aun con estas limitaciones, la reducción simultánea de huevos, inmaduros y adultos demuestra que *I. fumosorosea* posee potencial para incorporarse a programas de manejo integrado de *D. floridanus* y disminuir la dependencia de acaricidas sintéticos.

Conclusiones

Isaria fumosorosea Pfr4 fue el aislamiento más eficaz contra *Dolichotetranychus floridanus* en plantas de piña bajo invernadero. Después de dos aplicaciones, redujo 54.4 % los adultos, 56.5 % los inmaduros y 69.4 % los huevos respecto al testigo absoluto. *Metarhizium anisopliae* Ma129 produjo una supresión moderada, pero consistentemente inferior. Los resultados identifican a Pfr4 como candidato prioritario para su validación en plantaciones comerciales; pero es recomendable definir su persistencia, la tecnología de aplicación y su compatibilidad con otros agentes de control biológico.

Referencias bibliográficas

Braga, G. U. L., Rangel, D. E. N., Fernandes, E. K. K., Flint, S. D. y Roberts, D. W. 2015. Molecular and physiological effects of environmental UV radiation on fungal conidia. Current Genetics 61: 405-425. https://doi.org/10.1007/s00294-015-0483-0

Das, T. K., Sarkar, P. K., Dey, P. K. y Somchoudhury, A. K. 2001. The chemical basis of resistance of pineapple plant to *Dolichotetranychus floridanus* Banks (Prostigmata: Tenuipalpidae). Acarologia 41: 317-320.

Montiel-Vicencio, G., Santillán-Galicia, M. T., Guzmán-Franco, A. W. y Peralta-Antonio, N. 2025. Susceptibilidad de *Dolichotetranychus floridanus* (Acari: Tenuipalpidae) a la infección por hongos entomopatógenos y a la depredación por *Neoseiulus californicus*. En: Memorias del VI Congreso Nacional de Entomología Aplicada. Academia Mexicana de Entomología Aplicada, Puerto Vallarta, Jalisco, México, pp. 23-25.

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. CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

Zhang, L., Shi, W. B. y Feng, M. G. 2014. Histopathological and molecular insights into the ovicidal activities of two entomopathogenic fungi against two-spotted spider mite. Journal of Invertebrate Pathology 117: 73-78. https://doi.org/10.1016/j.jip.2014.02.005.

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE *Canavalia ensiformis* EN CONDICIONES DE TEMPORAL MANEJADO CON DIFERENTES ABONOS VERDES EN ROTACIÓN DE CULTIVO

Nain Peralta-Antonio[1]*, Andrés Rebolledo-Martínez[1], Juan Guillermo Cruz Castillo[2], María Enriqueta López-Vázquez[1] y Gerardo Montiel Vicencio[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Medellín de Bravo, Ver. C.P. 91700, México; [2]Centro Académico Huatusco. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 6.2 Carretera Huatusco-Xalapa. Huatusco, Veracruz. México. 94100.
*Autor para correspondencia: peralta.nain@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Fijación biológica de nitrógeno, Crotalaria juncea, Sesbania sp., fertilización sustentable.*

Introducción

Las leguminosas utilizadas como abono verde aportan nitrógeno al sistema principalmente mediante fijación biológica, y su descomposición en el suelo libera nutrientes a una velocidad que depende de la calidad bioquímica del residuo, en particular de su relación carbono: nitrógeno: residuos con menor relación C:N se mineralizan más rápidamente y liberan nutrientes en una ventana de tiempo más cercana a la demanda del cultivo siguiente (Watthier et al., 2022). En sistemas de rotación tropicales, esta sincronía entre liberación de nutrientes y requerimiento nutrimental del cultivo subsecuente se ha señalado como un factor tan relevante como la cantidad total de biomasa incorporada, particularmente cuando la especie de abono verde se encuentra en etapa vegetativa o de floración temprana al momento de su incorporación, condición asociada a una mayor concentración de nitrógeno en los tejidos. En la región de Cotaxtla, Veracruz, estudios previos han caracterizado la producción de biomasa de leguminosas como la *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis*, *Sesbania* sp., otras especies del género *Crotalaria* y también del género *Mucuna* bajo condiciones de temporal (Peralta-Antonio et al., 2024; 2025), lo que ha consolidado a la cantidad de biomasa como el criterio predominante para seleccionar la especie de abono verde a utilizar en estos sistemas de rotación. Una limitante actual de la tecnología de abonos verdes en México es la disponibilidad de semillas. Específicamente, la *C. ensiformis* es una especie que se adapta a diversas condiciones edafoclimáticas, tolera patógenos y plagas, además, la semilla tiene la capacidad de mantener su viabilidad aun manteniéndola en condiciones de temperatura ambiente. Estas características la convierten en una excelente opción como abono verde para ambientes tropicales y en condiciones de temporal. Por esta razón, el objetivo fue estimar la producción de biomasa seca de *C. juncea*, *C. ensiformis*, *Sesbania* sp. y arvenses locales establecidas al inicio de las lluvias y utilizadas como abono verde, así como determinar el efecto de esta biomasa sobre la densidad, producción de biomasa aérea y rendimiento de semillas de *C. ensiformis* en condiciones de temporal con la finalidad de identificar una leguminosa potencial para ser usada en el sistema de rotación de cultivos, en ambientes tropicales de Veracruz, México.

Materiales y métodos

En el Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP (18°55'57.0"N 96°11'31.9"W) se establecieron las leguminosas *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* y *Sesbania* sp (19/07/2025) para ser utilizadas como abonos verdes. Se utilizaron surcos con distanciamiento de 0.8 m. El suelo se clasifica como franco-arcilloso, con pH de 5.8 y 2.52% de materia orgánica. Cada especie se consideró como un tratamiento, adicionalmente se adicionó un testigo que consistió en únicamente la presencia de maleza local principalmente *Cyperus rotundos* y *Sorghum halpense*. El diseño experimental fue en parcelas divididas, con tres repeticiones. La unidad experimental constó de 12 surcos de 3 m lineal. No se realizó ninguna práctica agronómica adicional. Transcurridos 57 días después de la siembra, se realizó un muestreo destructivo para estimar la cantidad de biomasa producida por las leguminosas y las arvenses. Con maquinaria agrícola se chapeo la biomasa de las leguminosas y las arvenses, una semana después se incorporó al suelo con seis pasos de

rastra. Se formaron surcos de 0.8 m de distanciamiento y se procedió a la siembra de *C. ensiformis* (29/09/2025), depositando dos semillas cada 20 cm. La única práctica agronómica realizada fue un control de arvenses a los 30 días posteriores a la siembra. La disponibilidad de agua en el suelo dependió exclusivamente de las lluvias. Cuando las vainas alcanzaron la madurez se procedió con la cosecha (24/03/2026). De cada unidad experimental se consideraron 10 surcos, de cada surco se cuantificó el número de plantas en 2 m lineales y se tomó una planta al azar. De cada planta se midió la altura máxima de planta, la biomasa fresca total, el número y peso total de vainas, el peso individual, la longitud y ancho de vaina, así como el número y peso total de semillas por vaina. Con estos estos datos se estimó el rendimiento de semilla por hectárea. Los datos se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Estadísticamente, similar biomasa seca de abonos verdes y de arvenses se detectaron entre tratamientos. De igual forma, en la *C. ensiformis* dedicado a la producción de semilla, similar biomasa fresca de planta, número de vainas por planta y número de semillas por vaina se observó entre los diferentes tratamientos (Cuadro 1). La materia seca total (leguminosas + arvenses) generada con *C. juncea* fue mayor en comparación con el suelo donde solo se produjo arvenses. Por otra parte, el suelo donde se estableció *Sesbania* sp. estimuló en la *C. ensiformis* una mayor densidad de plantas por metro lineal, rendimiento de biomasa aérea y rendimiento de semilla, en comparación con el suelo donde no se estableció ninguna leguminosa y solo se mantuvieron las arvenses (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de biomasa seca de la *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis*, *Sesbania* sp. y arvenses locales a los 57 días posteriores a la siembra de las leguminosas y su efecto en la producción de semillas de la *C. ensiformis* en condiciones de temporal en Medellín de Bravo, Veracruz.

	-------- Biomasa seca (t/ha) --------			---------- Efecto en la *C. ensiformis* ----------					
Tratamientos	Leguminosas	Arvenses	Total	Plantas/m lineal	Biomasa fresca de la planta (kg)	Rendimiento de biomasa aérea (t/ha)	Número de vainas por planta	Número de semillas por vaina	Rendimiento de semilla (t/ha)
1. *C. juncea*	5.6 a	5.3 a	10.9 a	4.3 ab	0.21 a	8.7 b	4.5 a	10.1 a	3.5 ab
2. *C. ensiformis*	3.1 a	4.7 a	7.8 ab	3.8 b	0.20 a	9.0 b	4.5 a	10.9 a	3.5 ab
3. *Sesbania* sp.	4.4 a	2.2 a	6.5 ab	4.7 a	0.17 a	12.0 a	4.6 a	11.5 a	4.6 a
4. Arvenses	-	4.2 a	4.2 b	4.0 b	0.16 a	7.9 b	4.2 a	10.8 a	3.4 b
Coeficiente de variación	39.04	51.00	28.95	27.67	47.30	45.29	41.90	19.81	47.60

Estos hallazgos revelan que el efecto de un abono verde sobre el rendimiento de semilla de *C. ensiformis* en un sistema de rotación no necesariamente depende de la cantidad de biomasa que dicho abono aporta al suelo. La cantidad de biomasa seca producía por la *C. juncea* coincide con reportes de estudios anteriores en la misma región (6.3 t/ha), también coincide con el total de biomasa suministrada en conjunto con las arvenses locales (12.1 t/ha) (Peralta-Antonio et al., 2025). No obstante, esta mayor producción de biomasa no se tradujo en un mejor establecimiento y producción de semilla del cultivo subsecuente. La mayor supervivencia de plantas, producción de biomasa aérea y rendimiento de semilla de *C. ensiformis* obtenido con *Sesbania* sp. sugiere una mayor relevancia del efecto cualitativo de la biomasa seca incorporada al suelo. Se especula que parte del efecto se puede atribuir a las características químicas de la biomasa suministrada y se explica por lo siguiente. Por una parte, tres leguminosas a los 57 días posteriores a la siembra se encontraban en etapa vegetativa o iniciando la floración, eso significa una mayor concentración de nitrógeno. Segundo, las principales arvenses fueron gramíneas y ciperáceas,

caracterizados por una mayor concentración de carbono en forma de lignina. Tercero, en suelos donde estableció la *C. juncea*, la proporción de biomasa leguminosa/arvenses fue 51%/49%, mientras que donde estableció *Sesbania* sp. fue 68%/32%, esto implica una mayor proporción de leguminosas en la biomasa total. Esa mayor proporción de nitrógeno resulta en una menor relación C/N, tomando en cuenta que a menor relación C/N es mayor la velocidad de mineralización de los residuos orgánicos (Watthier *et al*., 2022), se espera una mejor sincronía entre la liberación de nutrientes y el requerimiento nutrimental de la *C. ensiformis*, este factor es muy importante en condiciones de temporal, ya que no se puede regular la disponibilidad hídrica y una mayor reserva nutrimental en los orgános de las plantas representa una mayor resistencia al estrés hídrico.

Conclusiones

La siembra de leguminosas al inicio de la época de lluvia aumenta la cantidad de biomasa vegetal suministrada al suelo en un periodo de 57 días, principalmente cuando se utiliza *Crotalaria juncea* (>10 t/ha de materia seca). No obstante, en un sistema de rotación Abono verde – Canavalia ensiformis, en condiciones de temporal, el mejor rendimiento de biomasa seca y rendimiento de semillas (4.6 t/ha) se consigue cuanto se utiliza como abono verde la *Sesbania* sp. Estos resultados se limitan a una recomendación exploratoria, es necesario realizar investigaciones en otras regiones geográficas y otras condiciones de suelo.

Referencias bibliográficas

Pedraza-Monroy, G., Peralta-Antonio, N., López-Vázques, M. E., Rebolledo-García, R. L., Rebolledo-Martínez, A., Volke-Haller, V. H., Espinoza-Hernández, V. 2024. Planting densities and the use of local weeds as an alternative to accelerate the incorporation of green manures. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 27(3):44.

Peralta-Antonio, N., Rebolledo-Martínez, A., López-Vázquez, M. E., Rebolledo-García, R. L., Montiel-Vicencio, G., Nataren-Velázquez, J. 2025. Green manures (Fabaceae) and bokashi: An alternative to replace inorganic fertilizers in corn cultivation. Agro Productividad, 2.

Watthier, M., Peralta-Antonio, N., Oliveira, F. S., Santos, R. H. S. 2022. Residual effect of green manure with different grass/legume ratios on the sequential cultivation of broccoli and brachiaria. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 22(1):619-630.

LOS HUERTOS URBANOS ORGÁNICOS COMO ESTRATEGIA PARA FORTALECER LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN CIUDAD CAUCEL, YUCATÁN

Henry Manuel Ramos-Jiménez[1], José Manuel Salaya-Domínguez[2] y Flor de María Rivera-Alegría[3*]

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km 25, Centro, Tabasco, México. México. [2]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km 25, Centro, Tabasco, México. México. [3] Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km 25, Centro, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: hmrj86@gmail.com

Palabras clave: *Agricultura urbana, autoconsumo, participación comunitaria, sostenibilidad alimentaria, producción agroecológica.*

Introducción

En contexto, la agricultura urbana se manifiesta como una alternativa para fortalecer los alimentos dentro de las comunidades urbanas, a través de los espacios reducidos para la producción de hortalizas con la finalidad de autoconsumo en las familias. Los huertos urbanos ayudan a disminuir la dependencia de cadenas comerciales de abastecimiento, impulsar prácticas ambientales y en el conocimiento con relación a la producción agroecológica (Waluyo, 2021). En México, diversas zonas urbanas presentan condiciones económicas lo cual carecen de acceso a los alimentos saludables e inocuos (Urías y Ochoa, 2020). Como la Ciudad Caucel, Mérida, Yucatán, la urbanización acelerada ha provocado que los espacios destinados a la producción agrícola sean reducidos, generando las necesidades de implementar alternativas innovadoras que aporten al bienestar social y ambiental (INEGI, 2020). Los huertos urbanos orgánicos es una estrategia tecnológica, significa que se basa en la utilización eficiente de los recursos locales, con el uso de residuos orgánicos mediante el compostaje, elaboración de biofertilizantes ecológicos y manejos de plagas (Ruiz, 2020). Estas prácticas benefician la producción de alimentos libres de agentes químicos y consolida la educación ambiental en los participantes. El objetivo del estudio fue implementar un modelo de huerto urbano orgánico en la colonia Villa Jardín, Ciudad Caucel, Mérida, Yucatán, como estrategia para fortalecer la seguridad alimentaria mediante capacitación comunitaria, producción de hortalizas y aplicación de técnicas agroecológicas.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la colonia Villa Jardín, ubicada en Ciudad Caucel, municipio de Mérida, Yucatán. el área de estudios cuenta con una población urbana y reflejan aspectos socioeconómicos donde la producción de alimentos figura una alternativa en mejorar en la seguridad alimentaria (Figura 1). El desarrollo del proyecto de determino bajo un enfoque mixto, es decir, se combinaron métodos cualitativos y cuantitativos por medio de encuestas, observación participativa y actividades de intervención comunitaria. Se aplicó cuestionarios estructurado a los habitantes de dicha comunidad con el objetivo de conocer las características sociodemográficas, conocimiento sobre agricultura urbana, disponibilidad de espacios para cultivos y cuál es su percepción sobre la importancia de los huertos familiares. Para la obtención del tamaño de muestra, se determinó a través de una población finita de 4179 habitantes reportada para la zona de estudio, con un nivel de confianza de 90% y un margen de error del 10% obtenidas de una muestra de 40 participantes. Posteriormente se llevaron a cabo los talleres comunitarios enfocados en la implementación y manejo de huertos urbanos orgánicos. Las actividades consistieron en la preparación de sustrato, elaboración de composta, y producción de biofertilizantes para el buen manejo preventivo de plagas, y finalmente el establecimiento de cultivo a través de cajas de madera (Huacal) (Figura 2). Respecto a los materiales, se utilizaron residuos orgánicos generados por los hogares, recipientes reutilizables. Las especies cultivadas fueron tomate (*Solanum lycopersicum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), pepino

(*Cucumis sativus*), rábano (*Raphanus sativus*), acelga (*Beta vulgaris var*) y chile habanero (*Capsicum chinense*) (Figura 3).



Figura 1. Fotografía del fraccionamiento de Villa Jardín, Ciudad, Caucel. Google maps. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Implementación de huertos a base de cajas de madera (Huacal). Fuente: Elaboración propia.

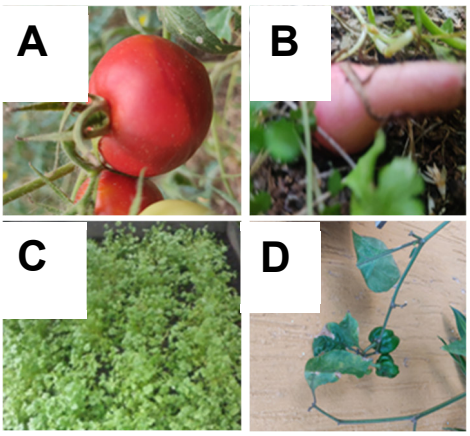


Figura 3. A) Cultivo de tomate, B) rábanos, C) cilantro, y D) chile Habanero que presentaron mayor rendimiento. Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos mostraron una alta aceptación de la estrategia de la agricultura urbana propuesta. El 80.6% de los participantes manifestaron el interés en implementar un huerto en sus hogares, esto manifiesta la disposición comunitaria para adoptar alternativas dirigidas al autoconsumo alimentario (Cuadro 1). En relación al conocimiento previo sobre huertos urbanos, el 51.6 % de los participantes contaron con conocimientos básicos, mientras que el 48.4 % indicó desconocimiento sobre técnicas de cultivo urbano, lo cual se comprobó la importancia de elaborar programas de capacitación con la finalidad de fortalecer las habilidades productivas de la población (Cuadro 2). Durante los talleres impartidos, el 80 % de los participantes al realizar las actividades mostraron una evaluación positiva, destacando el uso de los conocimientos adquirido sobre temas de compostaje, elaboración de biosinsecticidas y el establecimiento de cultivos organiscos (Figura 4). De las especies vegetales con mayor aceptación se encontró el cilantro (*Coriandrum sativum*) con 40 % de preferencia, atribuyendo a su importancia dentro de la alimentación cotidiana de las familias y el fácil manejo que lo caracteriza en espacios reducidos (Figura 5). Referente a manejo fitosanitario, los participantes identificaron que la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) con un 57.50%, es una de las plagas más frecuente de los cultivos en la región. se promovió como alternativa sustentable el uso de biofertilizante natural como practica preventiva para reducir el impacto ambiental en relación con los productos químicos (Figura 6).

Cuadro 1. Implementación de huertos urbanos del fraccionamiento de Villa Jardín.

Implementación de huertos	**Porcentaje**
Sí	80.6
No	19.4
Total	**100**

Nota: Medición de porcentaje en la implementación de huertos urbanos en el fraccionamiento de Villa Jardín. Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Conocimientos de huertos urbanos del fraccionamiento de Villa Jardín.

Conocimiento de huertos	**Porcentaje**
Sí	51.6
No	48.4
Total	**100**

Nota: Medición de porcentaje en el conocimiento de huertos urbanos en el fraccionamiento de Villa Jardín. Elaboración propia.



Figura 4. Elaboración de composta y de bioferlizantes

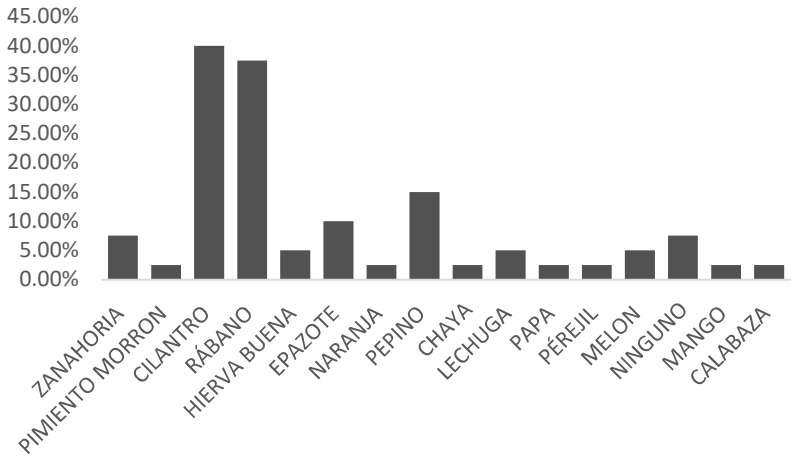


Figura 5. Cultivos que las personas prefieren implementar en sus huertos. Fuente: Elaboración propia.

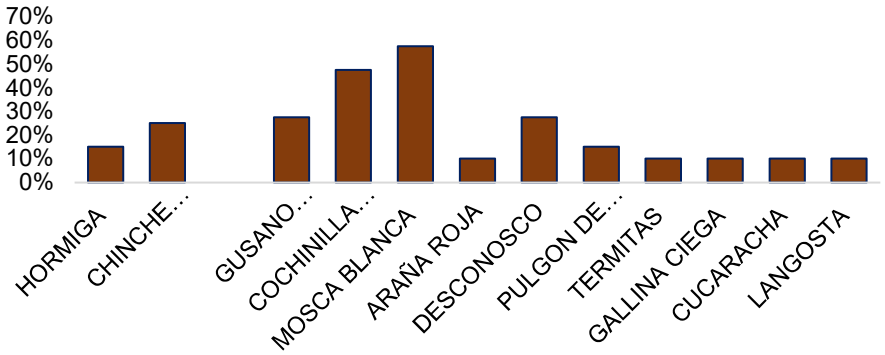


Figura 6. Conocimiento de plagas que afecten a las hortalizas. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La importancia de los huertos urbanos según Waluyo. (2021), destacan por que es posible desarrollar modelos replicables adaptados en zonas urbanas por medio de tecnologías sencillas, económicas y ambientalmente responsable. Estos resultados coinciden con estudios señalados por Motal *et al.* (2025), relacionado a la agricultura urbana, donde se observa que esta estrategia promueve en el fortalecimiento en la seguridad alimentaria, sustentabilidad y cohesión social. La implementación de los huertos urbanos orgánicos en Ciudad Caucel representa una estrategia agroecología para el fortalecimiento en la seguridad alimentaria en zonas urbanas por medio de la producción local de alimentos. Referente a las capacitaciones permitió reforzar los conocimientos de los participantes involucrados sobre técnicas agroecológicas, aprovechamiento de los residuos orgánicos y manejo de cultivos sostenible. Con respecto a la participación comunitaria fue fundamental para la aceptación del proyecto, esto se manifiesta que los huertos urbanos pueden ser una herramienta fundamental de desarrollo sostenible favoreciendo al autoconsumo, reducir gastos familiares e impulsando prácticas ambientales responsables. El modelo implementado puede ser replicables en otras zonas urbanas en condiciones similares, promoviendo a la construcción de un sistema alimentario más sostenibles y resilientes.

Agradecimientos

Se agradece a las personas del fraccionamiento Villa Jardín, Ciudad Caucel, por su disposición y colaboración durante las actividades de capacitación e implementación de los huertos urbanos.

Referencias bibliográficas

Hussain, M. A., Li, L., Kalu, K., Wu, X., & Naumovski, N. (2025). Sustainable Food Security and Nutritional Challenges. Sustainability, 17(3), 874. https://doi.org/10.3390/su17030874

INEGI. (2020). Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020 Yucatán. Recuperado de https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825198374.pdf.

Mota, A. G., Barros, H. C. S., & Santos, A. F. dos. (2025). Hortas comunitárias urbanas, objetivos de desenvolvimento sustentáveis e assistência no câncer. Caderno Pedagógico, 22(2), e13435. https://doi.org/10.54033/cadpedv22n2-014

Ruiz, E. (2022). Productos botánicos y microbiales para el manejo de plagas: Potencial y limitaciones. Avances en Investigación Agropecuaria, 26, 9-10. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/837/83774209005/.

Urías-Borbón,D.S y Ochoa-De la Torre,J.M (2020). Huertos urbanos como estrategia resiliencia urbana en países en desarrollo. 8: P 81-102. Recuperado el 23 de Octubre del 2023, https://www.redalyc.org/journal/6651/665170465004/html/.

Waluyo. (2021). Función e Identidad en los Huertos Urbanos de la CDMX. Tesis de Maestría en Diseño y Estudio Urbanos. P 1-185. http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7641/Funcion_e_identidad_Waluyo_Moreno_I_2021.pdf?sequenc.

EFECTO DEL TÉ DE PEZ DIABLO EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE PEPINO CRIOLLO EN TENOSIQUE, TABASCO

Esteban Peña-Peña[1*], Jesús Yair Mosqueda-Esteban[1], Allison Janay Aranda-Suárez[1], David Juárez-Dehara[1]

[1]Universidad Politécnica Mesoamericana
*Autor para correspondencia: epena@upm.edu.mx

Palabras clave: *Bioinsumo, fertilización foliar, pterygoplichthysspp., rendimiento, especie invasora.*

Introducción

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza de importancia alimentaria y comercial, cuya productividad depende del manejo integrado del agua, nutrición, sanidad y cosecha. La fertilización foliar puede complementar la nutrición proporcionada al suelo y contribuir al crecimiento o rendimiento cuando se aplica con una formulación, concentración y momento adecuados. Su efectividad depende de la composición del producto, la cobertura foliar, la dosis, las condiciones ambientales y el estado fenológico del cultivo (Fernández & Brown, 2013).

En Tenosique, Tabasco, los Loricáridos conocidos como pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) constituyen un recurso abundante en cuerpos de agua regionales y una problemática ambiental y pesquera. El aprovechamiento de biomasa capturada para elaborar productos agrícolas representa una alternativa potencial de valorización local, siempre que se mantenga como complemento del manejo de especies invasoras y se realice con criterios de trazabilidad, bioseguridad y control de calidad. Los subproductos pesqueros pueden contener materia orgánica, minerales, proteínas, aminoácidos y péptidos con posible actividad nutritiva o bioestimulante; sin embargo, su composición y efecto agronómico dependen de la materia prima, el proceso de elaboración y la dosis empleada (Madende & Hayes, 2020).

Los antecedentes disponibles indican que los extractos de residuos de pescado pueden modificar el crecimiento, la formación de frutos y el rendimiento de pepino, con respuestas dependientes de la concentración aplicada (Khandaker *et al*., 2018). No obstante, se requiere evidencia local para establecer el comportamiento de productos elaborados a partir de biomasa disponible en la región. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un té de polvo de pez diablo (TPD) sobre variables morfoagronómicas y de rendimiento de pepino criollo, en comparación con el fertilizante foliar comercial Gro Green (GG) y un testigo sin aplicación foliar, bajo condiciones de producción comercial en Tenosique, Tabasco.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló durante un ciclo de producción comercial de pepino en el rancho de producción agropecuario de la Familia Mosqueda, localizado en las coordenadas 17°27'04.5"N 91°28'21.4"W en el poblado Crisóforo Ciñas, municipio de Tenosique, Tabasco, México.



Figura 1. Geoposicionamiento del área de investigación en las coordenadas 17°27'04.5"N 91°28'21.4"W (Fuente de la imagen: Google Maps).

El cultivo se estableció en sistema de rastreo, con riego por cintilla y manejo agronómico habitual del productor. Las plantas evaluadas recibieron el mismo manejo de riego, fertilización de base, control de malezas y manejo fitosanitario; la diferencia entre tratamientos correspondió a la aplicación foliar. En el estudio se empleó una variedad de pepino tipo Slicer o Americano. La densidad de siembra fue de 13333 plantas ha^{-1} (1.33 plantas m^{-2}) derivada de un marco de siembra de 1.5 entre hileras y 0.5 m entre plantas. Como fertilización de base, se aplicaron 300 kg ha^{-1} de fosfato diamónico (DAP: formulación 18-46-0) y 150 kg ha^{-1} de cloruro de potasio**.** Se estableció Manejo Integrado de Plagas para el control de arvenses y plagas insectiles y enfermedades. El tipo de suelo se corresponde con un Vertisol según la WRB (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo).

Se compararon tres tratamientos:

- Té de polvo de pez diablo (TPD);
- Fertilizante foliar comercial Gro Green (GG) y
- Testigo, sin aplicación foliar.

El experimento se condujo en hileras o franjas dentro de la parcela comercial. Se marcaron plantas visualmente uniformes para su seguimiento; las salidas de análisis registraron generalmente 15 plantas por tratamiento y fecha de evaluación, para un total aproximado de 45 unidades de observación. Debido a que las aplicaciones se realizaron en condiciones comerciales de franjas o hileras, los resultados se interpretan como una validación exploratoria, pues las plantas dentro de una misma franja pueden constituir submuestras y no repeticiones espaciales plenamente independientes.

El TPD se preparó como un extracto acuoso simple, no como un hidrolizado proteico. Se dispersó 1 kg de polvo seco de pez diablo identificado en el protocolo como *Pterygoplichthys* spp. (aunque pudiera ser también la especie *Hypostomus* spp.) en 50 l de agua limpia sin cloro, equivalente a una concentración inicial de 20 g l^{-1} (2 % p/v). La mezcla se agitó y permaneció en reposo en un recipiente a la sombra por un período de 12 a 24 h, con agitación periódica. Antes de la aplicación la solución se filtró con tela fina para retirar partículas que pudieran obstruir las boquillas. El concentrado se utilizó dentro de las 24 h posteriores a la preparación y se diluyeron de 10 a 15 ml en un litro de agua para la aspersión foliar. Las aplicaciones de TPD y GG se realizaron desde la etapa de tres a cuatro hojas verdaderas hasta el período de cosecha, en horarios de baja radiación y evitando lluvia o viento intenso.

El sitio de captura de la especie fue la Laguna Canitzán en Tenosique, Tabasco y la misma se realizó en la primera semana de mayo de 2026. El diagrama de producción y aplicación del Biopreparado de Pez Diablo se ilustra en la Figura 2. Para aplicar el GroGreen se disolvieron 100 g del producto en un envase plástico de 20 l y luego se llevaron a una mochila aspersora manual de igual capacidad.



Figura 2. Diagrama de flujo de producción y elaboración del Te de Pez Diablo (Fuente Elaboración propia a partir de consideraciones teórico-prácticas sobre elaboración de hidrolizados de pescado).

Las aplicaciones en ambos casos se realizaron a una solución final de 200 l ha^{-1} rociando uniformemente sobre las hojas en horas bien tempranas de la mañana para evitar quemaduras por el sol, las que se repitieron cada 8 días durante las etapas de crecimiento y floración y amarre de frutos.
Para evaluar el efecto de ambos productos sobre el desarrollo morfoagronómico de la planta se midieron semanalmente a partir de los 7 días después de la siembra (DDS) las variables: altura de planta (cm) medida con regla graduada, diámetro del tallo (mm) medido con pie de rey, número de hojas verdaderas por conteo visual y extensión horizontal de la guía principal (m) medida con flexómetro durante diez semanas. Durante la fase productiva (a partir de la semana 8 a la 12 se registró el número de frutos por planta por conteo visual, peso de fruto (g) a 15 frutos elegidos al azar, medido con balanza comercial de 1 kg y se estimó el rendimiento (kg m^{-2}) a partir de la producción final total.
Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) de una vía, considerando el tratamiento como factor fijo. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), las medias se compararon mediante la prueba HSD de Tukey.

Resultados y discusión

El tratamiento influyó significativamente en todas las variables morfoagronómicas evaluadas. TPD y GG superaron al Testigo en altura, diámetro de tallo y extensión horizontal; para número de hojas, GG presentó el mayor valor, TPD una respuesta intermedia y el Testigo los valores menores (Cuadro 1). Los incrementos obtenidos con TPD respecto al Testigo fueron de 44.8 % en altura, 25.3 % en diámetro de tallo, 42.1 % en número de hojas y 48.9 % en extensión horizontal. GG incrementó las mismas variables en 59.2; 35.6; 87.7 y 57.4 %, respectivamente.

Cuadro 1 Efecto de las aplicaciones de Te de Pez Diablo y Gro Green comercial sobre las variables de crecimiento.

Variable	Testigo	TPD	GG	F	p	Comparación
Altura(cm)	12.50 a	18.10 b	19.90 b	51.85	<0.0001	TPD=GG>Testigo
Diámetro(mm)	7.59 a	9.51b	10.29 b	25.34	<0.0001	TPD=GG>Testigo
Número de hojas (U)	18.66 a	26.52 b	35.03 c	42.90	<0.0001	GG>TPD>Testigo
Extensión horizontal (m)	0.94 a	1.40 b	1.48 b	22.49	<0.0001	TPD=GG>Testigo

Nota: Medias con letras distintas difieren según Tukey (α=0.05).

Análisis del rendimiento y sus componentes
Los componentes de rendimiento también fueron modificados por las aplicaciones de producto (Cuadros 2, 3 y 4). GG produjo mayor número de frutos en la mayoría de las semanas de cosecha; por ejemplo, en las semanas 9, 10 y 12 alcanzó 5.27 frutos por planta, frente a 4.53, 4.53 y 3.87 frutos con TPD. Sin embargo, TPD presentó el mayor peso de fruto en todas las fechas evaluadas. El peso medio con TPD osciló entre 491.50 y 498.03 g, mientras que con GG se ubicó entre 350.04 y 353.27 g y con el Testigo entre 401.78 y 406.67 g.
El número de frutos (Cuadro 2) fue significativamente diferente entre tratamientos durante todas las semanas de cosecha. En la semana 8, TPD y GG fueron similares entre si, pero superiores al Testigo. La variante GG mostró el mayor número de frutos en las semanas 9, 10 y 12 y TPD alcanzó el valor superior de la variable en la semana 11.

Cuadro 2 Dinámica semanal del número de frutos planta (U).

Semana	Testigo	TPD	GG	F	P	Comparación
8	2.87 a	4.07 b	4.20 b	67.05	<0.0001	TPD=GG>Testigo
9	3.13 a	4.53 b	5.27 c	88.11	<0.0001	GG>TPD>Testigo
10	2.73 a	4.53 b	5.27 c	111.51	<0.0001	GG>TPD>Testigo
11	2.73 a	4.73 c	4.20 b	81.74	<0.0001	TPD>GG>Testigo
12	2.73 a	3.87 b	5.27 c	133.49	<0.0001	GG>TPD>Testigo

Nota: Medias con letras distintas difieren según Tukey (α=0.05).

La variante con empleo de Te de Pez Diablo (TPD) superó al Testigo entre 41.8 % y 73.3 % en número de frutos, mientras GG lo superó entre 46.3 % y 93.0%. Los dos productos favorecieron el fructificación, aunque GG mostró la mayor cantidad de frutos en la mayor parte de las fechas evaluadas.
El peso medio del fruto (Cuadro 3) fue favorecido consistentemente por TPD. En todas las semanas, este tratamiento presentó la media mayor, seguido por GG. El peso de fruto con TPD osciló en sus valores entre 491.50 y 498.03 g; con GG entre 401.78 y 406.67 g; y con el testigo Testigo varió de 350.04 a 353.27 g muy por debajo de lo que muestran los dos restantes.

Cuadro 3 Dinámica semanal del peso medio del fruto.

Semana	Testigo (g)	TPD(g)	GG(g)	F	P	Comparación
8	353.10 a	491.50 c	403.78 b	212.77	<0.0001	TPD>Testigo>GG
9	350.04 a	498.03 c	403.72 b	1235.67	<0.0001	TPD>Testigo>GG
10	351.87 a	495.47 c	404.00 b	790.65	<0.0001	TPD>Testigo>GG
11	353.27 a	497.83 c	406.67 b	1559.68	<0.0001	TPD>Testigo>GG
12	351.69 a	496.78 c	401.78 b	740.34	<0.0001	TPD>Testigo>GG

Nota: Medias con letras distintas difieren según Tukey (α=0.05).

TPD incrementó el peso de fruto entre 21.0% y 23.4% en comparación con el Testigo, y entre 39.2% y 42.3% al compararse con los resultados de la variante GG. El efecto constante de TPD sobre esta variable sugiere que su principal contribución a la productividad estuvo asociada con el llenado de los frutos.
GG favoreció la producción de frutos en la mayoría de las semanas, mientras TPD favoreció el peso individual. Esta combinación explica el comportamiento del rendimiento (Cuadro 4), pues la productividad depende simultáneamente de cantidad y masa de frutos. Reportes recientes en pepino indican que los extractos de residuos de pescado pueden mejorar su crecimiento y rendimiento y la dirección y magnitud de su efecto están condicionadas por factores como el tipo de formulación, la dosis y el ambiente en general (Wijesundara *et al*., 2025).
El efecto de TPD sobre peso de fruto puede asociarse con una mayor disponibilidad o aprovechamiento de compuestos que apoyaron el llenado; sin embargo, el mecanismo no puede determinarse sin analizar químicamente el té. Las revisiones sobre hidrolizados y extractos proteicos muestran que su actividad depende de la composición y de las fracciones moleculares presentes (Monterisi *et al*., 2024).
El rendimiento medio fue mayor con TPD (3.59 kg m^{-2}), seguido por GG (2.84 kg m^{-2}) y Testigo (1.91 kg m^{-2}). Los tres tratamientos fueron estadísticamente diferentes ($F = 368.45$; $p < 0.0001$).TPD superó a GG en 26.4% y al Testigo en 88.0%. La respuesta se relacionó con el mayor peso de fruto observado con TPD, que compensó el mayor número de frutos alcanzado con GG. Este hallazgo constituye la evidencia técnica más relevante de la viabilidad agronómica preliminar de TPD como biofertilizante. Los resultados son congruentes, de manera general, con antecedentes que señalan respuestas positivas del pepino a la aplicación de extractos derivados de residuos de pescado, aunque las características químicas, la dosis y el proceso de elaboración pueden modificar sustancialmente el efecto de cada producto (Khandaker *et al*.,

2018; Wijesundara *et al*., 2025).

Cuadro 4. Rendimiento final obtenido por tratamiento

Tratamiento	Rendimiento (kg m^{-2})	GrupoTukey	Incremento respecto al Testigo
Testigo	1.91	A	—
GG	2.84	b	48.7 %
TPD	3.59	c	88.0 %

Nota: Medias con letras distintas difieren según Tukey (α=0.05).

El comportamiento de TPD permite considerarlo un té experimental con potencial nutritivo y bioestimulante, pero no un hidrolizado proteico, ya que no fue sometido a hidrólisis controlada. La atribución de mecanismos específicos debe evitarse hasta realizar caracterización de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, micronutrientes, composición de aminoácidos y calidad microbiológica. Estas determinaciones son indispensables para estandarizar el producto, definir dosis seguras y validar su uso agronómico. Asimismo, la valorización de biomasa de pez diablo debe complementar, y no sustituir, las estrategias de monitoreo y control de los loricáridos invasores, evitando cualquier práctica que favorezca su transporte, cultivo, liberación o propagación (Orfinger & Goodding, 2018).

Conclusiones

El té de polvo de pez diablo aplicado por vía foliar promovió una respuesta favorable en el crecimiento vegetativo de pepino criollo. TPD y Gro Green superaron al Testigo en altura, diámetro de tallo y extensión horizontal, mientras que Gro Green produjo el mayor número de hojas.

TPD alcanzó el mayor rendimiento, con 3.59 kg m^{-2}, superando a Gro Green en 26.4 % y al Testigo en 88.0 %. La respuesta productiva se explicó principalmente por el mayor peso de fruto obtenido con TPD, aun cuando GG generó mayor número de frutos en la mayor parte de las fechas de evaluación.

El té de pez diablo muestra potencial como bioinsumo foliar local; no obstante, los resultados corresponden a una evaluación exploratoria en una parcela comercial. Antes de recomendarlo como sustituto generalizado de fertilizantes comerciales, se requiere validación en ciclos y sitios independientes, con repeticiones espaciales por tratamiento, análisis químico y microbiológico del producto, evaluación de fitotoxicidad, definición de dosis y análisis económico completo.

Referencias bibliográficas

Fernández, V., & Brown, P. H. (2013). Fromplantsurface to plantmetabolism: Theuncertainfate of foliar-appliednutrients. Frontiers in PlantScience, 4, 289. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289.

Khandaker, M. M., Rohani, F., Dalorima, T., & Mat, N. (2018). Effects of fishwasteextractonthegrowth, yield and quality of Cucumissativus L. Journal of Agrobiotechnology, 9(1S), 250-259.

Madende, M., & Hayes, M. (2020). Fishby-product use as biostimulants: Anoverview of thecurrentstate of the art, includingrelevantlegislation and regulationswithinthe EU and USA. Molecules, 25(5), 1122. https://doi.org/10.3390/molecules25051122.

Orfinger, A. B., &Goodding, D. D. (2018). The global invasion of thesuckermoutharmoredcatfishgenusPterygoplichthys (Siluriformes, Loricariidae): Annotatedlist of species, distributionalsummary, and assessment of impacts. ZoologicalStudies, 57, e7. https://doi.org/10.6620/ZS.2018.57-07.

Wijesundara, W. M. A. P., Rathnathunga, E. U. U., &Pushpakumari, W. H. D. U. (2025). Fishwasteextract as a sustainablealternative to inorganicfertilizers in salad cucumber, Cucumissativuscultivation: Growth and yieldinsights. Journal of theUniversity of Ruhuna, 18(1), 31-44. https://doi.org/10.4038/jo.ur.v18i1.8123.

MANEJO DE AGROQUÍMICOS EN INMEDIACIONES DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS: CAÑÓN DEL USUMACINTA Y RESERVA DE LA BIOSFERA DE WANHA'

Santa Isabel Corzo Romero[1], Esteban Peña-Peña[1], Roberto Rodríguez-Vázquez[1], Julio Cámara-Córdova[1]*, David Salomón de la O-Hidalgo[1], José Cisneros-Domínguez[1], Blanca Estela Díaz-Marín[1] y Patricia del Carmen Aguilar-García[1].

[1]Universidad Politécnica Mesoamericana. Carretera Federal 203, tramo Tenosique – El Ceibo, km 43.5. Colonia Agrícola Sueños de Oro, Tenosique, Tabasco, México. C.P. 86906
*Autor para correspondencia: indestec@upm.edu.mx

Palabras clave: *Pesticidas, contaminación agrícola, gestión ambiental, riesgo ecológico, política pública.*

Introducción

El uso y la comercialización de agroquímicos en México representan un desafío complejo que involucra dimensiones ambientales, sociales, económicas y regulatorias. En particular, las áreas naturales protegidas del sureste del país, como el Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta y la Reserva de la Biosfera Wanha', enfrentan presiones crecientes derivadas de prácticas agrícolas intensivas que recurren al uso de plaguicidas. Se ha documentado que, aun en territorios con estatus de conservación, los agroquímicos continúan siendo empleados de manera sistemática, generando riesgos ecológicos y sociales de gran relevancia (Universidad Autónoma de Querétaro, 2026).

La contaminación agrícola derivada del uso de plaguicidas afecta directamente la calidad de los cuerpos de agua y la biodiversidad en humedales y ecosistemas ribereños del sureste mexicano (Instituto de Ecología, UNAM, 2025). Estos impactos se agravan por las condiciones climáticas locales —altos niveles de humedad y lluvias intensas— que favorecen la dispersión de residuos químicos en ríos y suelos. La dimensión normativa también ha cobrado relevancia en los últimos años. La reforma agroquímica en México de 2026 introdujo cambios sustanciales en los procesos de registro, protección de datos y supervisión por parte de COFEPRIS, lo que busca fortalecer la regulación y reducir los riesgos asociados al uso indiscriminado de plaguicidas (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios [COFEPRIS], 2026).

Sin embargo, persisten retos en la implementación de estas políticas públicas, especialmente en comunidades rurales donde la comercialización de agroquímicos constituye una fuente de ingresos y un insumo indispensable para la producción agrícola (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2025). El impacto socioeconómico de la comercialización de plaguicidas en comunidades rurales también ha sido documentado, mostrando que el acceso a estos productos puede generar dependencia económica y limitar la adopción de alternativas sostenibles (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2025). El objetivo de esta investigación fue evaluar las prácticas actuales de comercio y manejo de agroquímicos en los municipios de Balancán y Tenosique, Tabasco, para determinar los riesgos socioambientales en las áreas de influencia directa del Cañón del Usumacinta y Wanha'.

Materiales y métodos

Varias dependencias de la Administración Pública Federal diseñaron una encuesta para conocer el Estado Actual del Comercio de Plaguicidas en México, con el objetivo de obtener información sobre la comercialización de plaguicidas y recolección de envases vacíos por parte de establecimientos que venden estos productos y de sus distribuidores, para definir acciones orientadas a la implementación de la Estrategia Nacional para la Reducción y Manejo Adecuado de Plaguicidas. La encuesta debía ser respondida exclusivamente por los responsables de tiendas que vendan agroquímicos o por distribuidores de plaguicidas y podía ser aplicada por estudiantes de educación superior, quienes utilizando un formulario en Google Forms, capturaron los datos e información

obtenida. La Universidad Politécnica Mesoamericana participó en su ámbito de influencia (los municipios tabasqueños de Balancán y Tenosique, en el sureste de la República Mexicana), mediante dos grupos de alumnos, uno de la Ingeniería en Manejo de Recursos Naturales y otro de la Licenciatura en Comercio Internacional y Aduanas.
Aprovechando esa actividad, se colectó información relevante sobre el manejo de plaguicidas en las inmediaciones de las dos áreas naturales protegidas colindantes con nuestra sede. Para ello se diseñó un cuestionario estructurado en formato digital mediante la plataforma Google Forms, el cual fue aplicado por los estudiantes de la UPM a los responsables de las tiendas de agroquímicos o distribuidores de plaguicidas en las principales localidades de los municipios de Balancán y Tenosique. Se utilizó Google Forms por su accesibilidad gratuita, facilidad de uso y capacidad para recopilar respuestas en tiempo real, lo que permitió un análisis más eficiente de los datos.
Se aplicaron por esta vía 27 encuestas. El instrumento incluyó preguntas sobre ubicación, antigüedad, demanda, cultivos, clima, aplicación aérea, infraestructura, manejo de plagas, percepción ambiental, exportación, comercio transfronterizo, trazabilidad, crédito, alternativas biológicas, capacitación y acciones prioritarias. Los datos crudos recolectados de las 27 encuestas reales fueron procesados formalmente mediante estadística descriptiva para el análisis de frecuencias absolutas y porcentajes, mientras que las variables abiertas se estructuraron bajo categorías cualitativas interpretativas.

Resultados y discusión

El análisis de los datos de campo provistos revela una infraestructura comercial madura integrada por 16 comercios en Tenosique (59.3%) y 11 en Balancán (40.7%), con tiempos de operación que van desde los 6 meses hasta empresas consolidadas con más de 30 años en el mercado de insumos. Esta red comercial provee simultáneamente a actividades agrícolas tradicionales de subsistencia como el maíz (asociado a 24 comercios) y frijol (13), así como a cadenas comerciales frutícolas de alto valor de exportación como la sandía (8), chile (8), papaya (5), caña de azúcar (3) y plantaciones comerciales maderables de teca y eucalipto. Dicha demanda diversificada justifica la distribución masiva de plaguicidas de síntesis química, donde sobresalen los herbicidas (26 menciones) e insecticidas (25), complementados con fertilizantes (23), fungicidas (15) y acaricidas (13).
Los comerciantes reportan unánimemente que las lluvias torrenciales y los altos niveles de humedad modifican severamente los ciclos biológicos de las plagas locales, incrementando el uso y dosificación de químicos, fenómeno que exacerba el arrastre por escorrentía hacia humedales protegidos adyacentes y que coincide de manera alarmante con las evaluaciones ecotoxicológicas del Instituto de Ecología, UNAM (2025).

Cuadro 1. Diagnóstico comercial, productivo e infraestructura postconsumo detectado en campo.

Variable evaluada	**Frecuencias absolutas y porcentajes Observados**	**Diagnóstico y contraste institucional**
Distribución por Municipio	Tenosique: 16 (59.3%) / Balancán: 11 (40.7%)	Alta concentración en el nodo fronterizo.
Cultivos frecuentes	Maíz (24), Frijol (13), Sandía (8), Chile (8), Papaya (5)	Coexistencia de subsistencia y frutales comerciales.
Productos más vendidos	Herbicidas (26), Insecticidas (25), Fertilizantes (23)	Elevada dependencia regional a plaguicidas químicos.
Infraestructura de envases	**No cuenta:** 22 (81.5%) / Parcialmente: 4 (14.8%)	Severo vacío en bioseguridad postconsumo (SEMARNAT, 2025).
Acuerdos Municipales	**No / No sé:** 25 (92.6%) / Sí cuenta: 2 (7.4%)	Ruptura institucional y operativa con gobiernos locales.
Clientes exportadores	Ninguna/Baja: 18 (66.6%) / **Moderada/Alta:** 9 (33.3%)	Un tercio de la producción exige control de inocuidad.

Algo importante relacionado con el ítem ¿Los productores locales cuentan con infraestructura para el acopio de envases vacíos de agroquímicos? es que la mayoría de los productores no cuentan con infraestructura suficiente o que esta es solo parcial. Esta carencia incrementa el riesgo de

abandono, quema, reutilización o disposición inadecuada de los envases vacíos. De esto se deriva por tanto la necesidad de establecer puntos de acopio y acuerdos operativos entre autoridades, distribuidores y productores, por las implicaciones ambientales que tienen para los ecosistemas naturales y agroecosistemas de la región.

En relación con el ítem sobre la proporción de clientes que exportan productos agrícolas y deben cumplir límites máximos internacionales de residuos, los resultados evidencian que la situación es variable entre los establecimientos encuestados: En el 66.6% de los establecimientos la proporción de clientes que exporta es nula o baja; sin embargo, el 33.3% reporta una proporción moderada o alta de clientes vinculados con la exportación, lo que representa un grupo importante que requiere mayor control sobre los productos utilizados, el respeto de los períodos de seguridad y la trazabilidad de las aplicaciones.

La aspersión aérea fue calificada como una práctica inexistente o muy poco frecuente en la zona. se detectó que la aplicación aérea en cultivos de plátano, caña o palma fue descrita principalmente como poco frecuente o inexistente. Aunque no parece ser una práctica generalizada entre los establecimientos consultados, cuando se realiza debe contar con medidas de control que eviten la dispersión de productos hacia viviendas, comunidades, cuerpos de agua y organismos no objetivo.

Por otra parte, la adopción formal del Manejo Integrado de Plagas (MIP) se encuentra restringida por barreras económicas y de capacitación (Cuadro 2). La falta de asesoría técnica especializada (18 menciones) y los costos elevados de los bioinsumos (8) fuerzan a los agricultores a sostener la aspersión calendarizada tradicional, un comportamiento consistente con las tesis de dependencia económica en comunidades rurales formuladas por el INIFAP (2025).

Cuadro 2. Barreras para el manejo integrado de plagas.

Barreras identificadas	**Comentario**
Falta de asesoría técnica	Limita la identificación correcta de plagas, la selección de productos y el uso de alternativas preventivas.
Costos elevados	Puede favorecer la búsqueda de productos más baratos, incluidos productos no registrados o de procedencia incierta.
Disponibilidad limitada	Aunque exista interés, la falta de bioinsumos o servicios técnicos dificulta la adopción.
Percepción de baja efectividad	Reduce la confianza en el manejo integrado y puede mantener la dependencia de aplicaciones químicas.
Falta de conocimiento y conciencia	Aumenta el riesgo de malas prácticas, contaminación y exposición de trabajadores y familias.

En relación con la percepción del riesgo ambiental, el conocimiento de los distribuidores es heterogéneo; se registran declaraciones conscientes de afectación de peces y erosión parcelaria, pero un alto porcentaje minimiza el daño o argumenta desconocimiento. La heterogeneidad de respuestas —desde “no hay daño” hasta referencias a contaminación y afectación de peces— puede indicar diferencias en el nivel de información, experiencias locales distintas o una subestimación de los efectos crónicos. Dicha situación confirma la subestimación crónica de los impactos ambientales analizada por la Universidad Autónoma de Querétaro (2026).

Tenosique y Balancán tienen territorios que colindan con la República de Guatemala y como rasgos comunes en ambos países destaca el hecho de que dedican gran parte de su actividad económica a la agricultura y donde además se comercializan productos para uso agropecuario muchas veces similares, de ahí que esto influya en el empleo de agroquímicos en la región. Esto introduce un factor crítico de riesgo aduanero y de sanidad vegetal. El 51.8% de los participantes corroboró o percibió la presencia regular de agroquímicos de contrabando en la región (Cuadro 3), adjudicando a intermediarios informales un rol de abaratamiento ilícito del insumo. Ante este escenario, el 59.3% de los comerciantes cataloga como una prioridad estratégica el desarrollo de sistemas de trazabilidad y rastreabilidad de lotes para certificar legalidad y cumplir normativas internacionales de exportación. Sin embargo, esta fiscalización se debilita por la falta de canales oficiales actualizados, ya que el 88.9% reporta un acceso nulo o deficiente a los registros formales de COFEPRIS (2026).

Los hallazgos evidencian que las deficiencias operativas en el manejo de residuos peligrosos están directamente vinculadas a la falta de acuerdos normativos entre el sector comercial y los gobiernos locales. Al no existir una red formal de acopio, se favorecen vectores de riesgo ambiental como el abandono y la quema de envases en las parcelas. Este rezago logístico coincide con un vacío en la difusión de políticas agroecológicas, dado que la mayoría de los participantes reportó una total invisibilidad de los programas estatales y municipales para el desarrollo de alternativas orgánicas.

Cuadro 3. Indicadores de adopción tecnológica, dinámicas transfronterizas y capacitación regional.

Dimensión de análisis	**Respuestas e indicadores reales de la encuesta**	**Implicación crítica territorial**
Limitantes estructurales MIP	Falta de asesoría técnica (18); Costos elevados (8)	El mercado local carece de oferta accesible de bioinsumos.
Percepción del contrabando	**Sí / Es común / Poco frecuente:** 14 (51.8%)	Elevada exposición al comercio ilegal transfronterizo.
Trazabilidad comercial	**Muy relevante / Relevante:** 16 (59.3%)	Mecanismo urgente para blindar inventarios y aduanas.
Acceso a datos COFEPRIS	Poco accesible / Nada accesible: 24 (88.9%)	Brecha de información digital regulatoria federal.
Programas públicos dirigidos al fomento de productos agroecológicos	No existen / Desconocidos / No sé: 25 (92.6%)	Invisibilidad de políticas de fomento agroecológico.
Capacitación técnica	**Poco accesible / Nada accesible:** 21 (77.8%)	Necesidad de articular nodos de educación superior.

Los datos de campo evidencian una contradicción crítica: la difusión de información básica sobre agroquímicos no se ha traducido en una capacitación técnica accesible o funcional para la mayoría de los comerciantes y productores. La persistencia de esta brecha técnica explica la recurrencia de malas prácticas agrícolas, tales como errores en los intervalos de seguridad, dosificaciones empíricas y un uso deficiente del equipo de protección personal. Para revertir esta tendencia de riesgo socioambiental, es prioritario establecer un modelo de capacitación continua en los municipios de estudio enfocado en la selección científica de moléculas, almacenamiento normado, respuesta a emergencias químicas y protocolos de control agroecológico.
En conjunto, los resultados describen una actividad de comercialización consolidada y vinculada con diversos cultivos, pero con deficiencias en asesoría técnica, manejo de envases, disponibilidad de alternativas y control de la cadena de suministro. Las prioridades de intervención son fortalecer la capacitación, establecer mecanismos de acopio, mejorar el acceso a información regulatoria, promover el manejo integrado de plagas y desarrollar sistemas básicos de trazabilidad.

Conclusiones

La comercialización de agroquímicos en Tenosique y Balancán constituye un sector firmemente arraigado que dinamiza tanto la agricultura de subsistencia (maíz y frijol) como la comercial hortofrutícola y forestal, operando a través de negocios de larga trayectoria junto a nuevos puntos de distribución.
La transición de los productores agrícolas hacia el manejo integrado de plagas se encuentra fuertemente inhibida por la ausencia estructural de asistencia técnica especializada y por el alto costo financiero de las alternativas biológicas disponibles en el mercado formal.
Se detectó una severa crisis logística posconsumo en la periferia de las áreas naturales protegidas, caracterizada por la carencia casi absoluta de infraestructura para el acopio masivo de envases vacíos y por una desarticulación institucional permanente entre los comercios y las administraciones municipales.
La vecindad con la República de Guatemala genera un mercado transfronterizo poroso y una percepción extendida de contrabando de insumos químicos carentes de registro sanitario, ante lo cual el comercio local demanda esquemas eficaces de trazabilidad y una digitalización accesible de los catálogos oficiales de la COFEPRIS.

Los programas estatales y federales de fomento agroecológico presentan una nula visibilidad en el territorio evaluado, delegando de manera implícita en la Universidad Politécnica Mesoamericana la responsabilidad académica y técnica de articular redes formativas y nodos de acopio para mitigar el deterioro ambiental en el Cañón del Usumacinta y la Reserva de la Biosfera Wanha'.

Agradecimientos

A los estudiantes de los grupos de Ingeniería en Manejo de Recursos Naturales y Licenciatura en Comercio Internacional y Aduanas de la Universidad Politécnica Mesoamericana por el levantamiento de los datos de campo.

Referencias bibliográficas

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2026). Reforma agroquímica en México 2026: nuevos registros, protección de datos y supervisión. Secretaría de Salud.

Instituto de Ecología, UNAM. (2025). Evaluación de riesgos ecológicos por agroquímicos en humedales del sureste mexicano. Revista Mexicana de Biodiversidad, 96(2), 45-59.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2025). Impacto socioeconómico de la comercialización de agroquímicos en comunidades rurales. Revista de Economía Rural Mexicana, 14(2), 33-50.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2025). Política pública y regulación de plaguicidas en México: avances y retos. SEMARNAT.

Universidad Autónoma de Querétaro. (2026). Plaguicidas en Áreas Naturales Protegidas: Evidencia de su uso en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Querétaro. UAQ.

BIOTECNOLOGÍA

ANÁLISIS FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE TRES LEGUMINOSAS COMESTIBLES EN TABASCO, SU ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ANTIMICROBIANA CONTRA BACTERIAS FITOPATÓGENAS

Naybi R. Muñoz-Cazares[1]*, Luz del Carmen Lagunes-Espinoza[1], Carlos Fredy Ortiz-García[1] y Sergio Aranda-Ocampo[2]

[1]Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. [2]Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo.

*Autor para correspondencia: munoz.naybi@colpos.mx

Palabras clave: *Crotalaria longirostrata, senna fruticosa, inga inicuil, cromatografía en capa fina, extractos vegetales*.

Introducción

La familia Fabaceae es una de las más representativas en México con aproximadamente 1900 especies. Particularmente en el estado de Tabasco se tiene el registro de 130 especies de leguminosas, siendo un elemento distintivo de la vegetación. Aunado a su importancia ecológica, las leguminosas probablemente se encuentran entre los ingredientes más comunes utilizados en la gastronomía tabasqueña, destacando por su alto contenido en proteína, fibra soluble, y bajo contenido en grasas. Además de su aporte nutrimental, las leguminosas también son ricas en metabolitos secundarios como flavonoides, polifenoles, alcaloides, taninos, entre otros (Wink, 2013). Esta diversidad química podría justificar sus perfiles de bioactividad, destacando su actividad antimicrobiana y antioxidante. En este sentido, leguminosas consumidas tradicionalmente por los tabasqueños como *Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn., *Inga inicuil* G. Don y *Senna fruticosa* (Mill.) H.S. Irwin & Barneby, conocidas comúnmente como “chipilín”, “jinicuil” y “quelite” respectivamente, podrían representar una fuente de metabolitos con potencial antioxidante y antibacteriano. Previamente, se ha reportado la actividad antibacteriana de extractos orgánicos de diferentes partes vegetales de *C. longirostrata* e *I. inicuil* (Miranda-Granados et al., 2018; Gallegos-García et al., 2022), sin embargo, no hay reportes de su actividad antioxidante, ni de su efecto sobre bacterias fitopatógenas, ya que los trabajos anteriores solo incluyen bacterias de importancia médica. Por otra parte, en el caso de *S. fruticosa* hasta la fecha, no hay reportes de actividad biológica ni de los metabolitos presentes en sus extractos. Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar los extractos metanólicos y etanólicos de hojas y semillas de *C. longirostrata*, *I. inicuil* y *S. fruticosa*, para determinar su actividad antioxidante y antibacteriana sobre bacterias fitopatógenas, así como su perfil fitoquímico preliminar.

Materiales y métodos

Obtención del material vegetal y preparación de extractos. Se colectaron hojas y semillas de *C. longirostrata*, *I. inicuil* y *S. fruticosa* durante los meses de septiembre y octubre de 2023, y enero de 2024 en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo del estado de Tabasco. El material vegetal se lavó con agua destilada y se secó en un horno de convección a 50 °C. Tras el secado, el material vegetal se molió hasta obtener un polvo fino. Los extractos de las hojas y semillas de las leguminosas seleccionadas se obtuvieron por maceración con metanol y etanol, mezclando 100 g de material vegetal seco en el caso de hojas y 30 g de semillas con el disolvente en una proporción 1:5 p/v. El procedimiento de maceración se realizó tres veces, cada 48 horas con el fin de asegurar una extracción exhaustiva. El disolvente se eliminó a presión reducida mediante un evaporador rotatorio para obtener los extractos crudos correspondientes.
Análisis fitoquímico preliminar. El análisis fitoquímico preliminar de los extractos se realizó mediante cromatografía en capa fina (CCF) en placas sílica gel 60 F254 con soporte de aluminio, utilizando diferentes sistemas de elución y reveladores para detectar alcaloides, flavonoides, compuestos fenólicos, taninos, terpenos y saponinas.

Determinación del contenido total de polifenoles y flavonoides. El contenido total de polifenoles en los extractos metanólicos de las hojas y semillas se determinó utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteau, midiendo la absorbancia a 765 nm. Para calcular el CTP se utilizó ácido gálico como estándar para la curva de calibración. El CTP se expresó en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mg EAG/g). El contenido total de flavonoides (CTF) en los extractos metanólicos se determinó mediante un método colorimétrico utilizando cloruro de aluminio ($AlCl_3$), el cual forma un complejo amarillo con los flavonoides que absorbe luz a 510 nm. El CTF se calculó utilizando una curva de calibración de quercetina y los resultados se expresaron en mg de equivalente de quercetina por gramo de extracto (mg EQ/g). Las muestras se prepararon por triplicado para cada análisis y se obtuvo el valor medio de absorbancia.

Actividad antioxidante. La actividad antioxidante de los extractos frente al radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) se determinó mediante espectrofotometría UV a 517 nm. Se prepararon diferentes concentraciones de los extractos con metanol (0.12, 0.2, 0.3, 0.6, 1.2 y 6 µg/mL). La capacidad de captación de radicales libres se calculó utilizando la ecuación 1. Los resultados se expresaron como el porcentaje de inhibición de la oxidación de radicales.

$$\text{Ecuación 1.} \qquad \%\ \text{Inhibición} = \frac{(\text{absorbancia control} - \text{absorbancia de la muestra})}{\text{absorbancia control}}\ \text{x}\ 100$$

Dónde: Absorbancia control=DPPH sin extracto; Absorbancia muestra = absorbancia en presencia de extracto.

El valor de IC_{50} (concentración en µg/mL que reduce el radical en un 50%) se determinó mediante la ecuación de la recta obtenida a partir de los resultados, donde el eje X representa las concentraciones (µg/mL) y el eje Y el porcentaje de inhibición de DPPH.

Actividad antibacteriana. Para la evaluación de la actividad antibacteriana de cada extracto se utilizaron tres cepas bacterianas fitopatógenas: una cepa Gram positiva (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) y dos Gram negativas (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* y *Xanthomonas sacchari*). El potencial inhibitorio de los extractos metanólicos y etanólicos se determinó mediante la obtención de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) por el método de microdilución en caldo, utilizando un rango de concentración de 10 a 0.078 mg/mL para los extractos de hojas, y de 5 a 0.039 mg/mL para los extractos de semillas. El crecimiento bacteriano se confirmó añadiendo 50 µL de una solución indicadora de 2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolio (TTC) al 0.125% a cada pocillo. La visualización de un color rojo reveló actividad metabólica bacteriana, mientras que la ausencia de color indicó inhibición del crecimiento. Los valores de CMI se determinaron como la concentración más baja de los extractos capaz de inhibir el crecimiento visible (ausencia de color rojo) de las bacterias analizadas.

Análisis estadístico. Para el análisis fitoquímico preliminar, los datos se evaluaron de acuerdo a la reacción de cada prueba (ausencia o presencia). En el caso de contenido de polifenoles y flavonoides se obtuvo la media y desviación estándar de tres repeticiones. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) para distinguir diferencias entre tratamientos. Los valores de IC_{50} de la actividad antioxidante se determinaron mediante análisis de regresión lineal de tres repeticiones y las diferencias entre tratamientos se obtuvieron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico InfoStat.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis fitoquímico preliminar por cromatografía en capa fina de los diferentes extractos muestran reacciones similares en las diferentes pruebas realizadas (Cuadro 1). Todos los extractos evaluados contienen principalmente compuestos fenólicos, flavonoides y terpenos. Los alcaloides se detectaron principalmente en los extractos de hojas y semillas de *C. longirostrata* y *S. fruticosa*. Mientras que las saponinas se detectaron de forma abundante en los extractos de las semillas de *C. longirostrata* e *I. inicuil*. En el caso de taninos, solamente se detectaron en los extractos metanólicos de las hojas y semillas de *C. longirostrata* (Cuadro 1).

La presencia de alcaloides y compuestos fenólicos en los extractos metanólicos de las hojas de *C. longirostrata* coincide con lo reportado por López-López *et al*. (2022), quienes detectaron principalmente alcaloides de pirrolizidina en el extracto de las hojas de esta especie. En el caso de *I. inicuil* se ha reportado previamente la presencia de terpenos y flavonoides en los extractos hexánicos y de diclorometano de su corteza y hojas (Gallegos-García et al., 2022). La composición fitoquímica detectada en los extractos metanólicos y etanólicos de las hojas de *S. fruticosa* coincide con lo reportado en otras especies del género *Senna*, en donde se ha revelado la presencia de saponinas, flavonoides, fenoles, esteroides y alcaloides (Oladeji et al., 2021).

Cuadro 1. Resultados del análisis fitoquímico preliminar de los extractos metanólicos y etanólicos de las leguminosas utilizadas en el estudio.

Extracto	Metabolitos secundarios					
	Compuestos fenólicos	Flavonoides	Alcaloides	Saponinas	Terpenos	Taninos
Cl(H)-M	+++	+++	++	+	+++	+
Cl(H)-E	+++	+++	++	+	+++	-
Cl(Se)-M	++	+++	+++	+++	+++	+
Cl(Se)-E	+	-	+	+	+++	-
Sf(H)-M	++	++	++	+	+	-
Sf(H)-E	+++	+	++	+	++	-
Sf(Se)-M	+++	+++	+++	++	+++	-
Sf(Se)-E	+++	+++	+++	++	+++	-
Ii(H)-M	+++	+++	+	+	+++	-
Ii(H)-E	+++	+++	+	+	+++	-
Ii(Se)-M	-	-	-	+++	-	-
Ii(Se)-E	-	-	-	+++	-	-

Presencia y abundancia cualitativa de metabolitos secundarios: +++ Abundante, ++ moderado, +leve, - ausencia, Cl= *C. longirostrata*, Sf= *S. fruticosa*, Ii= *I. inicuil*, H= hojas, Se= semillas, M= metanol, E= etanol.

En el cuadro 2 se muestran los resultados del análisis de polifenoles totales y flavonoides totales de las hojas y semillas de las leguminosas evaluadas. En general, el mayor contenido de polifenoles y flavonoides se observaron en los extractos de las hojas (Cuadro 2). *S. fruticosa* presentó el contenido más alto de polifenoles y flavonoides (204.148 mg EAG/g y 5.609 mg EQ/g respectivamente), seguido por *I. inicuil* (132.826 mg EAG/g y 3.151 mg EQ/ respectivamente). El extracto de las hojas de *C. longirostrata* fue el que presentó el menor contenido de polifenoles y flavonoides (Cuadro 2). En relación con los extractos de semillas, *S. fruticosa* mostró el contenido más alto de polifenoles (15.190 mg EAG/g), mientras que *C. longirostrata* el de flavonoides (1.428 mg EQ/g). El extracto de las semillas de *I. inicuil* fue el que presentó los menores contenidos de polifenoles y flavonoides (1.892 mg EAG/g y 0.094 mg EQ/g respectivamente) (Cuadro 2).

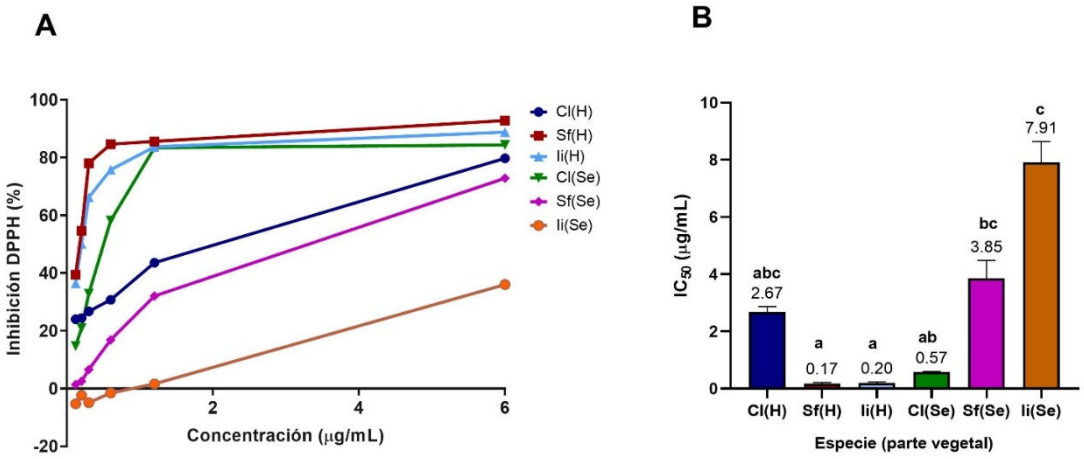
Cuadro 2. Polifenoles totales (mg EAG/g extracto) y flavonoides totales (mg EQ/g extracto) de los extractos metanólicos de las hojas y semillas de las leguminosas evaluadas.

Especie	Hojas		Semillas	
	Polifenoles	Flavonoides	Polifenoles	Flavonoides
C. longirostrata	45.142 ± 3.642^{c}	0.434 ± 0.017^{c}	5.226 ± 0.309^{b}	1.428 ± 0.201^{a}
S. fruticosa	204.148 ± 23.485^{a}	5.609 ± 0.123^{a}	15.190 ± 0.661^{a}	0.975 ± 0.297^{a}
I. inicuil	132.826 ± 15.839^{b}	3.151 ± 0.373^{b}	1.892 ± 0.090^{c}	0.094 ± 0.010^{b}

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes. Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

El extracto de las hojas de *C. longirostrata* mostró un contenido total de polifenoles más alto a los valores reportados en la literatura (Mendez-López et al., 2023). Por el contrario, el contenido de flavonoides en sus hojas, así como los contenidos de polifenoles y flavonoides de sus semillas fueron menores a lo reportado anteriormente (Mendez-López et al., 2023). En el caso de *S. fruticosa* e *I. inicuil* no hay reportes previos del contenido de polifenoles o flavonoides en sus hojas o semillas.

Los resultados del análisis del contenido de polifenoles y flavonoides coincide con el análisis fitoquímico preliminar por cromatografía en capa fina, en donde se detectó una presencia de abundante a moderada de compuestos fenólicos y flavonoides en los extractos metanólicos de las hojas de *S. fruticosa*, *C. longirostrata* e *I. inicuil* (Cuadro 1). Por otra parte, en las semillas de *I. inicuil* no se detectó la presencia de compuestos fenólicos ni de flavonoides en el análisis fitoquímico preliminar (Cuadro 1), y fueron las que presentaron el menor contenido de polifenoles y flavonoides



totales (Cuadro 2).
En relación con la actividad antioxidante, el extracto de las hojas de *S. fruticosa* mostró la mayor actividad, con una inhibición del DPPH del 92.79% y con un valor de IC_{50} de 0.17 µg/mL, seguido del extracto de hojas de *I. inicuil* y el extracto de las semillas de *C. longirostrata* (88. 77%, IC_{50} 0.20 µg/mL y 84.40 %, IC_{50} 0.57 µg/mL respectivamente). El extracto de las semillas de *I. inicuil* fue el que presentó la menor capacidad antioxidante con una inhibición del DPPH del 30.11% y una IC_{50} de 7.91 µg/mL (Figura 1).

Figura 1**.** Actividad antioxidante de los extractos metanólicos de las hojas y semillas de las leguminosas seleccionadas. A) Inhibición del radical DPPH. B) Valores de IC_{50}. Cl= *C. longirostrata*, Sf= *S. fruticosa*, Ii= *I. inicuil*, H= hojas, Se= semillas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Prueba de Kruskal-Wallis (p>0.05).

La actividad antioxidante se relaciona con la cantidad de polifenoles totales y el contenido de flavonoides, ya que son metabolitos que protegen a las plantas contra el daño oxidativo causado por radicales libres endógenos, además neutralizan los radicales libres lipídicos e impiden que los hidroperóxidos se descompongan en radicales libres. En este sentido, las hojas y semillas de *S. fruticosa* fueron las que mostraron el mayor contenido de polifenoles y flavonoides, en contraste con las semillas de *I. inicuil* que tuvieron un bajo contenido de estos metabolitos (Cuadro 2), lo que podría relacionarse con las diferencias que presentaron en la inhibición del DPPH e IC_{50}.

En el caso de la actividad antimicrobiana, los extractos de hojas y semillas de *S. fruticosa* tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento de las tres bacterias fitopatógenas evaluadas (Cuadro 3), ya que presentó los valores de CMI más bajos en comparación con los extractos de *C. longirostrata* e *I. inicuil*. El rango de inhibición de los extractos metanólicos y etanólicos de las hojas y semillas *S.*

fruticosa fue entre 0.3125–5 mg/mL, en donde el tipo de disolvente (metanol o etanol) no mostró diferencias en la actividad inhibitoria. La CMI más baja (0.3125 mg/mL) la presentaron los extractos de hojas de *S. fruticosa* frente a *C. michiganensis* subsp. *michiganensis*. Hasta la fecha, no hay reportes de la actividad antibacteriana *S. fruticosa*, sin embargo, se ha reportado que otras especies del género *Senna* tienen actividad antibacteriana.

El extracto etanólico de las hojas de *C. longirostrata* mostró actividad contra las bacterias evaluadas, con un rango de concentración de 5 y 10 mg/mL (Cuadro 3). Por otra parte, el extracto metanólico de las hojas de *I. inicuil* solamente mostró actividad contra las bacterias Gram negativas (Cuadro 1). Los resultados obtenidos coinciden con la actividad antibacteriana reportada de *I. inicuil* y *C. longirostrata* contra bacterias de importancia médica (Miranda-Granados et al., 2018; Gallegos-García et al., 2022).

Los extractos de metanol y etanol de las hojas de *S. fruticosa* mostraron la mejor actividad antibacteriana, y el metanólico también demostró alta actividad antioxidante. Además, en este extracto se detectó el mayor contenido de polifenoles y flavonoides, sugiriendo que estos compuestos podrían haber contribuido a las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de este extracto.

Especie	Parte vegetal	Extracto	CMI (mg/mL)		
			Cmm	Ps. pv. pha	Xsc
C. longirostrata	H	EtOH	5	10	10
		MeOH	5	-	-
	Se	EtOH	2.5	-	5
		MeOH	-	-	5
S. fruticosa	H	EtOH	0.3125	5	1.25
		MeOH	0.3125	5	1.25
	Se	EtOH	1.25	5	5
		MeOH	1.25	5	5
I. inicuil	H	EtOH	-	10	-
		MeOH	-	10	10
	Se	EtOH	-	-	5
		MeOH	-	-	-

Cuadro 3. Concentración Mínima Inhibitoria de los extractos metanólicos y etanólicos de las leguminosas utilizadas en el estudio.
CMI= Concentración Mínima Inhibitoria, Cmm= *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, Ps. pv. pha= *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*, Xsc= *Xanthomonas sacchari*.

Conclusiones

Este estudio demostró la presencia y abundancia de polifenoles, flavonoides, terpenos y alcaloides en los extractos de hojas y semillas de *C. longirostrata*, *S. fruticosa* e *I. inicuil*, confirmando su potencial bioactivo. Los resultados revelaron que el extracto metanólico de las hojas de *S. fruticosa* tiene un alto contenido de polifenoles y flavonoides, lo que podría estar relacionado con las propiedades antioxidantes y antibacterianas mostradas. Los trabajos futuros se centrarán en el aislamiento e identificación de estos metabolitos.

Referencias bibliográficas

Gallegos-García, A.J.; Lobato-García, C.E.; González-Cortazar, M.; Herrera-Ruiz, M.; Zamilpa, A.; Álvarez-Fitz, P.; Pérez-García, M.D.; López-Rodríguez, R.; Ble-González, E.A.; Medrano-Sánchez, E.J. 2022. Preliminary phytochemical profile and bioactivity of *Inga jinicuil* Schltdl & Cham. ex G. Don. Plants. 11(6): 794. https://doi.org/10.3390/plants11060794.

Miranda-Granados, J.; Chacón, C.; Ruiz-Lau, N.; Vargas-Díaz, M.E.; Zepeda, L.G.; Alvarez-Gutiérrez, P.; Meza-Gordillo, R.; Lagunas-Rivera, S. 2018. Alternative use of extracts of chipilín leaves (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn) as antimicrobial. Sustainability. 10: 883. https://doi.org/10.3390/su10030883

Mendez-Lopez, A.Y.; Lagunes-Espinoza, L. del C.; González-Esquinca A. R.; Hernández-Nataren, E.; Ortiz-García. C.F. 2023. Phenological characterization of chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.) and relationship between the phenological stage and chemical composition of leaves. South African Journal of Botany. 154: 140-148. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.006.

Oladeji, O.S.; Adelowo, F.E.; Oluyori, A.P. 2021. The genus Senna (Fabaceae): A review on its traditional uses, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology. South African Journal of Botany. 138: 1-32. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.11.017

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE ALMIDÓN DE YUCA PARA SÍNTESIS DE ECOFILMS

Janeth Peregrino-García[1], Gloria Ivonne Hernández-Bolio[2], Montserrat Soria-Castro[2], William Santiago González-Gómez[2], Damianys Almenares López[1], Manuel Mateo Hernández-Villegas[1] y Gloria Ivette Bolio-López [1*].

[1]Universidad Popular de la Chontalpa. Dirección de Ciencias Básicas e Ingenierías. [2]Departamento de Física Aplicada. Cinvestav Unidad Mérida

* Autor por correspondencia: gloria.bolio@upch.mx

Palabras clave: *Biopolímeros, bioplásticos, estabilidad térmica*.

Introducción

El almidón es uno de los carbohidratos más abundantes, renovables y biodegradables presentes en la naturaleza, compuesto principalmente por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina, cuya proporción y organización interna determinan sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. A pesar de la importancia del almidón de yuca, existe una limitada caracterización fisicoquímica sistemática que permita correlacionar su estructura molecular, grado de cristalinidad y comportamiento térmico con sus aplicaciones industriales (Chamorro *et al*., 2025). La falta de estudios comparativos y metodológicos dificulta optimizar su aprovechamiento en sectores emergentes como el bioempaque, la producción de biopolímeros y la ingeniería de materiales. Esta carencia de información genera un vacío científico y tecnológico que restringe la competitividad de la yuca frente a otras fuentes de almidón más estudiadas, como el maíz o la papa (Puri *et al*., 2025). Las cuales requieren ser analizadas tanto química como físicamente. La caracterización integral del almidón de yuca permite comprender cómo sus propiedades estructurales influyen en procesos como la gelatinización, la retrogradación y la formación de películas biodegradables. A demás de contribuir a la búsqueda de alternativas sostenibles frente a polímeros sintéticos, adecuarse con los principios de la economía circular y la mitigación del impacto ambiental (Xie *et al*., 2025). Y para el diseño de nuevos materiales innovadores, en sectores estratégicos de países productores de yuca, como México y otras regiones tropicales (Pires *et al*., 2021; Zhou *et al*., 2023). De ahí la importancia del conocimiento e identificación de las materias primas para obtener almidón. Dentro de las diversas fuentes de almidón, la yuca (*Manihot esculenta Crantz*) ocupa un lugar estratégico en regiones tropicales, no solo como alimento básico sino también como materia prima para las industrias alimentaria, farmacéutica, textil y de bioplásticos. A nivel nacional, el estado de Tabasco es el líder indiscutible en la producción de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), aportando el 86.6% del volumen total producido en el país, de acuerdo con los registros del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, 2024). Dentro del estado los municipios productores**;** la producción se concentra principalmente en la región de La Chontalpa y los Ríos, destacando como líderes Jalapa (el cual aporta 8,268.61 ton anuales, más del 30% de la producción nacional), Macuspana, Centla y Huimanguillo (Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, 2024). Su importancia radica en la alta pureza, versatilidad y ausencia de gluten, características que lo convierten en un recurso de gran potencial para el desarrollo de materiales sostenibles y aplicaciones tecnológicas avanzadas (Dorantes-Fuertes *et al*., 2024; Farias *et al*., 2026). Por lo que el objetivo de esta investigación fue caracterizar fisicoquímicamente el almidón de yuca variedad C45, mediante técnicas avanzadas como microscopía electrónica de barrido (SEM), difracción de rayos X (XRD) y análisis termogravimétrico (TGA), con el fin de establecer la relación entre su estructura molecular, grado de cristalinidad y comportamiento térmico. De esta manera, se busca generar información científica que sustente su aplicación en biopolímeros, promoviendo el uso sostenible de este recurso agrícola. El objetivo es caracterizar fisicoquímicamente el almidón de yuca variedad C45 mediante

técnicas avanzadas (FTIR, SEM, XRD y TGA) para evaluar su potencial en la síntesis de ecofilms biodegradables.

Materiales y métodos

Materiales. La yuca C45 fue proporcionada por el INIFAP campus Huimanguillo Tabasco, y el almidón de yuca fue proporcionado por el Laboratorio y Planta Piloto de Polímero de la Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH).
Caracterización morfológica. *Microscopía electrónica de barrido (SEM)*: Se utilizó un equipo JEOL para observar la forma, tamaño y distribución de los gránulos de almidón. Las muestras se recubrieron con oro-paladio para mejorar la conductividad eléctrica. *Parámetros evaluados:* diámetro promedio de gránulos, morfología (ovalada, esférica, irregular), presencia de cavidades o fisuras superficiales.
Caracterización estructural. *Difracción de rayos X (XRD)*: Se empleó un difractómetro D8 Advance para determinar el grado de cristalinidad y el tipo de polimorfismo (A, B o C). *Condiciones de análisis:* rango de 2θ entre 5° y 40°, con paso de 0.02°. Identificación de picos característicos de cristalinidad y cálculo del porcentaje de fase cristalina mediante el método de deconvolución de picos.
Caracterización térmica. *Análisis Termogravimétrico (TGA)*: Se evaluó la estabilidad térmica del almidón en un equipo TGA Q500. *Condiciones de análisis:* rango de temperatura de 25 °C a 600 °C, atmósfera de nitrógeno, velocidad de calentamiento de 10 °C/min. *Parámetros evaluados:* pérdida de masa en función de la temperatura, etapas de descomposición y temperatura de degradación máxima (Td).

Resultados y discusión

Caracterización del almidón de yuca variedad C-45
Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). En la micrografía SEM de las películas de almidón de yuca (BAY) (Fig. 1), se observó la morfología que poseen los gránulos de almidón, presentan una forma de esferas truncadas de superficie lisa, de tamaño homogéneo, cuyo diámetro promedio es de 11.0 ±4.8 µm, la morfología y dimensiones se encuentran dentro de los rangos reportados por Berti et al. (2023), tanto para variedad Sabanera y Esmeralda, asimismo Vargas-Escobar *et al.,* (2017) reportan diámetros promedio de 8.9(± 3.2) para la yuca Sabanera y 12.1(± 2.6) para la variedad Esmeralda.

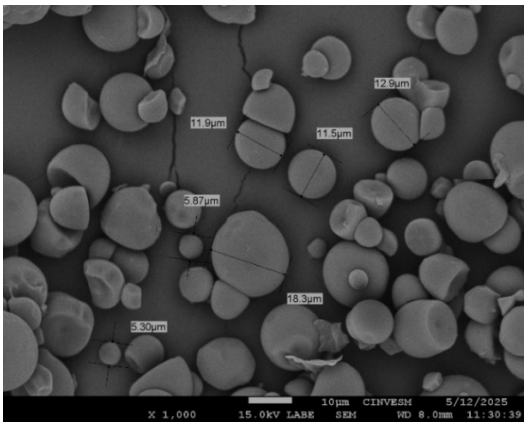


Figura 1. Micrografía (SEM) de los gránulos de almidón de yuca.
Difracción de Rayos X (XDR)

En la *figura 2* se muestran el difractogramas de rayos-X del almidón de yuca, se puede observar que la cristalinidad de almidón de yuca es de 50% y los picos principales se encuentran dentro del rango entre 15 a 30°; el almidón de yuca presenta el típico patrón de cristales tipo A, con los picos más intensos correspondientes al ángulo de Bragg (2Θ) 15°, 17°, 18° y 23°, los cuales concuerdan con estudios reportados por He et al. (2020) para yucas nativas de China, y similares a las reportadas por Vargas-Escobar et al. (2017), para los almidones de yuca Esmeralda y Sabanera, ecotipos nativos de Tabasco, México, asimismo a los almidones de Tef, reportados por Dekeba et al. (2023), en Etiopía.

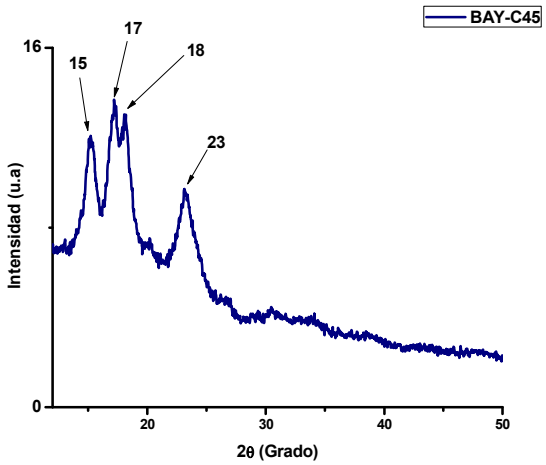


Figura 2. Difractograma de rayos X de almidón de yuca.

Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico de las muestras, representado en la figura 3, revela que la primera pérdida de peso significativa ocurre aproximadamente a 60 °C. Este comportamiento se atribuye a la naturaleza hidrófila de las fibras de celulosa presentes en el material, indicando la eliminación progresiva de agua adsorbida conforme aumenta la temperatura, comportamiento similar fue reportado por Ramírez *et al.,* (2023). La segunda etapa de pérdida por debajo de 300 °C puede atribuirse a la despolimerización de las cadenas de CNC, también la degradación de los anillos de glucosa anhidro de amilosa y amilopectina de almidón tal como lo reporta Wigati *et al.,* 2025.

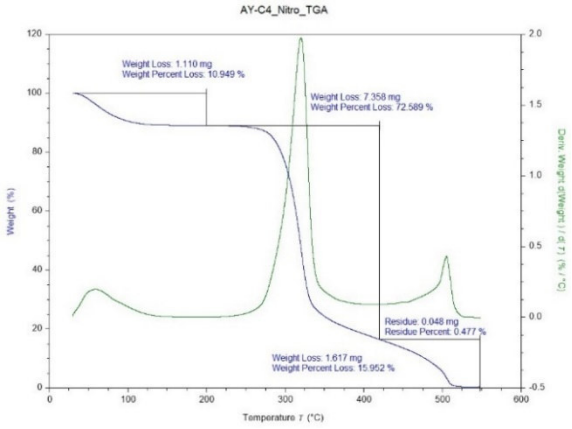


Figura 3. Termograma de almidón de yuca.

Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

El espectro FTIR (fig. 4), mostró una banda a 3279 cm $^{-1}$ que corresponde a los estiramientos simétrico y asimétrico de los enlaces -OH (Laccheri *et al.*, 2023); esta señal puede deberse a la presencia de moléculas de agua, la banda siguiente observada a 2929 cm^{-1}, se asocia al estiramiento asimétrico de los enlaces -CH, así como la banda a 1638 cm^{-1} correspondientes a la vibración de deformación de los grupos -OH (Weligama *et al.*, 2023). El rango de bandas de 1416 a 1336 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de flexión de C-H de los metilenos (Escobar *et al.*, 2017). Las bandas a 1244 y1206 cm^{-1} corresponden a la cadena lateral de CH_2-OH (Weligama *et al.,* 2023), el rango de bandas entre 1148 y 1076 cm^{-1} se atribuyen a las vibraciones de estiramiento de las uniones C-O-C de la glucosa (Escobar *et al.,* 2017). Las bandas de 995 cm^{-1} corresponden a los enlaces C-O-H (Weligama Thuppahige y otros, 2023) y a se observa una banda a 859 cm^{-1} atribuida al alargamiento simétrico de los grupos C-O del anillo piranósico del almidón Escobar *et al*. (2017).

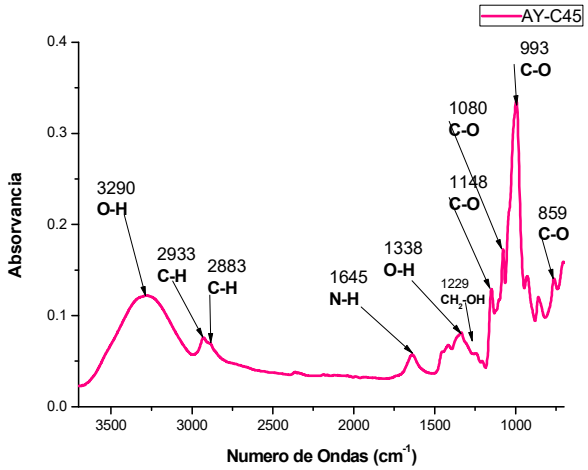


Figura 4. Espectros de almidón de yuca.

GRUPOS FUNCIONALES	cm^{-1}
Estiramientos simétrico y asimétrico de los enlaces **-OH**	3279
Estiramiento asimétrico de los enlaces **-CH**	2929
Deformación de los grupos **-OH**	1638
Flexión de **C-H** de los metilenos (Escobar *et al*., 2017)	1416 a 1336
Cadena lateral de **CH_2-OH**	1244 y1206
Estiramiento de las uniones C-O-C de la glucosa	1148 y 1076
Enlaces **C-O-H**	995
Alargamiento simétrico de los grupos **C-O** del anillo piranósico del almidón	859

Agradecimientos y fuente financiadora

Los análisis fueron realizados en el Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales, Cinvestav-IPN; financiado por los proyectos FOMIX-Yucatán 2008-108160, CONACYT LAB-2009-01-123913, 292692, 294643, 188345 y 204822. Se agradece a la Dra. Patricia Quintana por el acceso a LANNBIO, al M.C. Daniel Aguilar por la obtención de los difractogramas, a los Ings. Mario Herrera,

Ariel Bagundo y Daniel Brito por labores de mantenimiento correctivo del difractómetro, y al Dr. William Santiago González Gómez por la realización de los análisis FTIR y TGA

Referencias bibliográficas

Chamorro, A. F., Palencia, M., & Lerma, T. A. (2025). Caracterización fisicoquímica y propiedades del almidón de yuca: una revisión. *Polímeros, 17*. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym17121663

He, W., & Wei, C. (2017). Avances en almidones de tipo C procedentes de diferentes fuentes vegetales. *Hidrocoloides alimentarios, 73*, 162-175. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.003

Puri, A., Mohite, P., Ramole, A., Verma, S., Kamble, M., Ketan, R., & Singh, S. (2025). Avances en la ciencia del almidón: técnicas de aislamiento, estrategias de modificación y aplicaciones multifacéticas. *Macromol, 5*. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/macromol5030040

Weligama Thuppahige, V., Moghaddam, L., Moghaddam, L., G. Welsh, Z., Wang , T., Hong-Wei, X., & Karim, A. (2023). Extracción y caracterización de almidón de residuos agroindustriales de yuca (Manihot esculenta). *LWT, 182*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114787

Xie, Q., Fan, B., Tao, R., Wang, F., & Yufeng, S. (2025). Revisión exhaustiva del almidón: estructura, propiedades, modificación química y aplicación en la conservación de alimentos. *Fronteras alimentarias, 6*. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fft2.70040

Zhou, J. W., Guo, M., Qin, Y., Wang, W., Gobierno, N., Xu, E., Ding, T., Liu, D., & Wu, Z. (2023). Avances en nanopartículas de almidón para la estabilización de emulsiones. *Foods, 12*. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods12122425

EFECTO ANTIVIRAL DE LOS FITOFÁRMACOS CURCUMINA, RESVERATROL Y ÁCIDO GLICIRRICÍNICO CONTRA EL *Orthorubulavirus suis*

José Luis Cerriteño-Sánchez[1]*, Julieta Sandra Cuevas-Romero[1], Dalia González-Esparragoza[2], y Susana Elisa Mendoza-Elvira[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. Jiutepec, Morelos, México; [2]Laboratorio de Microbiología y Virología de las Enfermedades Respiratorias del Cerdo, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia: josluiscerr@gmail.com

Palabras clave: *Actividad antiviral, virus, cerdos.*

Introducción

La enfermedad del ojo azul (EOA) es una patología viral endémica de gran repercusión sanitaria y económica para la porcicultura en México, particularmente en las regiones del Bajío (Lara-Romero et al., 2024). Su agente causal, *Orthorubulavirus suis* (anteriormente denominado virus de La Piedad-Michoacán), pertenece a la familia *Paramyxoviridae* y ocasiona cuadros clínicos severos caracterizados por encefalomielitis, neumonía y opacidad corneal en lechones, así como fallas reproductivas severas en cerdos adultos que comprometen gravemente los índices productivos (Escobar-López et al., 2012).

El virión de *Orthorubulavirus suis* posee una envoltura lipídica y un genoma de ARN monocatenario de polaridad negativa. En su estructura destacan la glicoproteína hemaglutinina-neuraminidasa (HN), la cual media la adhesión a receptores con ácido siálico y la liberación de la progenie viral mediante actividad enzimática; la proteína de matriz (M), fundamental en el ensamblaje del virión; y la nucleoproteína (NP), indispensable en la encapsidación y conformación del complejo ribonucleoproteico. Debido a la escasez de tratamientos antivirales aprobados y a la limitada cobertura de plataformas vacunales, actualmente los metabolitos secundarios de origen vegetal representan una prometedora alternativa terapéutica.

El ácido glicirricínico (AG), el resveratrol (RVS) y la curcumina (CUR) han demostrado propiedades antivirales de amplio espectro en modelos médicos y veterinarios (Abba et al., 2015; Ardebili et al., 2021; García-Salazar et al., 2023). No obstante, su efecto biológico contra *Orthorubulavirus suis* no ha sido evaluado. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar *in vitro* la actividad antiviral y el perfil de selectividad del AG, RVS y CUR contra *Orthorubulavirus suis* en células MDBK, así como determinar su efecto inhibitorio sobre la neuraminidasa y explorar mediante acoplamiento molecular las posibles interacciones con las proteínas virales HN, M y NP.

Materiales y métodos

Sistema celular y virus. Se emplearon células Madin-Darby bovine kidney (MDBK) mantenidas en medio DMEM suplementado con 5% de suero fetal bovino y gentamicina (50 µg/mL) a 37 °C y 5% de CO_2. Se utilizó el aislado de referencia PRV/Mx/2/Jalisco/2009 de *Orthorubulavirus suis*, proporcionado por el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI, INIFAP). Los fitocompuestos AG, RVS y CUR (pureza ≥95%, Sigma-Aldrich) se resuspendieron en DMSO, asegurando concentraciones finales del vehículo ≤0.1% (v/v).

Evaluación de citotoxicidad y actividad antiviral. La citotoxicidad se determinó mediante el ensayo colorimétrico de MTT posterior a las 48 h de exposición a concentraciones de 10 a 1000 µM de cada compuesto, calculando la concentración citotóxica 50 (CC_{50}) mediante regresión no lineal sigmoidea. Para los bioensayos antivirales se evaluó el intervalo no citotóxico de 5 a 20 µM. La infectividad viral se cuantificó mediante la dosis infectiva en cultivo de tejidos 50% ($TCID_{50}$/mL) empleando el método

de Reed-Muench, y la titulación por reducción de unidades formadoras de placas líticas (PFU/mL). La concentración inhibitoria 50 (IC_{50}) se estimó por regresión dosis-respuesta y se determinó el índice de selectividad (IS = CC_{50}/IC_{50}).

Inhibición de neuraminidasa y hemaglutinación. La actividad enzimática de la neuraminidasa de la proteína HN se cuantificó con el sustrato fluorogénico MUNANA (2.1–33.3 µM de fitocompuestos) registrando la fluorescencia a 350/460 nm (Synergy HTX, Agilent BioTek). Para el compuesto más activo se determinaron los parámetros cinéticos K_m, V_{max} y K_i mediante cinéticas de Michaelis-Menten y representaciones de Lineweaver-Burk. La interferencia con la unión al receptor celular se evaluó mediante inhibición de la hemaglutinación (15–200 µM) empleando eritrocitos de pollo al 0.5% en PBS.

Modelado estructural y docking molecular. Los modelos tridimensionales de las proteínas virales HN, M y NP se construyeron por homología en Phyre2 y se validaron mediante RMSD (<1 Å) y Q-score. El docking molecular se ejecutó en AutoDock Vina v1.1.2 para identificar los sitios de interacción y el análisis de las conformaciones se realizó en el software Maestro 14.6.

Diseño experimental y análisis estadístico. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres repeticiones independientes por tratamiento. Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía con prueba de Dunnett (viabilidad celular) y ANOVA de dos vías con prueba de comparación múltiple de Tukey (ensayos antivirales y reducción de placas) empleando GraphPad Prism v10.0, considerando significancia con $p < 0.05$.

Resultados y discusión

Citotoxicidad y eficacia antiviral. El AG exhibió la mayor biocompatibilidad celular con una CC_{50} > 1000 µM, mientras que RVS y CUR presentaron valores de CC_{50} de 78.21 ± 3.68 µM y 22.74 ± 1.27 µM, respectivamente (Figura 1).

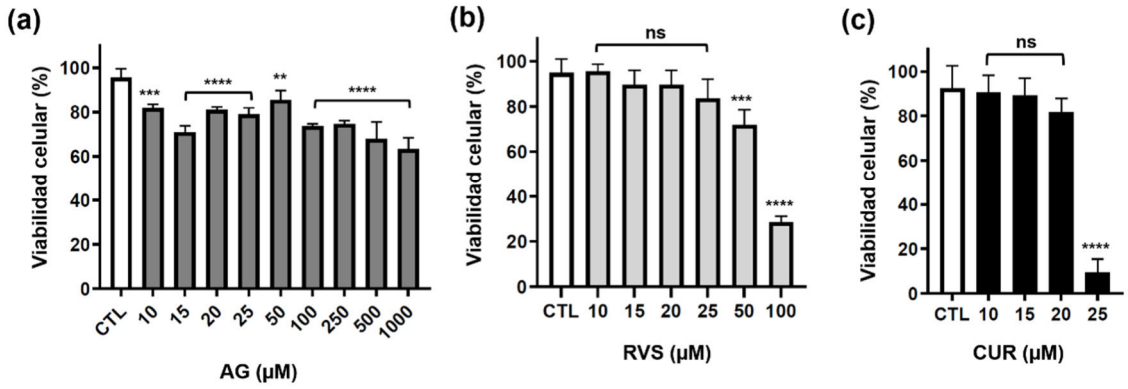


Figura 1. Efecto de fitocompuestos en la viabilidad de células MDBK. Viabilidad celular (MTT) después de 48 h de exposición a concentraciones crecientes de AG (a), RVS (b) y CUR (c). Media ± DE (n=3). ANOVA de una vía y prueba de Dunnett (*p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001; ****p < 0.0001; ns: no significativo).

En el intervalo de 5 a 20 µM, los tres fitocompuestos redujeron significativamente la progenie viral infecciosa en comparación con el control no tratado (Figura 2a-b).

A una concentración de 5 µM, RVS y CUR alcanzaron inhibiciones cercanas al 80% en la formación de placas líticas, mientras que AG requirió concentraciones superiores para alcanzar niveles comparables (Figura 2b). Asimismo, los tratamientos preservaron la integridad de la monocapa celular y redujeron drásticamente la formación de sincitios, un fenotipo característico de la infección (Figura 2c).

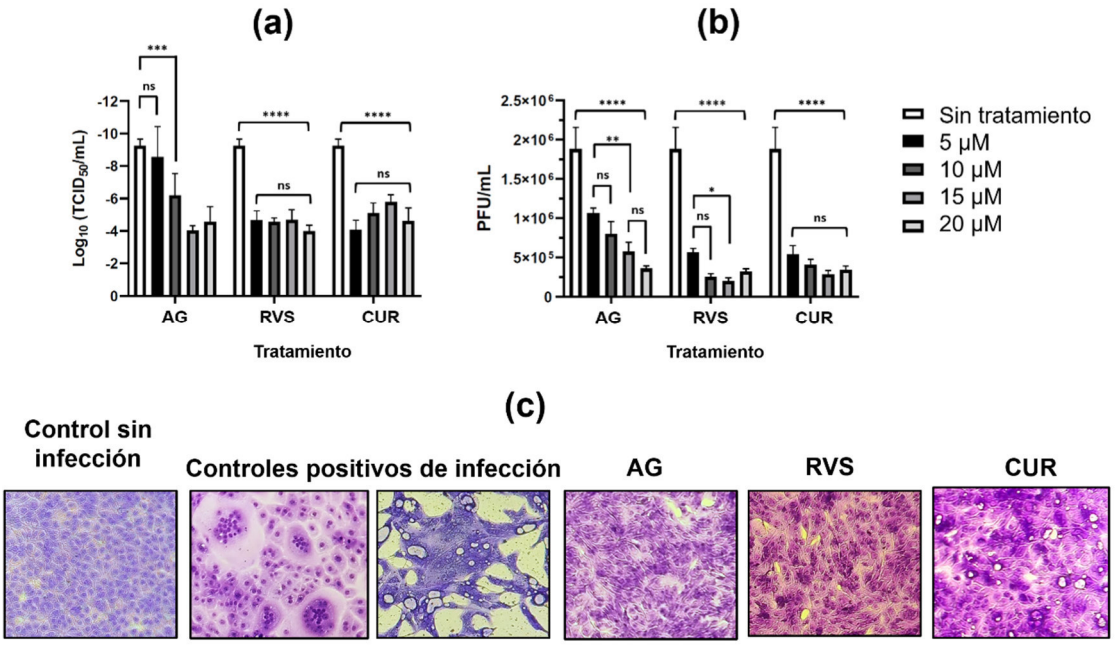


Figura 2. Efecto de fitocompuestos sobre la infección por *Orthorubulavirus suis* en células MDBK. (a) Títulos virales (LogTCID$_{50}$/mL, Reed-Muench). (b) reducción de placas líticas (PFU/mL) después del tratamiento con AG, RVS y CUR (5-20 µM); media ±DE (n=3), ANOVA de dos vías y prueba de Tukey (*p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001; ****p < 0.0001; ns: no significativo). (c) Microfotografías representativas (10 X) de células control sin infectar, infectadas sin tratamiento (vacuolización citoplásmica y sincitios) y tratamientos con los fitocompuestos.

En el ensayo de reducción de placas, CUR demostró la mayor potencia antiviral con una IC_{50} de 2.4 ± 0.6 µM, seguida por RVS (4.3 ± 0.6 µM) y AG (7.0 ± 2.2 µM). No obstante, el AG presentó el índice de selectividad más elevado (IS > 142.9) debido a su nula toxicidad en el rango evaluado, lo que resalta la importancia del margen de seguridad terapéutica por encima de la potencia absoluta (Cuadro 1). En cuanto al efecto sobre la actividad de la neuraminidasa, CUR demostró una mayor potencia inhibitoria con una IC_{50} de 12.91 ± 1.50 µM, seguido por AG (24.60 ± 12.30 µM) y RVS (66.34 ± 5.10 µM) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Perfil de citotoxicidad, actividad antiviral y selectividad de los fitocompuestos evaluados frente a *Orthorubulavirus suis* en células MDBK.

Tratamiento	Citotoxicidad MTT CC_{50} (µM)	Reducción placas IC_{50} (µM)	Índice Selectividad (IS antiviral)	Inhibición NA IC_{50} (µM)
Ácido glicirricínico	> 1000	7.0 ± 2.2	> 142.9	24.60 ± 12.30
Resveratrol	78.21 ± 3.68	4.3 ± 0.6	18.2	66.34 ± 5.10
Curcumina	22.74 ± 1.27	2.4 ± 0.6	9.5	12.91 ± 1.50

Valores expresados como media ± desviación estándar de tres repeticiones independientes. CC_{50}: concentración citotóxica 50%; IC_{50}: concentración inhibitoria 50%; NA: neuraminidasa; IS: CC_{50}/IC_{50}.

Mecanismo de acción enzimático y acoplamiento molecular. Debido a que CUR fue el inhibidor más eficaz de la neuraminidasa de HN, el análisis cinético reveló una reducción dependiente de concentración en la V_{max} manteniendo constante el valor de K_m, lo cual indica que la inhibición es de tipo no competitivo (K_i = 32.91 µM). La ausencia de inhibición en el ensayo de hemaglutinación sugiere que los fitocompuestos no interfieren de forma significativa en el reconocimiento inicial de receptores celulares con ácido siálico, un paso esencial en la adsorción inicial del virus.

Las simulaciones de acoplamiento molecular mostraron los siguientes hallazgos: AG interactuó directamente en la cavidad catalítica de la HN (Figura 3a), mientras que RVS y CUR mostraron afinidad por una cavidad secundaria (Figuras 3b-c), congruente con el mecanismo no competitivo observado para CUR. En las otras proteínas dianas, AG interactuó con la hélice α2 de la proteína M (Figura 3d) y el bucle 20–46 de NP (Figura 3g); en contraste, RVS y CUR interactuaron con la hélice α13 de la proteína M (Figuras 3e-f) y en regiones adyacentes al surco de unión al ARN y la hélice α16 de NP (Figuras 3h-i). Estas predicciones sugieren una interferencia multifactorial en la oligomerización y empaquetamiento del complejo ribonucleoproteico viral.

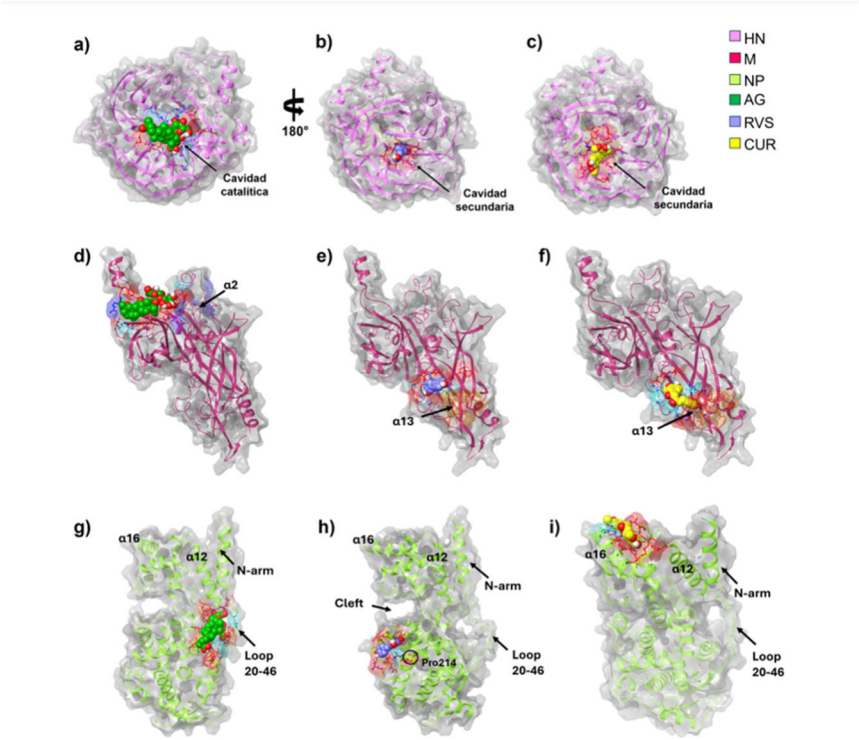


Figura 3. Acoplamiento molecular de fitocompuestos con proteínas estructurales de Orthorubulavirus suis. Predicción de interacciones proteína-ligando para AG, RVS y CUR. Complejos con la glicoproteína HN: acoplamiento de AG en el sitio catalítico (a) y de RVS y CUR en una cavidad secundaria (b, c). Interacciones con la proteína de matriz (M) para AG (d), RVS (e) y CUR (f). Interacciones con la nucleoproteína (NP) para AG (g), RVS (h) y CUR (i).

Conclusiones

El ácido glicirricínico, el resveratrol y la curcumina demostraron su potencial antiviral *in vitro* frente a *Orthorubulavirus suis* en células MDBK. La curcumina presentó el mayor efecto inhibitorio sobre la reducción de partículas infecciosas y la actividad de la neuraminidasa mediante un mecanismo no competitivo, mientras que el ácido glicirricínico mostró el mayor índice de selectividad y seguridad celular. Los acoplamientos moleculares sugieren un mecanismo de acción multiblanco que involucra

a las proteínas HN, M y NP, posicionando a estos fitocompuestos como candidatos naturales prometedores para el desarrollo de estrategias biotecnológicas y fitofarmacéuticas de control contra la enfermedad del ojo azul en el ganado porcino.

Agradecimientos y fuente financiadora

Los autores agradecen al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM mediante los proyectos IN221926 y CI2612. El proyecto de fiscales otorgado por el CENID-SAI del INIFAP “Evaluación de compuestos inmunomoduladores y antivirales para el tratamiento de la enfermedad del ojo azul de los cerdos” (No. SIGI: 2192136578), así como al Programa de Becas Posdoctorales DGAPA-UNAM 2025-1.

Referencias bibliográficas

Abba, Y., H. Hassim, H. Hamzah and M. M. Noordin. 2015. Antiviral Activity of Resveratrol against Human and Animal Viruses. Advances in Virology 2015: 1–7.

Ardebili, A., Pouriayevali, M.H., Aleshikh, S., Zahani, M., Ajorloo, M., Izanloo, A., Siyadatpanah, A., Nikoo, H.R., Wilairatana, P., Coutinho, H.D.M., 2021. Antiviral therapeutic potential of curcumin: An update. Molecules 2021;26.

Escobar-López, A. C., J. F. Rivera-Benitez, H. Castillo-Juárez, H. Ramírez-Mendoza, M. E. Trujillo-Ortega and J. I. Sánchez-Betancourt. 2012. Identification of antigenic variants of the porcine rubulavirus in sera of field swine and their seroprevalence. Transboundary and Emerging Diseases 59(5): 416–420.

García-Salazar, G., Z. Urbán-Morlán, S. Mendoza-Elvira, D. Quintanar-Guerrero and S. Mendoza. 2023. Broad Antiviral Spectrum of Glycyrrhizic Acid for Human and Veterinary Medicine: Reality or Fiction? Intervirology 66(1): 41–53.

Lara-Romero, R., J. L. Cerriteño-Sánchez, M. A. Castañeda-Montes, H. Ramírez-Mendoza and J. S. Cuevas-Romero. 2024. Seroepidemiology for *Orthorubulavirus suis* in Mexican Pigs by Development of an Indirect ELISA Based on a Recombinant NP Protein. Pathogens 13(12): 1135.

PRODUCCIÓN RECOMBINANTE DE CRY1BA DE *B. THURINGIENSIS* CON POTENCIAL APLICACIÓN CONTRA INSECTOS CAUSANTES DE PLAGAS

José Luis Cerriteño-Sánchez[1]*, Julieta Sandra Cuevas-Romero[1], Dalia González-Esparragoza[2], y Susana Elisa Mendoza-Elvira[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. Jiutepec, Morelos, México; [2]Laboratorio de Microbiología y Virología de las Enfermedades Respiratorias del Cerdo, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.
*Autor para correspondencia: josluiscerr@gmail.com

Palabras clave: *Cry, proteína, miasis, GBG.*

Introducción

Actualmente las plagas ocasionadas por insectos representan un problema para el sector agrícola y pecuario. En particular, la mosca del gusano barrenador del ganado (GBG) ha vuelto a emerger como una plaga que afecta de manera importante al ganado, generando pérdidas millonarias y ha encendido las alarmas a nivel nacional. El uso de insecticidas como la ivermectina han controlado tradicionalmente este tipo de plagas, pero pueden generar resistencia y contaminan el ambiente. En este sentido, las proteínas Cry de *B. thuringiensis* constituyen una opción biológica específica y segura debido a su mecanismo de acción altamente selectivo. Estas pro-toxinas se activan bajo condiciones de pH alcalino y proteólisis específica en el intestino medio del insecto [1]. Una vez activas, se unen a receptores específicos (cadherinas, aminopeptidasas o fosfatasas alcalinas) en las microvellosidades del epitelio intestinal, insertándose en la membrana para formar poros líticos que rompen el equilibrio osmótico, provocando parálisis del tracto digestivo y la muerte de la larva por inanición o septicemia [1,2]. También se ha descrito que esta interacción puede desencadenar una cascada de señalización citotóxica mediada por proteínas G, AMPc y proteinquinasa A, induciendo la apoptosis del insecto [2]. Específicamente, las variantes Cry1Ba y Cry1Ab han demostrado una elevada toxicidad contra larvas de dípteros causantes de miasis en ovinos. En ensayos in vivo, las preparaciones de alguna de estas proteínas lograron inhibir el desarrollo larvario sin afectar la salud del hospedero hasta por 6 semanas [3,4]. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue la expresión de manera recombinante de la proteína Cry1Ba, con potencial para su aplicación contra plagas ocasionadas por insectos que afectan la producción pecuaria.

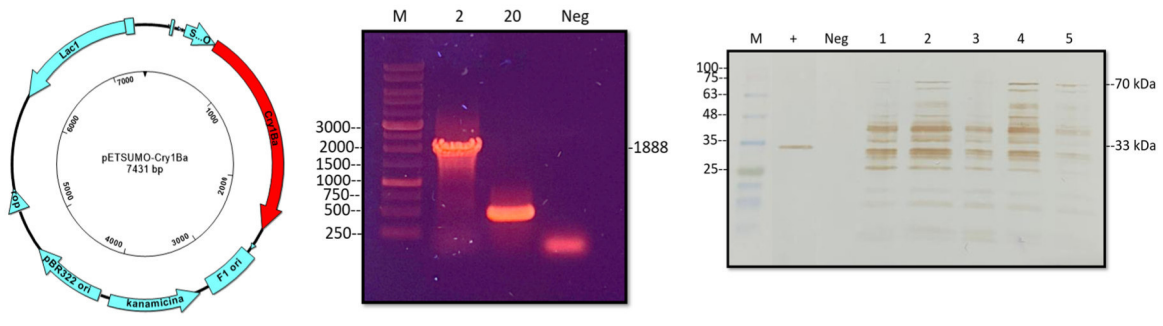
Materiales y métodos

Para la obtención de la proteína Cry1Ba, se diseñó un gen sintético para clonarlo en fase con el vector de expresión pETSUMO. Para ello, el marco de lectura abierto (ORF) de la proteína Cry1Ba de *B. thuringiensis* se tomó de la base de datos del GenBank (número de acceso: X06711.1) de 1788 pb, así como también se diseñaron oligos específicos para amplificarlo y clonarlo con el vector de expresión (Fw 5´- GTTAGCGCATCAACAGTCCAAAC-3´ y Rev 5´-CTACTAGAAGGTTGCAGTAACTGGAA-3´). Posteriormente, mediante PCR punto final, se amplificó y purificó el gen Cry1Ba, el cual se subclonó en el vector de expresión pETSUMO y se caracterizó mediante PCR-secuenciación. Para determinar si el inserto quedó en fase con el vector de expresión se llevó a cabo una PCR usando el oligo Fw-SUMO (5´-AGATTCTTGTACGACGGTATTAG-3´) que hibrida dentro del vector y el oligo Rev-Cry1Ba, lo que amplificó un producto de 1888 pb y una vez confirmada la correcta inserción del gen, el plásmido fue nombrado pETSUMO-Cry1Ba. Células competentes de E. coli Top10 y BL21(DE3) fueron preparadas con cloruro de calcio y magnesio para propagar el ADN y también para expresión. Posteriormente, se transformaron mediante choque térmico con el plásmido pETSUMO-Cry1Ba y las

colonias fueron seleccionadas en medio LB+Kanamicina (50 ug/mL). Para las pruebas de expresión, se seleccionaron varias colonias candidatas que fueron propagadas en medio LB sin antibiótico comenzando a 0.1 UA (unidades de absorbancia a 600 nm), una vez que el cultivo alcanzó las 0.5 UA se agregó IPTG a 1.5 mM como inductor en las cepas seleccionadas para comenzar con la producción de la proteína y se dejaron crecer 18 hrs a 37°C, 250 rpm, las cepas fueron denominadas BL21-Cry1Ba. Finalmente, se corroboró la presencia de la proteína producida al analizar los paquetes celulares mediante condiciones reductoras, ajustados a 0.6 UA para homogeneizar la cantidad de proteína analizada, las fracciones de proteínas totales se analizaron mediante SDS-PAGE con tinción Coomassie y para su inmunodetección, se utilizó la técnica de Western Blot (WB). Para ello, las proteínas fueron transferidas a una membrana de nitrocelulosa, se bloqueó con leche descremada (5% de leche, PBS-Tween al 0.1%) y se utilizó el anticuerpo anti 6his (1:5000) como anticuerpo primario, como anticuerpo secundario se usó anti IgG de ratón peroxidado (1:5000), y para identificar la presencia de la proteína recombinante se reveló con diaminobencidina DAB (0.025 gr de DAB, 10 mL de PBS, 300 uL de agua oxigenada). Para la purificación de la proteína; 100 mL de medio LB inducido fue centrifugado para recuperar la biomasa y las células fueron homogeneizadas en un Gaulin a 6000 psi de presión por 15 minutos, posteriormente los cuerpos de inclusión fueron recuperados por centrifugación a 8000 rpm 20 min y solubilizados en sarcosyl (Tris-HCl 50 mM pH 8, 9% sarcosyl) en agitación constante durante 16 horas. Los cuerpos de inclusión se cargaron a una columna de afinidad (His-Trap 5 mL) con 3.5 volúmenes de columna (VC), la columna fue equilibrada y lavada con 5 VC de Tris-HCl 50 mM pH 8, posteriormente, la proteína fue eluida con 250 mM de imidazol. Las fracciones obtenidas de la columna fueron analizadas mediante SDS-PAGE y WB. Finalmente, la proteína fue denominada rCry1Ba.

Resultados y discusión

El gen Cry1Ba de 1788 pb fue clonado exitosamente en fase con el vector de expresión, lo cual generó un sistema de expresión recombinante para la proteína Cry1Ba (pETSUMO-Cry1Ba) inducible con IPTG (Figura 1A), el cual quedó en fase con el vector de expresión y al analizar su correcta orientación, generó un producto de 1888 pb (Figura 1B). Una vez obtenido el plásmido pETSUMO-Cry1Ba, se usó para transformar células competentes de BL21(DE3), que son cepas capaces de producir las proteínas recombinantes, las colonias fueron seleccionadas como resistentes a kanamicina y fueron propagadas en medio LB hasta su crecimiento óptimo, después fueron inducidas con IPTG y al analizar los paquetes celulares en condiciones reductoras, la proteína Cry1Ba fue detectada al peso molecular esperado de 70 kDa tanto en SDS-PAGE como WB como una señal específica (Figura 1C). Sin embargo, al ser una proteína de alto peso molecular, varias degradaciones fueron detectadas.



[A] [B] [C]

Figura 1. Construcción de un sistema de expresión recombinante pETSUMO-Cry1Ba. [A] representación gráfica del vector de expresión pETSUMO-Cry1Ba que contiene un marcador de

resistencia de kanamicina, [B] PCR de varios plásmidos con el inserto del gen Cry1Ba de 1788 pb; M) marcador de peso molecular, 2-20) plásmidos seleccionados, neg) control negativo. [C] WB usando anticuerpos anti-6his en varias clonas seleccionadas +) control positivo de expresión, Neg) control negativo de expresión, 1-5) clonas de expresión seleccionadas.

Una vez obtenida la proteína Cry1Ba en el sistema de expresión de *E. coli*, fue purificada por cromatografía de afinidad, obteniéndose la proteína en un solo paso con un alto grado de pureza (Figura 2).

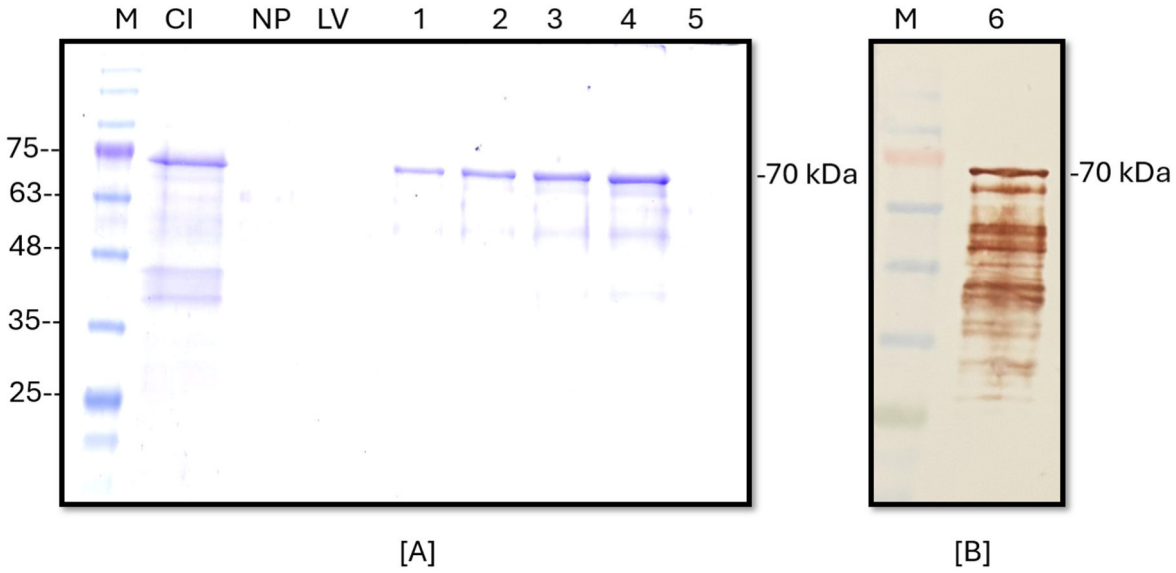


Figura 2. Purificación de la proteína rCry1Ba. [A] SDS-PAGE y [B] WB. M) Marcador de peso molecular, CI) Cuerpo de inclusión obtenido de la cepa expresada, NP) Proteínas no pegadas a la columna, LV) proteínas lavadas de la columna, 1-5) eluciones de la proteína Cry1Ba, 6) WB de la proteína purificada de columna.

Como se aprecia en la figura anterior, se obtuvo la proteína rCry1Ba en un solo paso por la columna al peso molecular esperado de 70 kDa, la cual se observa en las eluciones y fue eficientemente detectada mediante WB usando anticuerpos específicos contra la etiqueta 6his. El rendimiento de este proceso fueron 120 ug/mL, lo que representa un buen rendimiento que abre las puertas para probarlo en gusanos de GBG.

Conclusiones

El gen Cry1Ba de 1788 pb fue clonado exitosamente en fase con el vector de expresión, lo cual generó un sistema de expresión recombinante para la proteína Cry1Ba (pETSUMO-Cry1Ba) inducible con IPTG. Varias colonias resistentes a kanamicina fueron seleccionadas como candidatas a producir la proteína Cry1Ba, la cual fue detectada al peso molecular esperado de 70 kDa tanto en SDS-PAGE como WB como una señal específica. Sin embargo, al ser una proteína de alto peso molecular, varias degradaciones fueron detectadas. Sin embargo, la obtención de proteínas con algún porcentaje de degradación, no ha afectado su actividad biológica final, como se ha demostrado en trabajos publicados por nuestro grupo de trabajo usando el mismo sistema de expresión. Finalmente, la proteína pudo ser purificada mediante cromatografía de afinidad en un solo paso con un rendimiento bueno que permite su uso en ensayos de toxicidad contra larvas del GBG.

Agradecimientos y fuente financiadora

Este trabajo fue apoyado por el proyecto fiscal “Producción y evaluación de proteínas recombinantes derivados de Bacillus thuringiensis contra la miasis por gusano barrenador del ganado (GBG)” del INIFAP 2026.

Referencias bibliográficas

Krishnan, J. K. S., Moffett, J. R., & Namboodiri, A. M. (2025). Organophosphate Insecticides: A Brief Overview of Global Use and Their Treatment with Short-Duration Isoflurane. Agrochemicals, 4(4), 22. https://doi.org/10.3390/agrochemicals4040022.

Lucena WA, Pelegrini PB, Martins-de-Sa D, Fonseca FCA, Gomes JE, de Macedo LLP, et al. (2014). Molecular approaches to improve the insecticidal activity of Bacillus thuringiensis cry toxins. Toxins (Basel). 6(8):2393–423. https://doi.org/10.3390/toxins6082393

Bravo A, Gill SS, Soberón M. (2007). Mode of action of Bacillus thuringiensis Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. Toxicon. 15;49(4):423–35. doi: 10.1016/j.toxicon.2006.11.022.

Heath ACG, Broadwell AH, Chilcott CN, Wigley PJ, Shoemaker CB. (2004). Efficacy of Native and Recombinant Cry1B Protein Against Experimentally Induced and Naturally Acquired Ovine Myiasis (Fly Strike). 97(6):1797-804. doi: 10.1093/jee/97.6.1797.

ESTRATEGIA BIO-DIRIGIDA PARA EL DESCUBRIMIENTO DE CANDIDATOS HERBICIDAS A PARTIR DE CIANOBACTERIAS MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE BIOENSAYOS, FRACCIONAMIENTO Y METABOLÓMICA

Juan Fabricio Lazcano-Escobar[1], Tonatiu Campos-García[1], Nutan Prasad Rout[1], Nayeli Sarahí Quiñones-Islas[2]*

[1]Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Subsede Zapopan, Jalisco, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México, Campo experimental Tecomán, Colima, México.
*Autor para correspondencia: quinones.nayeli@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Bioherbicidas, aleloquímicos, cianobacterias, metabolómica, bioprospección.*

Introducción

Las malezas constituyen uno de los principales factores que limitan la productividad agrícola a nivel mundial, ocasionando pérdidas significativas en el rendimiento de los cultivos e incrementando los costos de producción. Aunque los herbicidas sintéticos continúan siendo la principal herramienta para su control, el uso intensivo de estos compuestos ha favorecido la evolución de poblaciones resistentes, además de generar preocupaciones relacionadas con su persistencia ambiental y sus efectos sobre organismos no objetivo. En este contexto, los bioherbicidas derivados de productos naturales han cobrado un creciente interés como alternativas más sostenibles para el manejo integrado de arvenses (Duke et al., 2024).

Entre las fuentes más promisorias para el descubrimiento de nuevos compuestos bioactivos destacan las cianobacterias, debido a su extraordinaria diversidad metabólica y a su capacidad para producir metabolitos secundarios con múltiples actividades biológicas. Los avances recientes en metabolómica y otras tecnologías ómicas han ampliado considerablemente el conocimiento sobre estos metabolitos y han acelerado la exploración de su potencial biotecnológico. Sin embargo, la identificación de moléculas bioactivas continúa representando un reto, principalmente por la elevada complejidad química de los extractos naturales y por la necesidad de integrar diferentes herramientas analíticas para priorizar eficientemente los compuestos de interés (Baunach et al., 2024).

La mayoría de los estudios disponibles se ha enfocado en evaluar la actividad biológica de extractos o en caracterizar sus perfiles químicos de manera independiente. En consecuencia, aún son escasos los enfoques metodológicos que integren de forma sistemática el cribado biológico, la validación experimental, el fraccionamiento guiado por bioactividad y la metabolómica no dirigida dentro de un mismo flujo de trabajo. La ausencia de estrategias integrales dificulta la reducción progresiva de la complejidad química de los extractos y limita la identificación objetiva de metabolitos candidatos para estudios posteriores de elucidación estructural y validación funcional (Ocán-Torres et al., 2024).

Con base en estas consideraciones, en el presente trabajo se propone una estrategia bio-dirigida para el descubrimiento de candidatos herbicidas derivados de cianobacterias, la cual integra herramientas microbiológicas, bioensayos, validación experimental, fraccionamiento cromatográfico, metabolómica no dirigida y análisis computacional dentro de un flujo metodológico diseñado para acelerar la priorización de metabolitos con potencial bioherbicida. Esta estrategia busca proporcionar un marco experimental reproducible y transferible para la bioprospección de productos naturales aplicados al desarrollo de alternativas sostenibles para el manejo de arvenses.

Materiales y métodos

Se diseñó un flujo de trabajo compuesto por cuatro módulos secuenciales: (i) descubrimiento biológico, mediante el cultivo de cianobacterias, obtención de extractos y cribado inicial de actividad fitotóxica; (ii) validación experimental, orientada a confirmar la reproducibilidad de la actividad biológica y descartar posibles artefactos asociados al procedimiento experimental; (iii) descubrimiento químico, mediante fraccionamiento guiado por bioactividad y caracterización

metabolómica no dirigida de las muestras priorizadas; y (iv) priorización de candidatos, integrando la información biológica y química para seleccionar un conjunto reducido de metabolitos de interés para su posterior identificación estructural y validación funcional (Figura 1)

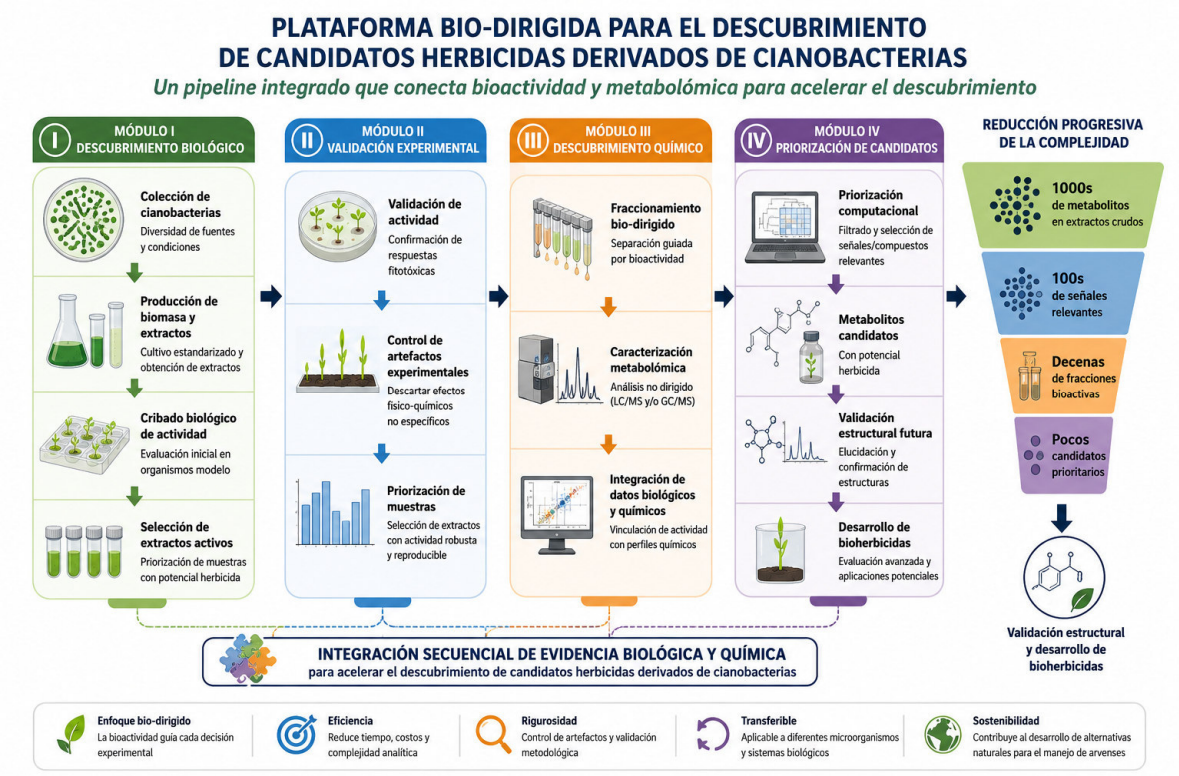


Figura 1. Estrategia bio-dirigida para el descubrimiento de candidatos herbicidas derivados de cianobacterias.

Resultados y discusión

La implementación de la estrategia permitió integrar de forma secuencial la evidencia biológica y química generada durante cada etapa del proceso de descubrimiento. El enfoque bio-dirigido facilitó la reducción progresiva de la complejidad analítica de los extractos, priorizando únicamente aquellas muestras con actividad biológica reproducible para su caracterización metabolómica. La integración de los resultados obtenidos mediante bioensayos, fraccionamiento y análisis metabolómico permitió establecer criterios objetivos para la selección de metabolitos candidatos, optimizando el proceso de descubrimiento y reduciendo el número de compuestos que requieren estudios posteriores de elucidación estructural.

Conclusiones

La estrategia propuesta constituye una estrategia metodológica reproducible para la bioprospección de metabolitos con potencial herbicida a partir de cianobacterias. La integración secuencial de bioensayos, fraccionamiento y metabolómica permite disminuir la complejidad química de los extractos y mejorar la eficiencia en la priorización de candidatos bioactivos. Debido a su estructura modular, este flujo de trabajo puede adaptarse a diferentes microorganismos y plataformas analíticas, representando una herramienta útil para el descubrimiento de nuevos bioherbicidas de origen natural.

Referencias bibliográficas

Baunach, M., Guljamow, A., Miguel-Gordo, M., & Dittmann, E. (2024). Harnessing the potential: advances in cyanobacterial natural product research and biotechnology. *Natural Product Reports*, *41*(3), 347–369. https://doi.org/10.1039/D3NP00045A

Duke, S. O., Twitty, A., Baker, C., Sands, D., Boddy, L., Travaini, M. L., Sosa, G., Polidore, A. L. A., Jhala, A. J., Kloeber, J. M., Jacq, X., Lieber, L., Varela, M. C., Lazzaro, M., Alessio, A. P., Ladner, C. C., Fourches, D., Bloch, I., Gal, M., … Dayan, F. E. (2024). New Approaches to Herbicide and Bioherbicide Discovery. *Weed Science*, *72*(5), 444–464. https://doi.org/10.1017/WSC.2024.54

Ocán-Torres, D., Martínez-Burgos, W. J., Manzoki, M. C., Soccol, V. T., Neto, C. J. D., & Soccol, C. R. (2024). Microbial Bioherbicides Based on Cell-Free Phytotoxic Metabolites: Analysis and Perspectives on Their Application in Weed Control as an Innovative Sustainable Solution. *Plants 2024, Vol. 13, Page 1996*, *13*(14), 1996. https://doi.org/10.3390/PLANTS13141996

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA PROTEÍNA RECOMBINANTE Cry1Ba DE *B. thuringiensis* CONTRA LARVAS DEL GUSANO BARRENADOR DEL GANADO (Coquerel)

José Luis Cerriteño-Sánchez[1]*, Julieta Sandra Cuevas-Romero[1], Dalia González-Esparragoza[2], Susana Elisa Mendoza-Elvira[2], Irene López-González[3], René García-Rodríguez[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. Jiutepec, Morelos, México. [2]Laboratorio de Microbiología y Virología de las Enfermedades Respiratorias del Cerdo, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México. [3]Comisión México Estados Unidos para la Prevención de la Fiebre Aftosa y Otras Enfermedades Exóticas de los Animales, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. [4]Investigador independiente.

*Autor para correspondencia: josluiscerr@gmail.com

Palabras clave: *Cry, larvicida, miasis, GBG.*

Introducción

Cochliomyia hominivorax o gusano barrenador del ganado (GBG), es un díptero endémico de América del Sur que causa miasis en animales de sangre caliente [1]. Su resurgimiento en México representa una amenaza para la salud animal y la producción ganadera, con un alto riesgo de dispersión desde Centroamérica hacia estados del Norte y llegando incluso a Estados Unidos, además de puntos críticos en el norte del país [2]. Se prevé que especies como cerdos, ovinos y perros ferales tengan un papel epidemiológico significativo en el centro del país [2]. Por lo que, la reaparición de *C. hominivorax* podría afectar el crecimiento sostenible de la producción ganadera en un 23 %, con pérdidas económicas en cadenas comerciales e industriales [3]. Aunque existen insecticidas químicos, principalmente organofosforados (OP) y piretroides, presentan desventajas como resistencia y contaminación ambiental [6], lo que refuerza la necesidad de alternativas sostenibles. Las proteínas insecticidas de *B. thuringiensis*, conocidas como Cry, representan una opción biológica específica y segura. Estas toxinas se activan en el intestino medio de los insectos, induciendo la formación de poros en las células epiteliales provocando su muerte. En particular, Cry1Ba ha demostrado toxicidad contra larvas de moscas causantes de miasis en ovinos, con protección significativa en ensayos in vivo [4]. Sin embargo, en México no se han desarrollado formulaciones ni protocolos de producción de Cry1Ba para la prevención de miasis en los animales, lo que representa una oportunidad de innovación biotecnológica de control de plagas y aplicable a la salud porcina. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue la evaluación de la proteína recombinante Cry1Ba en larvas L2 de GBG recuperadas de un caso clínico de miasis en perro.

Materiales y métodos

La proteína recombinante producida en el sistema de expresión bacteriano y purificada mediante cromatografía de afinidad fue denominada rCry1Ba. La proteína recombinante fue cuantificada mediante el método de Bradford usando albúmina bovina (BSA) como estándar y preparada en un buffer de mantenimiento de Tris-HCl 5 mM pH 8, -20°C hasta su uso. Un lote de proteína rCry1Ba (50 µg y 10 µg) fue procesada con la proteasa de SUMO para eliminar la etiqueta de 6his y SUMO del N-terminal de rCry1Ba, para obtener a la proteína en su forma nativa (N-rCry1Ba), la eficacia del proceso fue analizado en geles SDS-PAGE y WB. Un caso de miasis por GBG en perro feral fue identificado en el municipio de Berriozábal, Chiapas, México, ubicado en la región de la Depresión Central y parte de la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez. El caso fue atendido por Veterinarios de la Coordinación Municipal de Salud Pública Animal y larvas en fase L1 fueron recuperadas del animal sin que se haya aplicado ningún tratamiento para evitar que los insectos tuvieran efectos debido a insecticidas y/o material de curación. Las larvas fueron analizadas en el microscopio para

identificar la fase larvaria en la que se encontraban y se mantuvieron 24 horas en una dieta de primera iniciación definida a 38 °C, 70% de humedad que contenía: leche en polvo 15 gr, sangre de bovino en polvo 35 gr, huevo en polvo 15 gr, carne molida de res (90/10) 500 gr y agua purificada 1 litro. Una vez que las larvas se adaptaron a la dieta y pasaron a L2, se realizaron grupos experimentales con n=5 gusanos por tratamiento con 10 gramos de dieta de primera iniciación y diferentes concentraciones de la proteína rCry1Ba (10-250 µg) y proteína procesada a su forma nativa N-rCry1Ba (10 y 50 µg). Los gusanos se dejaron en mantenimiento y pasadas 28 horas de incubación, fueron evaluados para determinar los efectos de la proteína rCry1Ba y N-rCry1Ba. Como control negativo del experimento se usaron gusanos sin ningún tratamiento. Finalmente se midieron los tamaños finales de los gusanos y la viabilidad de cada grupo.

Resultados y discusión

La proteína rCry1Ba fue obtenida por cromatografía de afinidad con alto grado de pureza que pudo ser visualizada en un gel SDS-PAGE al peso molecular esperado de 70 kDa como una banda íntegra (Figura 1A), por otro lado, el análisis de Western blot usando anticuerpos anti 6 his identificó la proteína recombinante con una señal intensa al peso esperado de 70 kDa, sin embargo varias degradaciones fueron detectadas debido a que el WB es mucho más sensible (Figura 1B), estas degradaciones pueden deberse a que la proteína recombinante rCry1Ba posee varios sitios de corte para proteasas presentes en el sistema de expresión de *E. coli*. Por otro lado, la proteína rCry1Ba fue procesada con la proteasa SUMO para eliminar la etiqueta 6his+SUMO y pasarla a su forma nativa (N-rCry1Ba). Como se puede observar en la figura 1C, la proteína fue procesada después de más de 4 horas en digestión a 30 °C y se logró obtener la mayor cantidad de proteína procesada después de 16 horas de incubación, en donde la proteína pierde alrededor de 10 kDa correspondiente a la etiqueta SUMO (Figura 1C).

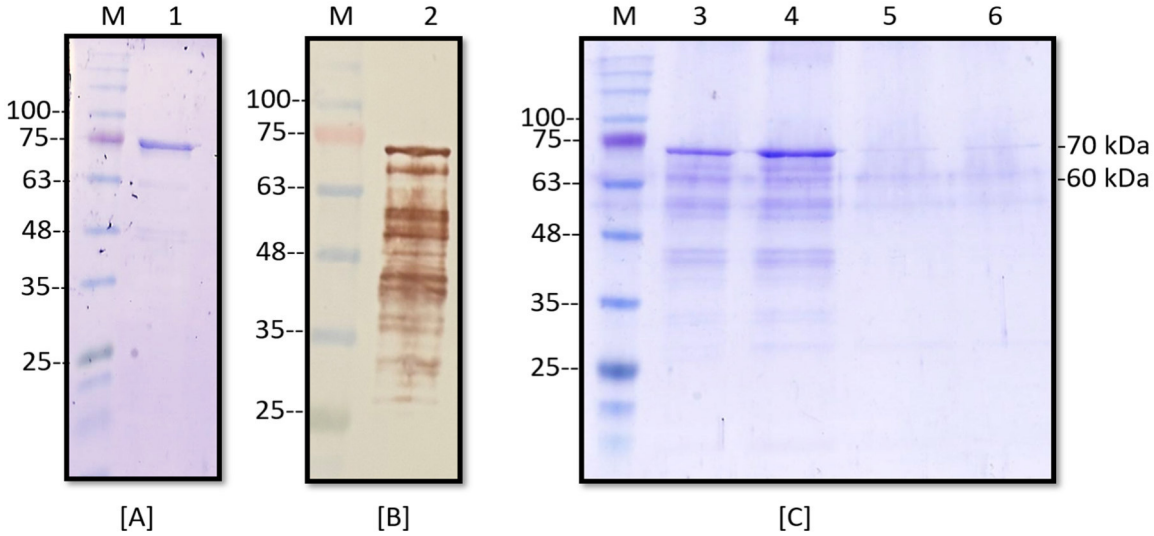


Figura 1. Análisis de la proteína recombinante rCry1Ba. [A] SDS-PAGE de la proteína purificada mediante cromatografía de afinidad, [B] Proteína purificada identificada con anticuerpos anti 6his, [C] digestión con proteasa SUMO de la proteína rCry1Ba. M) marcador de peso molecular, 1) rCry1Ba, 2) WB rCry1Ba, 3) 1 hr, 4) 2 hrs, 5) 4 hrs), 6) 16 hrs de incubación.

Por otro lado, los gusanos recuperados del caso de miasis en perro, fueron analizados para determinar la fase en la que se encontraban. Como se observa en la figura 2, los gusanos recuperados de la miasis de perro feral poseían la pigmentación de los troncos traqueales en el segmento 12 (Figura 2A) señalada con una flecha roja, característica específica de la fase L1 en

GBG, además se pudo corroborar que los gusanos poseían un tamaño promedio de aproximadamente 5 mm aún no bien desarrollados (Figura 2B), otra característica de GBG en fase larvaria L1.

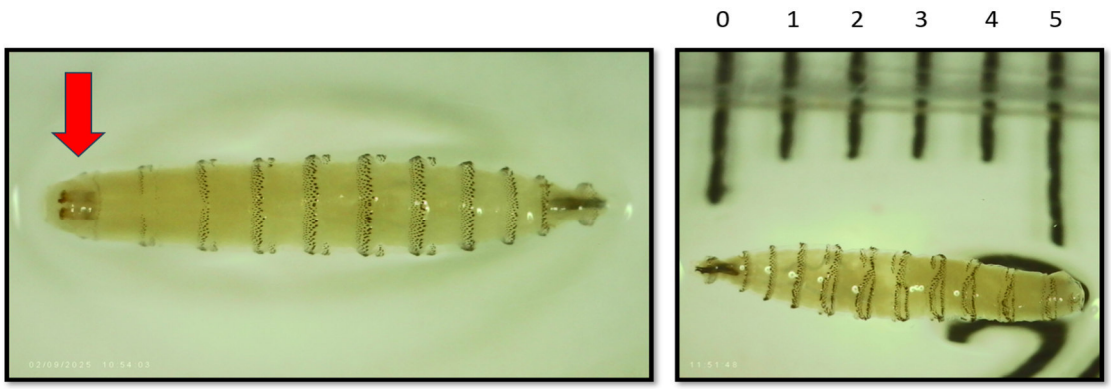


Figura 2. Análisis de gusanos GBG recuperados de la miasis de perro. [A] gusano L1 en posición dorsal, donde la flecha señala la pigmentación de los troncos traqueales que no sobrepasan al segmento 12, [B] gusano L1 en posición ventral de aproximadamente 5 mm de largo con fondo de una regla milimétrica.

Una vez analizados e identificados los gusanos en fase L1, fueron expuestos en contacto directo con la proteína recombinante rCry1Ba y N-rCry1Ba a diferentes concentraciones de la proteína durante 28 horas de incubación en dieta definida para permitir que pasaran a fase L2 en condiciones controladas. Después de la incubación, se pudo observar cambios significativos en los gusanos tratados con las proteínas recombinantes (Figura 3).

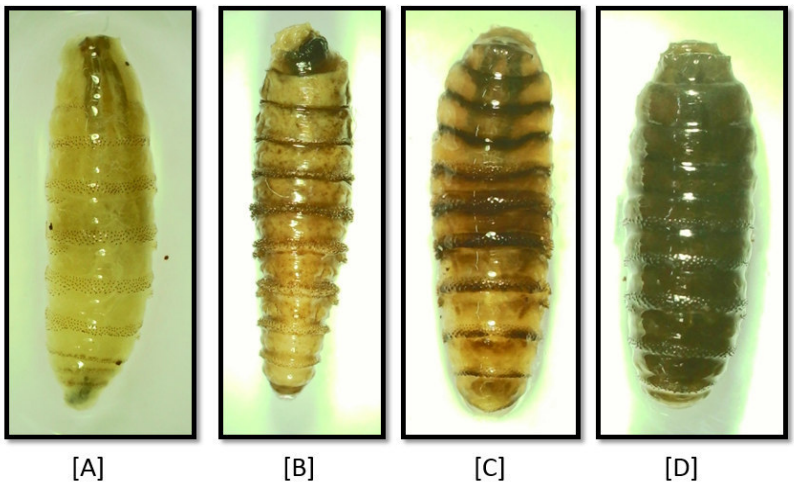


Figura 3. Larvas de GBG tratadas con las proteínas recombinantes Cry1Ba. [A] Control negativo correspondiente a gusanos sin tratamiento, [B] control de referencia correspondientes a gusanos tratados con negasunt, [C] gusanos tratados con 250 ug de proteína rCry1Ba, [D] gusanos tratados con 50 ug de proteína N-rCry1Ba.

Como se aprecia en la figura anterior, los gusanos GBG correspondientes al control negativo de gusanos sin ningún tratamiento presentaron características típicas de la fase L2, la pigmentación de los troncos traqueales alcanzó el segmento 9 y con un tamaño promedio de 10 mm (Figura 3A). Por otro lado, el control de referencia tratado con negasunt presentó daño en el gusano que se observa como un marcado cambio en la coloración y la aparición de manchas oscuras a lo largo de la larva, típico de una intoxicación por insecticida (Figura 3B). Finalmente, en los gusanos tratados con proteína rCry1Ba y una concentración de 250 ug, fue posible observar el desarrollo de una coloración opaca en el gusano, correspondiente con el desarrollo de una intoxicación (Figura 3C), mientras que en los gusanos tratados con N-rCry1Ba se observó un marcado desarrollo de cambio en la coloración que llevó a la mortalidad del gusano con una tasa del 50% (Figura 3D).

Conclusiones

En este trabajo, se logró por primera vez probar de manera preliminar la eficacia de una proteína recombinante Cry1Ba contra el desarrollo de las larvas de GBG, con resultados prometedores para obtener un tratamiento contra la miasis, la cual no presenta los problemas relacionados con el uso de insecticidas contaminantes y generan resistencia a lo largo del tiempo.

Agradecimientos y fuente financiadora

Este trabajo fue apoyado por el proyecto fiscal “Producción y evaluación de proteínas recombinantes derivados de Bacillus thuringiensis contra la miasis por gusano barrenador del ganado (GBG)” del INIFAP 2026 y por el SECIHTI con el proyecto: PEE-2026-C-6 “Desarrollo y evaluación de biológicos recombinantes derivados de Bacillus thuringiensis contra la miasis ocasionada por el gusano barrenador (Cochliomyia hominivorax)”

Referencias bibliográficas

Mastrangelo T, Welch JB. An overview of the components of AW-IPM campaigns against the New World Screwworm. Vol. 3, Insects. MDPI AG; 2012. p. 930–55.

Valdez-Espinoza UM, Fadda LA, Marques R, Osorio-Olvera L, Jiménez-García D, Lira-Noriega A. The reemergence of the New World screwworm and its potential distribution in North America. Sci Rep. 2025 Dec 1;15(1).

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Análisis del impacto Potencial del Gusano Barrenador en México. 2019.

Heath ACG, Broadwell AH, Chilcott CN, Wigley PJ, Shoemaker CB. Efficacy of Native and Recombinant Cry1B Protein Against Experimentally Induced and Naturally Acquired Ovine Myiasis (Fly Strike) in Sheep [Internet]. Vol. 97, J. Econ. Entomol. 2004.

CAMBIO CLIMÁTICO

DETERMINACIÓN DEL CARBONO EN BIOMASA AÉREA DE PLANTACIONES FORESTALES DE *Pinus elliotti* var. *elliotti* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* MEDIANTE INVENTARIO DASOMÉTRICO

De la O-Córdova, A.·; Domínguez-Domínguez, M.[1], Rincón-Ramírez, J. A.·; Acosta-Pech, R.[1]
Martínez-Zurimendi, P.[2]

[1]Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco. [2]Colegio de la Frontera Sur. Carretera a Reforma Km. 15.5 s/n Ranchería, Guineo 2da. Sección, Centro, Tabasco. 86280.
*Autor para correspondencia: cordova.alexander@colpos.mx

Palabras clave: *Almacenamiento, híbrido, parcelas, muestreo.*

Introducción

Los Pinos híbridos han cobrado especial interés debido a su alta productividad y adaptabilidad a diversas condiciones ambientales. En particular, el híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* siendo ampliamente utilizado en regiones tropicales y subtropicales debido a su rápido crecimiento, resistencia a condiciones ambientales adversas y capacidad de adaptación a suelos de baja fertilidad (Cappa *et al.,* 2012; Kain, 2003; Marum *et al.,* 2018). Este híbrido desarrollado inicialmente en Queesland, Australia durante la década de 1950, fue introducido exitosamente en diversas regiones del mundo, incluyendo América Latina, donde ha mostrado un alto potencial productivo y una importante capacidad de captura de carbono (Shepherd *et al.,* 2006; Rotundo, 2021). En México su establecimiento en la región del Sureste, representa una oportunidad estratégica para el desarrollo forestal comercial y la mitigación del cambio climático, especialmente en zonas con condiciones climáticas favorables para su crecimiento (CONAFOR, 2014). Por tanto, se planteó como objetivo cuantificar la biomasa aérea del pino híbrido en cuatro plantaciones forestales con tres sistemas productivos en Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco mediante inventario dasométrico.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en cuatro plantaciones forestales comerciales del híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* con los sistemas productivos: 1) pino-cacao-plátano, 2) pino-ganado, y el monocultivo pino en los municipios Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, México. Se aplicó una entrevista semiestructurada a cada silvicultor responsable de su plantación para analizar el establecimiento, manejo, tratamientos silviculturales aplicados y producción. En el inventario forestal se realizaron 28 parcelas que anteriormente se determinaron a través de un inventario piloto, resultando estadísticamente representativas de acuerdo con la superficie de las plantaciones. Las parcelas temporales fueron establecidas mediante un muestreo sistemático aleatorio. Para el inventario dasométrico las 28 parcelas temporales de 12 m x 12 m (144 m^2) fueron establecidas en cada una de las cuatro plantaciones utilizando un diseño por muestreo sistemático aleatorio a cada 100 m. La geoposición se realizó ubicando el gps marca Garmin en el centro de las parcelas aplicando coordenadas WGS84. Se hizo la medición de la altura total (m) con hipsómetro marca Haga y el diámetro normal (cm) a 1.30 m de altura. con cinta diamétrica marca Forestry Suppliers Inc. Se obtuvo la altura dominante con la media de 2 de los árboles que representan a los 100 en 1 ha. El cálculo del índice de calidad de sitio se obtuvo utilizando la ecuación desarrollada por Scolforo, 1992 en São Paulo, Brasil. La cantidad de biomasa aérea almacenada en los sistemas productivos se estimó aplicando la ecuación alométrica aditiva basada en diámetro normal (cm) y altura total (m) desarrollada por Boca *et al*., 2017 en la Provincia de Misiones, Argentina. En la estimación del carbono para los sistemas productivos se utilizó un factor de conversión de biomasa a carbono de 0.48 (48 %) desarrollado por Rojas, 2014 en Costa Rica, dado que el *Pinus caribaea*

var. *hondurensis* quien es el árbol padre proporciona la rectitud y volumen del fuste (Gautchat *et al.,* 2003).

El análisis estadístico se realizó para evaluar las diferencias significativas del carbono entre los sistemas productivos Pino-cacao-plátano, Pino-ganado y del monocultivo Pino para los ranchos evaluados: La Encrucijada, Cinco Hermanos, La estrella y El cuarenta aplicando la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis. Esta prueba fue seleccionada debido a que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad, verificado mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y presentan varianzas heterogéneas entre grupos, evaluadas con la prueba de Levene. En caso de obtener un valor de $p < 0.05$, se procedió a realizar pruebas post hoc (Dunn con corrección de Bonferroni) para identificar entre qué pares de sistemas productivos existen diferencias significativas. El nivel de significancia establecido para la prueba fue de $\alpha = 0.05$. El análisis estadístico se realizó utilizando el software Rstudio versión 2026.01.2+418.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestra el análisis descriptivo para la información obtenida en la aplicación de las entrevistas a los cuatro silvicultores. Los sistemas productivos pino-cacao-plátano, pino-ganado y plantación de pino se encuentran en el rancho La Encrucijada. El sistema productivo pino como plantación monoespecífica se encuentran en los ranchos La Estrella y Cinco hermanos y tienen el objetivo de producción para madera y resina. El sistema productivo pino-ganado se encuentra en el rancho El Cuarenta y el rancho La encrucijada y tienen el objetivo de producción de leche y carne.

Cuadro 1. Análisis descriptivo de los sistemas productivos

Variable/Rancho	La Encrucijada	El Cuarenta	La Estrella	Cinco hermanos
Sistema productivo	Pino, Pino-ganado, Pino-cacao-plátano	Pino-ganado	Pino	Pino
Objetivo de producción	Maderable, agrícola y resina	Carne y maderable	Maderable y resina	Maderable y resina
Superficie (ha)	131.2	28	10	55
Marco de plantación (m)	4 x 2	3 x 3	4 x 2	4 x 2
Principal problema	Gusano barrenador	Kudzú y gusano barrenador	Incendio forestal y gusano barrenador falta de mano de obra calificada	Falta de mano de obra calificada para la resinación
Ingreso actual a corto plazo	Cacao, ganado	Ganado	Resina	Resina
Poda (año)	sí (año 7)	No	sí (año 6)	sí (año 2)
Raleo	Dos veces una en el año 2019 y otra 2023	En los meses 8 y 16	Pre-raleo 2023	No reportado
Control de maleza	Químico y mecánico	Químicos (primeros años)	Mecánico	Mecánico
Fertilización	NPK, 3 años	No aplicaron	No aplicaron	Diamonio fosfato, una vez
Riego	Goteo (60 ha)	Lluvias (drenes)	Lluvias	Lluvias

En el muestreo piloto el coeficiente de variación calculado es de 11.6 %. Fueron 28 parcelas totales registradas para el inventario forestal para los cuatros ranchos evaluados distribuidas 18 parcelas en la plantación del rancho La encrucijada y 3 parcelas en las plantaciones de los ranchos Cinco Hermanos, El Cuarenta y La Estrella hacienda un total de 9 parcelas entre estos ranchos. En el

Cuadro 2 se muestra el análisis comparativo para la información obtenida de los cálculos dasométricos en los ranchos de las plantaciones evaluadas. Los sistemas productivos pino-ganado y pino-cacao-plátano del rancho El Cuarenta y La Encrucijada representan la menor densidad inicial de plantación 1,111 y 1,136 árboles por ha^{-1}. El monocultivo pino del rancho Cinco Hermanos representa la mayor altura total promedio de 12.55 m seguido del monocultivo Pino y el sistema Pino-ganado del rancho La Encrucijada con altura totales promedios de 10.56 y 10.58 m y menores para el monocultivo pino del rancho La Estrella y El Cuarenta con 9.19 m y 8.12 m.

Cuadro 2. Datos del inventario forestal en los tres sistemas productivos.

Municipio	Rancho	Sistema productivo	Edad (años)	Densidad inicial de plantación (N° de árboles ha^{-1})	Número de árboles inventariados	Densidad actual (N° de árboles ha^{-1})	Diámetro normal promedio (m)	Altura total promedio (m)	Porcentaje de aclareo
Cárdenas	La Encrucijada	Pino	10	1,250	55	972.22	17.39	10.58	22.22
Huimanguillo	Cinco Hermanos	Pino	9	1,250	50	1,157	18.66	12.55	7.4
Huimanguillo	La Estrella	Pino	9	1,250	49	1,134	16.86	9.19	9.25
Cárdenas	La Encrucijada	Pino-ganado	9	1,250	88	995	16.87	10.56	20.37
Huimanguillo	El Cuarenta	Pino-ganado	9	1,111	36	833	15.25	8.125	*
Cárdenas	La Encrucijada	Pino-cacao- plátano	10	1,136	114	871	18.33	10.33	25.66

* Mortandad de árboles del 25 % por establecimiento de la plantación al final del periodo de lluvias.

En el Cuadro 3 el monocultivo pino en el rancho Cinco hermanos y el sistema pino-ganado en el rancho La Encrucijada presentaron el mayor almacenamiento de biomasa aérea con 95.24 Mg ha^{-1} y 53.92 Mg ha^{-1}. Los valores más bajos de biomasa aérea almacenada se presentaron en el sistema pino-ganado en el rancho el cuarenta de 28.96 Mg ha^{-1}. El monocultivo pino en el rancho Cinco hermanos y el sistema pino-ganado en el rancho La encrucijada presentaron el mayor almacenamiento de carbono con 45.71 Mg ha^{-1} y 25.88 Mg ha^{-1}. El valor más bajo de almacenamiento de carbono se presentó en el sistema pino-ganado en el rancho el cuarenta de 13.9 Mg ha^{-1}.

Cuadro 3. Estimación de biomasa aérea y carbono almacenado en los tres sistemas productivos

Sistema productivo-Rancho	Biomasa aérea (Mg ha^{-1})	Carbono (Mg ha^{-1})
Pino-La Encrucijada	53.80	25.82
Pino-cacao-plátano-La Encrucijada	52.75	25.32
Pino-ganado-La Encrucijada	53.92	25.88
Pino-Cinco Hermanos	95.24	45.71
Pino-La Estrella	52.32	25.11
Pino-ganado-El Cuarenta	28.96	13.90

Previo a las pruebas estadísticas paramétricas, se evaluó la normalidad de las variables biomasa y carbono mediante la prueba de Shapiro-Wilk, revelando que ambas no siguen una distribución normal (Biomasa: $W = 0.897$, $p < 0.001$; Carbono: $W = 0.896$, $p < 0.001$). Al analizar por grupos, los tres sistemas productivos se presentaron desviaciones significativas. Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, que mostró diferencias significativas en el contenido de biomasa ($H = 8.237$, $p = 0.0163$) y carbono ($H = 8.440$, $p = 0.0147$). Las comparaciones múltiples de Dunn indicaron que no hay diferencias significativas de biomasa aérea y carbono entre el monocultivo pino y el sistema pino-cacao-plátano; mientras que el sistema pino-ganado mostró valores inferiores en biomasa y carbono

comparado con los otros sistemas productivos, debido al manejo inadecuado en la preparación del terreno causando mortandad en los árboles plantados que disminuyó su densidad arbórea, así como la fecha de plantación al final de la temporada de lluvias presentando un 25% menos.

Conclusiones

La evaluación de las plantaciones de pino en cuatro ranchos de Tabasco reveló que el sistema productivo influye significativamente en el almacenamiento de carbono y biomasa. El sistema de plantación de pino en el rancho Cinco hermanos presentó la mayor altura promedio y el mayor secuestro de carbono. Por el contrario, el sistema pino-ganado en el rancho El Cuarenta registró los valores más bajos. El monocultivo pino y el sistema pino-cacao-plátano no mostraron diferencias significativas entre sí, mientras que el sistema pino-ganado presentó valores significativamente inferiores debido al manejo inadecuado en la preparación del terreno causando mortandad en los árboles plantados que disminuyó su densidad arbórea, así como la fecha de plantación al final de la temporada de lluvias presentando la mayor mortandad.

Referencias bibliográficas

Boca, T., Fassola, H., Crechi, E., Barth, S., Kelle, A., Winck, R., & Ferrere, P. (2017). Modelos aditivos de predicción de biomasa aérea de Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis de Misiones Argentina. Quebracho-Revista de Ciencias Forestales, 25(1-2), 5-15.

Cappa, E. P., Marcó, M., Garth, D, Last, I. S., Cappa, E. P., Marcó, M., Nikles, D. G., & Last, I. S. (2012). Performance of Pinus elliottii, Pinus caribaea, their F1, F2 and backcross hybrids and Pinus taeda to 10 years in the Mesopotamia region, Argentina. New Forests. 44:2, 44(2), 197–218. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-012-9311-2

CONAFOR. Comisión nacional forestal. (2014). México cuenta con 270 mil hectáreas de Plantaciones Forestales Comerciales. Boletin 77. Recuperado el 03 de mayo del 2022, de http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/5752M%C3%A9xico%20cuenta%20con%20270%20mil%20hect%C3%A1reas%20de%20%20Plantaciones%20Forestales%20Comerciales.pdf

Kain, D. P. (2003). Parámetros genéticos y estrategias de mejoramiento para Pinus elliottii var. elliottii × Pinus caribaea var. hondurensis en Queensland, Australia [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Australia]. Canberra, Australia. 416 p.

Marum, L., Nunes, S., Almeida, T., Pereira, VT, Farinha, N., Dias, MC y Santos, C. (2018). Crioconservación de híbridos de Pinus elliottii × P. caribaea. En Protocolos paso a paso para la embriogénesis somática de plantas leñosas importantes. Springer. 1, 283-294. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-89483-6_21

Rotundo, C. A. (2001). Estimación de parámetros genéticos de la calidad de la madera en árboles de pino híbrido (Pinus elliottii var. elliottii × Pinus caribaea var. hondurensis) utilizando metodologías no destructivas [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones]. Posadas, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Shepherd, M., Huang, S., Eggler, P., Cross, M., Dale, G., Dieters, M., & Henry, R. (2006). La congruencia en los QTL para el enraizamiento adventicio en híbridos de Pinus elliottii × Pinus caribaea resuelve los efectos entre especies y dentro de ellas. Molecular Breeding, 18 (1), 11-28. https://doi.org/10.1007/s11032-006-9006-5

MANEJO SOSTENIBLE DE VINAZAS DERIVADAS DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCAL

Teófilo Mendoza-Rojas[1], Luciano Martínez-Bolaños[1], Victorino Gómez-Valenzuela[1]*, Uriel Baeza-Naeh[1], Efraín Paredes-Hernández[1] y Eleodoro Hernández-Meneses[1].

Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma Chapingo
*Autor para correspondencia: vgomezv@chapingo.mx

Palabras clave: *Biofertilizante, agave, bioprocesamiento, sostenibilidad*

Introducción

Se estima que se generan entre 10 y 15 litros de vinaza por cada litro de mezcal producido. Esta cantidad puede variar ligeramente dependiendo del tipo de agave utilizado, el proceso de producción específico y la eficiencia de la fermentación y destilación (Benavidez & Alonso, 2022). Las vinazas contienen nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio (Ferral, 2015), lo que abre la posibilidad de aprovecharlas para elaboración de biofertilizantes. Este enfoque no solo mitigaría su impacto ambiental, sino que también promovería prácticas agrícolas sostenibles. No obstante, es crucial desarrollar tratamientos efectivos para reducir su carga contaminante y mejorar su calidad como insumo agrícola. Este trabajo explora alternativas para el manejo sostenible de las vinazas, enfocándose en su caracterización, bioprocesamiento y aprovechamiento agrícola. Encontrando que el tipo de tratamiento dado a las vinazas influye significativamente en las propiedades del biofertilizante obtenido, y que la estabilización de pH, microorganismos y fermentación anaeróbica mostró los valores más altos de nutrientes y un pH más cercano a lo neutro. Entre los aspectos más problemáticos de las vinazas está el volumen en que se generan. Por cada litro de mezcal producido se obtienen entre 10 y 15 litros de vinaza como residual (Ibarra-Camacho & León-Duharte, 2018). Considerando que la producción nacional de mezcal, según datos del Consejo Regulador del Mezcal superó los 12,239,655 litros en 2023, se estima una generación anual de vinazas superior a los 120,000,000 de litros, representando un desafío significativo para la gestión ambiental en las regiones productoras de mezcal, especialmente cuando muchas de las destilerías son pequeñas unidades de producción con recursos limitados para implementar sistemas de tratamiento avanzados. Los tratamientos biológicos aprovechan la capacidad de diversos microorganismos para degradar la materia orgánica presente en las vinazas. Entre los principales métodos estudiados destacan:

Digestión anaerobia. Cuya eficiencia en la remoción de materia orgánica y generación de biogás del 81% en vinazas de mezcal, según Castillejos, et al. (2009).

Lodos Activados. proceso biológico aeróbico estudiado en el tratamiento de vinazas de mezcal, y según Robles-González et al. (2018) tiene efectividad de DQO del 69.6%.

Tratamiento Fúngico. Pruneda y Luis, (2014) obtuvieron romisión de materia orgánica mayor a 80% para DQO y DBO5 al flocular alginato de sodio y hongos *Trichoderma troggi* y *Pleorotys ostretus*.

Floculación. Ayuda a reducir la turbidez y concentración de sólidos suspendidos en vinazas, facilitando los procesos biológicos posteriores.

Ozonización. Robles-González et al. (2018) obtuvo remoción del 91.5% DQO y más del 80% de fenoles, mediante tratamiento con lodos activados. La ozonización puede mejorar la biodegradabilidad de las vinazas y reducir la toxicidad para microorganismos en los tratamientos biológicos posteriores.

Combustión. Las vinazas concentradas pueden ser incineradas para generar energía, aunque este proceso puede generar emisiones atmosféricas (Chanfón & Lorenzo, 2014b).

Producción de Compost. El compostaje de vinazas con otros residuos agrícolas se ha explorado como una alternativa para su aprovechamiento (León et al., 2021).

Resinas de Intercambio Iónico. Estas resinas pueden utilizarse para remover iones específicos, como el potasio, y recuperar productos valiosos (Sánchez et al., 2019).

Este trabajo tuvo como objetivo generar alternativas sostenibles para el manejo de vinazas de mezcal.

Materiales y métodos

Ubicación del estudio. El experimento se realizó en las instalaciones del Centro Académico Regional sede Oaxaca (CAR) de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado en Zimatlán de Álvarez, Oaxaca, México. Este municipio presenta un clima principalmente templado subhúmedo con lluvias en verano, y la temperatura media anual varía entre 16 y 18°C. La altitud promedio es de 1,500 metros sobre el nivel del mar, con suelos predominantemente de tipo Luvisol y Cambisol. La precipitación anual oscila entre 600 y 1,200 mm, características ideales para el desarrollo agrícola en esta región (INEGI, 2010).
Caracterización de composición química de vinazas. Se realizó utilizando el equipo portátil de análisis de nutrientes Horiba LAQUAtwin, el cual permite la determinación de parámetros mediante sensores de ion selectivo. Con este equipo es posible medir: concentración de nitratos (NO_3^-), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), pH y conductividad eléctrica (CE).
Determinación preliminar del carbonato de calcio para estabilización del pH. Se elaboró una curva de calibración del pH en vinazas para identificar la cantidad óptima de carbonato de calcio requerida para estabilizar el pH de las mismas.
Las vinazas utilizadas fueron recolectadas del palenque “El Mojado”, ubicado en la periferia de Zimatlán de Álvarez, Oaxaca cuyos valores promedio iniciales fueron: Nitratos (NO_3^-) 83.3 ppm; Potasio (K^+) 270.0 ppm; Calcio (Ca^{2+}) 207.5 ppm; pH: 3.7; Conductividad eléctrica (ms/cm) 3.3; % Brix 2.7.

Cuadro 1. Tratamientos para el manejo de pH de vinazas derivadas de agaves mezcaleros.

Tratamiento	Cantidad de Carbonato de calcio (gL^{-1})
Testigo 1	0
2	0.1
3	0.5
4	1
5	5
6	10
7	25
8	50
9	75
10	100

Se utilizaron 100 mL de vinaza para cada tratamiento. Se establecieron 10 concentraciones diferentes de cal agrícola, de menor a mayor cantidad: A cada muestra de 100 mL de vinaza, se le agregó la cantidad correspondiente de cal según el tratamiento, mezclando bien.
Dilución de Vinazas con Carbonato de Calcio (5 gL^{-1}) con agua destilada para estabilizar la conductividad eléctrica. Se preparó una solución madre adicionando 0.5 g de carbonato de calcio a 100 mL de vinaza cruda. A partir de esta solución, se generaron seis tratamientos mediante diluciones con agua destilada para alcanzar concentraciones de vinaza al 5%, 10%, 15%, 20% y 25% (v/v); además un tratamiento control con vinaza sin diluir (100%), de acuerfdo con Mastranzo (2023).
Medición de Parámetros. La concentración de nitratos (NO_3^-), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), pH y conductividad eléctrica (CE) se logró utilizando el equipo portátil de Horiba LAQUAtwin, el cual permite la determinación de parámetros mediante sensores de ion selectivo. Se aplicó una cantidad de muestra directamente sobre el sensor del medidor, cubriéndolo totalmente para una lectura adecuada. Se esperó el tiempo de estabilización indicado por el equipo para registrar el valor final. Entre cada medición, se aplicaron los procedimientos de calibración y limpieza del sensor, conforme a las especificaciones técnicas.

Resultados y discusión

En concentraciones bajas de carbonato de calcio (0.0 - 1 gL^{-1}), el cambio en el pH de la vinaza es mínimo, manteniendo su acidez. A partir de 5 gL^{-1}, se observó incremento significativo del pH, llegando a 6.4, lo que indica mayor neutralización de la acidez. En concentraciones de 10 gL^{-1}, el pH continúa elevándose, alcanzando 11.3. En concentraciones de 25 gL^{-1} o más, el pH se estabiliza cerca de 11.9, sin variaciones adicionales, sugiriendo que se ha alcanzado un punto de saturación, Gráfica 1.

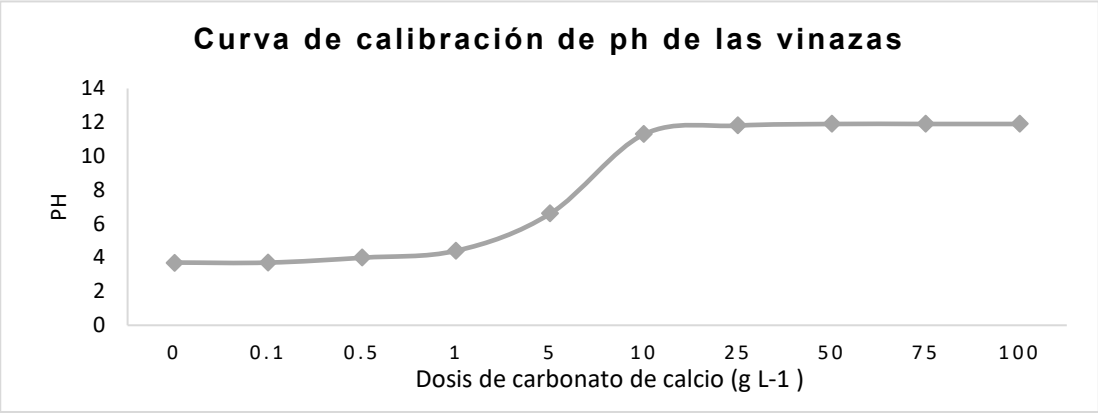


Figura 1. Curva de calibración del pH en vinazas mediante el uso de carbonato de calcio.

Esto indica que 5 gL^{-1} es la concentración mínima necesaria para neutralizar eficazmente la vinaza, mientras que 25 gL^{-1}marca el límite de alcalinización. Los valores de nitratos aumentaron progresivamente con el incremento en la concentración de vinaza, pasando de 14 mgL^{-1} en la dilución al 5% a 37 mgL^{-1} en la vinaza sin diluir (100%). El ajuste polinómico de segundo grado describió adecuadamente esta tendencia, con una correlación de $R^2 = 0.958$, Figura 2, lo que indica una alta relación entre la concentración de vinaza y el contenido de NO_3^-. El resultado sugiere que el contenido de nitratos en la solución aumenta de manera casi lineal hasta concentraciones intermedias, estabilizándose ligeramente a concentraciones más elevadas.

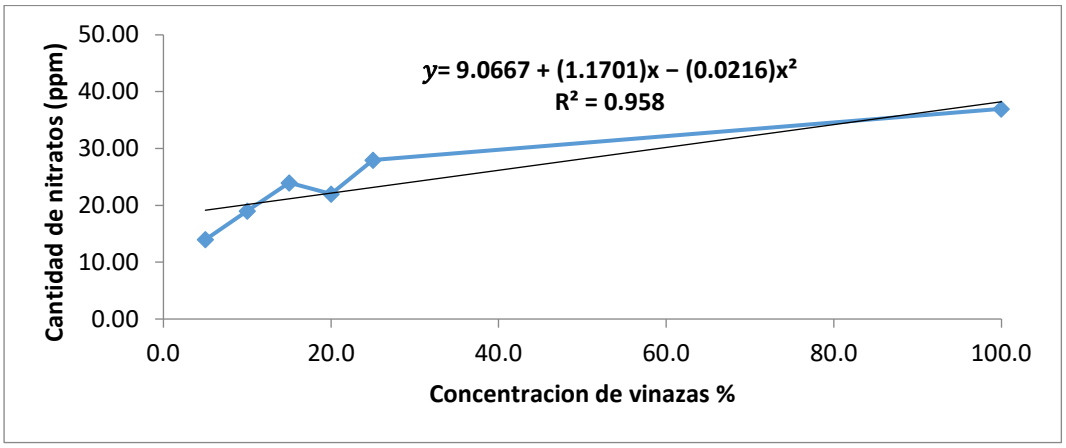


Figura 2. Concentraciones de vinazas (%) y contenidos de nitratos (ppm).

El potasio se incrementó conforme aumentó la concentración de vinaza, desde 6 mgL^{-1} en la dilución al 5% hasta 130 mgL^{-1} en la vinaza al 100%. El modelo polinómico cuadrático presentó un ajuste excelente (R^2 = 0.999), Figura 3.

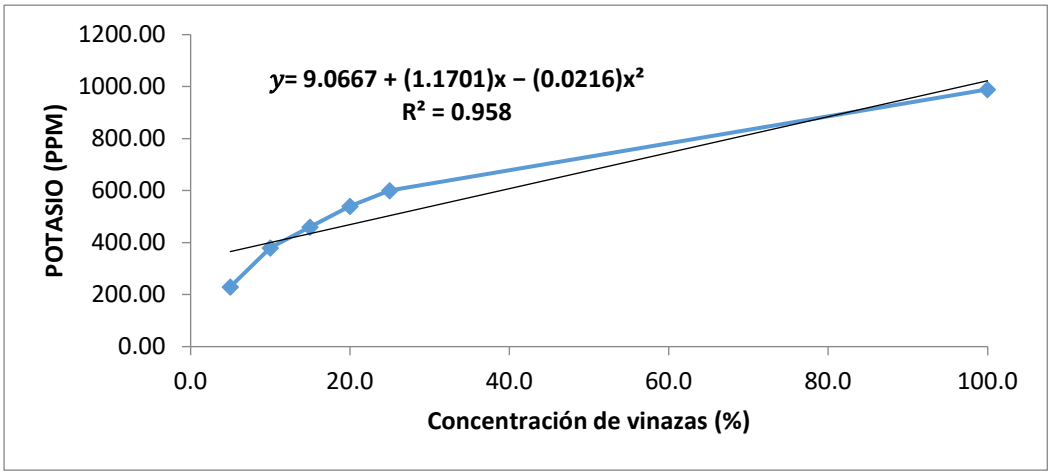


Figura 3. Efecto de la concentración de vinazas (%) en la concentración de iones potasio (ppm).

Este comportamiento evidencia una fuerte relación entre el contenido de K^+ y la concentración de vinaza, lo que refleja la alta presencia de este elemento en los residuos líquidos del proceso de destilación del mezcal. El potasio puede considerarse uno de los principales aportes nutritivos potenciales de la vinaza cuando se usa con fines agrícolas.

El contenido de calcio se incrementó consistentemente con el aumento en la concentración de vinaza, variando de 230 mgL^{-1} (5%) hasta 990 mgL^{-1} (100%). El modelo polinómico cuadrático presentó un ajuste muy alto (R^2 = 0.999). La relación indica una tendencia creciente con una ligera curvatura, posiblemente atribuible a la interacción entre la vinaza y el carbonato de calcio adicionado.

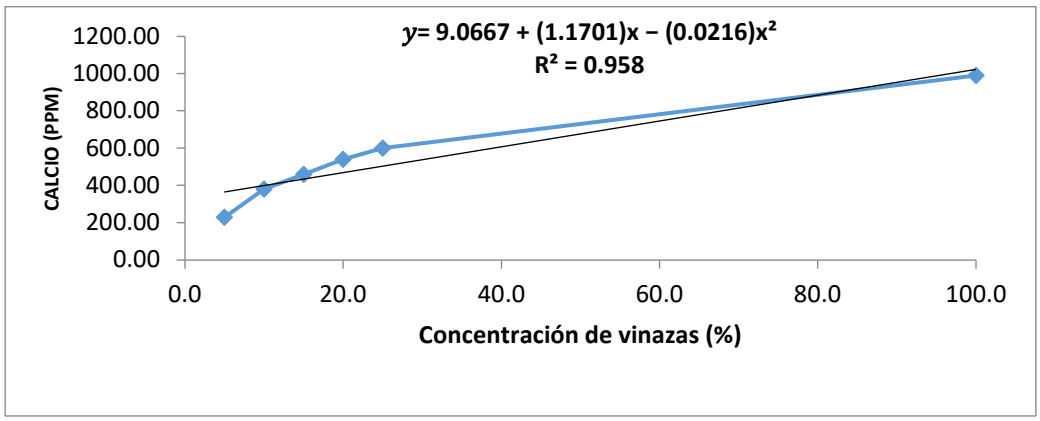


Figura 4. Correlación entre concentración de vinazas (%) y concentración de calcio (Ca^{2+}), (ppm).

Este comportamiento confirma la eficacia del tratamiento con $CaCO_3$, incrementando la disponibilidad de Ca^{2+} en la mezcla, favoreciendo su potencial como fuente complementaria de este nutriente en suelos deficientes.

El pH presentó un comportamiento ligeramente variable a lo largo de las diluciones, aumentando desde 7.6 (5%) hasta valores cercanos a 7.4 (20%), para luego disminuir hasta 5.9 en la vinaza sin diluir.

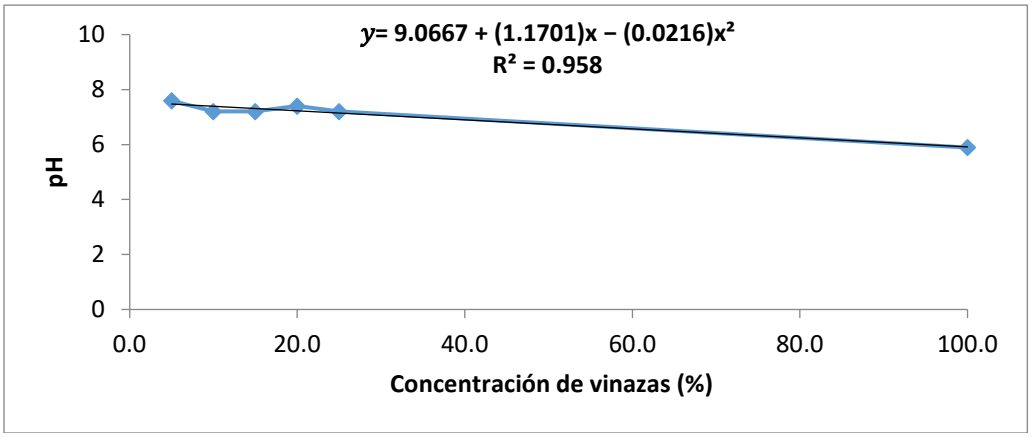


Figura 5. Efecto de la concentración de vinazas (%) en el pH de la dilución.

Este patrón sugiere que el tratamiento con carbonato de calcio logró neutralizar parcialmente la acidez de la vinaza a bajas y medianas concentraciones, sin embargo, en la vinaza pura prevalece un efecto ácido más pronunciado, posiblemente por la acumulación de compuestos orgánicos y ácidos volátiles no neutralizados.
La conductividad eléctrica mostró un incremento exponencial con el aumento de la concentración de vinaza, desde 0.520 dSm^{-1} (5%) hasta 5.67 dSm^{-1} (100%). Estos resultados evidencian el fuerte incremento en la salinidad conforme se eleva la proporción de vinaza, lo que está directamente relacionado con la acumulación de cationes como K^+, Ca^{2+} y otros iones presentes en el efluente.

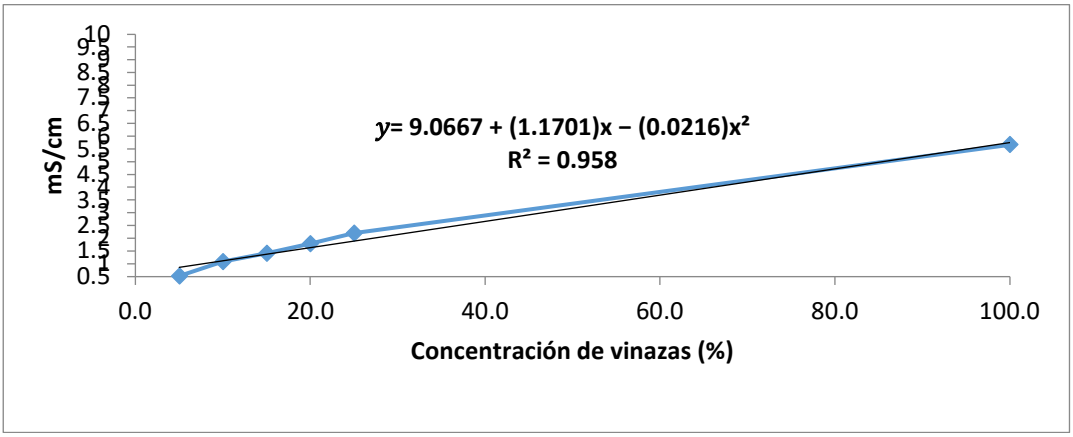


Figura 6. Correlación entre concentración de vinazas (%) y conductividad eléctrica (ms/cm).

La CE puede considerarse un parámetro crítico para definir las dosis seguras de aplicación agrícola, especialmente en suelos susceptibles a la salinización.

Conclusiones

El tipo de tratamiento influye significativamente en las propiedades del biofertilizante obtenido.

El tratamiento que incluyó estabilización de pH, microorganismos y fermentación anaeróbica mostró los valores más altos de nutrientes y un pH más cercano al neutro, mientras que los tratamientos sin estabilización ni microorganismos presentaron menor calidad fisicoquímica.
Las vinazas, correctamente tratadas, pueden ser utilizadas como biofertilizantes, contribuyendo así a la mitigación del impacto ambiental de su disposición.

Referencias bibliográficas

Benavidez, Z., & Alonso, E. (2022b). Evaluación de biodigestores para la obtención de biogás y biofertilizante a partir de las vinazas del mezcal. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/664.

Castillejos, F. V. (2009). Disminución de la materia orgánica biodegradable presente en vinazas mezcaleras mediante digestión anaerobia [Tesisi profesional]. pdf. http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10960.pdf

Chanfón, C. J. M., & Lorenzo A. Y. (2014b). Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales. Centro Azúcar, 41(2), Article 2. https://biblat.unam.mx/es/revista/centro-azucar/articulo/alternativas-de-tratamiento-de-las-vinazas-de-destileria-experiencias-nacionales-e-internacionales

Ferral, P. H. (2015). Tratamientos de vinazas tequileras por coagulacion-floculacion empleando un biopolimero aclopado a ozonacion catalitica [Grado de maestria, Instituto Politecnico Nacional]. https://es.scribd.com/document/372159533/Tratamiento-de-Vinazas-Tequileras

Ibarra-Camacho, R., y León-Duharte, L. (2018). Caracterización Químico-Física De Vinazas De Destilerías. Ciencia en su PC, 1(2): 1–13. https://www.redalyc.org/journal/1813/181358410001/html/

INEGI, (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Zimatlán de Álvarez, Oaxaca. (2010).

León, E. K. C., Ones, O. P., Argilagos, G. B., Yamarte, P. N., & Manzanares, R. S. (2021). Potencialidad de la vinaza de agave cocui como medio para el crecimiento de saccharomyces cerevisiae. Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry, 78(594). https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/396590

Mastranzo, M. E. (2023). Caracterización de los subproductos obtenidos a partir del tratamiento fisicoquímico de vinaza resultante de la producción de mezcal. https://hdl.handle.net/20.500.12371/20513

Pruneda, R., & Luis, J. (2014). Biorremediación de vinazas de la industria tequilera y mezcalera mediante tratamiento fisicoquímico y biológico. http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/1089

Robles-González, V., Poggi-Varaldo, H. M., Galíndez-Mayer, J., Ruiz-Ordaz, N. (2018). Water Environment Research. Wiley Online Library. (s/f). Recuperado el 14 de octubre de 2024, de https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2175/106143017X15054988926433

Sanchez, S., Marino, E., Fernanda, V. R., & Manuel, C. C. (2019). Recovery of phenolic compounds from Tequila vinasses using adsorption resins in two configurations (batch and continuous). https://doi.org/10.35429/JCPE.2019.20.6.1.6.

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE CAFÉ ORO AZTECA (*Coffea arabica* L.) EN MÉXICO

Gabriela Ramírez-Ojeda[1]*, Nayeli Sarahí Quiñones-Islas[2], Sergio Santiago Herrera-Gómez[2], Raquel Roque-Ruvalcaba[3], Oscar Martín Antúnez-Ocampo[4], Juan Francisco Caballero-Pérez[5] y Rosalío López-Morgado[6]

[1]INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Km 8 Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, C.P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. [2]INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Tecomán. Km 35 Carretera Colima-Manzanillo, C.P. 28100, Tecomán, Colima, México. [3]INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Km. 6 Carretera Internacional México – Nogales entronque Santiago Ixcuintla, Nayarit. México. [4]INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Iguala. Carr. Iguala- Tuxpan, km 2.5. CP. 40000. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. [5]INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Km 38 Carretera Tapachula-Cacahoatán, C.P. 30780, Tuxtla Chico, Chiapas, México. [6]INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Km 34.5 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94270, Medellín de Bravo, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: ramirez.gabriela@inifap.gob.mx

Palabras Clave: *Café, variedad oro azteca, cambio climático, distribución geográfica*

Introducción

El cambio climático representa una de las mayores amenazas para la producción de café a nivel mundial, alterando los patrones de temperatura y precipitación que definen los nichos ecológicos de *Coffea arabica* L. Se estima que las anomalías climáticas no solo reducirán drásticamente la superficie apta para su cultivo, sino que aumentarán la incidencia y severidad de fenómenos climatológicos extremos, así como la presencia de plagas y enfermedades, como la roya anaranjada del cafeto (*Hemileia vastatrix*) (Avelino *et al*., 2015; Ovalle-Rivera *et al*., 2015).
Ante este escenario, el uso de genotipos mejorados constituye una estrategia fundamental de adaptación agrotecnológica. La variedad Oro Azteca, perteneciente al grupo genético Catimor y desarrollada en México por el INIFAP, destaca por mantener una resistencia clasificada como "Alta" frente a la roya. Además de esta seguridad fitosanitaria, esta variedad de arquitectura compacta posee una producción potencial de 2,500 a 3,500 kg de café pergamino por hectárea, demostrando una "Excelente" aptitud productiva tanto para café comercial como para su integración en sistemas agroforestales y producción orgánica (López-García *et al*., 2016).
El máximo desempeño fisiológico y productivo de este cultivar está estrictamente condicionado por sus requerimientos agroecológicos. El óptimo desarrollo de la variedad Oro Azteca se establece en altitudes de 600 a 1,300 msnm, temperaturas promedio de 18 a 24 °C y precipitaciones anuales que oscilen entre 1,500 y 2,500 mm. Actualmente, su distribución geográfica abarca un gradiente territorial representativo en México, encontrándose en parcelas de establecimiento distribuidas en estados clave para la producción del café como Colima, Guerrero, Nayarit, Veracruz y Chiapas.
A pesar de conocer con precisión los requerimientos ecológicos de la variedad, existe desconocimiento en cuanto a cuál será el impacto en su distribución territorial bajo las condiciones futuras y las variaciones climáticas proyectadas. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es identificar a través del uso de modelado espacial prospectivo el desplazamiento de las zonas de idoneidad climática para el escenario 2050 y 2070, proporcionando una herramienta analítica para planificar la reconversión y preservación de esta variedad estratégica en el territorio nacional.

Materiales y métodos

Para el modelado espacial actual y prospectivo, se delimitaron los requerimientos climáticos de la variedad Oro Azteca, estableciendo los rangos óptimos para su desarrollo (Cuadro 1). La información

de la climatología actual (línea base) se obtuvo de superficies climáticas globales interpoladas de alta resolución (Fick & Hijmans, 2017). Para proyectar las variaciones climáticas de los escenarios 2050 y 2070, se utilizó el modelo EC-Earth3-Veg (Döscher et al., 2022) perteneciente al proyecto CMIP6 (Eyring et al., 2016). Específicamente, se trabajó con el escenario SSP370, el cual representa un forzamiento radiativo medio-alto, ideal para evaluar el impacto a largo plazo en la agricultura (O'Neill *et al*., 2016). El procesamiento espacial de los rasters climáticos se ejecutó en Sistemas de Información Geográfica.

Cuadro 1. Rangos climáticos óptimos para el establecimiento de Oro Azteca.

Variable	Oro Azteca
Altitud (msnm)	600-1,300
Temperatura media anual (°C)	18-24
Precipitación (mm)	1,500-2,500

Cada variable ambiental se sometió a una reclasificación binaria, asignando un valor de "1" a los píxeles ubicados dentro de los rangos de aptitud y "0" a los que presentaron limitantes fisiológicas. Posteriormente, mediante álgebra de mapas, se realizó una superposición de capas (Altitud × Temperatura × Precipitación) para identificar las zonas de convergencia climática. Este procedimiento generó los mapas de idoneidad climática para los tres escenarios (Actual, 2050 y 2070). Para validar el modelo, se realizó un muestreo espacial utilizando coordenadas de parcelas de establecimiento ya existentes en estados como Colima, Guerrero, Nayarit, Veracruz y Chiapas. Finalmente, a partir de estos modelos espaciales, se calculó la superficie potencial neta en hectáreas (ha) para evaluar la permanencia, pérdida o ganancia territorial a nivel nacional bajo el escenario proyectado. Los resultados se presentarán como cartografía temática que permita visualizar con claridad el desplazamiento geográfico de las zonas aptas para el cultivo.

Resultados y discusión

Los resultados del análisis espacial prospectivo revelan una contracción drástica y generalizada de la superficie climáticamente apta para la variedad Oro Azteca en México bajo ambos escenarios de cambio climático de acuerdo al SSP370. Como se observa en el Cuadro 2 y en la Figura 1, los estados con mayor vocación cafetalera sufrirán pérdidas severas.

Cuadro 2. Superficies climáticamente aptas para el establecimiento de café Oro Azteca para el periodo actual y los escenarios de cambio climático 2050 y 2070 con SSP370.

Estado	**Superficie climáticamente apta (ha)**		
	Actual	**2050**	**2070**
San luis potosí	15,295.5	-	-
Jalisco	77,024.1	1,001.4	-
Veracruz	356,805.7	238,811.2	134,473.6
Hidalgo	96,416.7	75,021.1	34,688.1
Puebla	123,457.1	129,010.9	98,601.8
Guerrero	129,739.2	91.0	-
Oaxaca	556,285.5	75,840.5	3,641.8
Tabasco	1,001.4	-	-
Chiapas	1,165,286.2	368,368.4	53,443.4

Chiapas, que actualmente concentra 1,165,286.2 ha, reducirá su territorio idóneo en un 68% para 2050, colapsando a solo 53,443.4 ha en 2070. Asimismo, entidades como Tabasco y San Luis Potosí perderán la totalidad de su nicho ecológico desde el primer horizonte de proyección (2050). Este impacto territorial se traduce en una severa fragmentación espacial, donde el corredor continuo de aptitud actual quedará restringido a parches aislados de mayor altitud, asegurando temperaturas medias más bajas.



Figura 1. Modelado del potencial climático para la variedad de café Oro Azteca (*Coffea arabica* L.) México. Las áreas en rojo representan la superficie de idoneidad estricta para el escenario climático actual (A), y su desplazamiento proyectado para los horizontes 2050 (B) y 2070 (C) utilizando el modelo CMIP6 EC-Earth3-Veg (escenario SSP370).

Cabe mencionar, que de acuerdo con los resultados se identificó un fenómeno de tipo "refugio climático" en Puebla, único estado que incrementará su superficie apta en 2050 (pasando de 123,457.1 a 129,010.9 ha), lo que permitirá que territorios históricamente limitados por el frío alcancen la temperatura óptima de 18 a 24 °C exigida por el cultivo.
Aunque la variedad Oro Azteca destaca por su alta resistencia genética a la roya y un rendimiento potencial de hasta 3,500 kg/ha, el desplazamiento sostenido de las variables ambientales fuera de su rango comprometerá su desempeño fisiológico y fitosanitario.

Conclusiones

La modelación espacial bajo el escenario SSP370 evidencia que el cambio climático provocará una reducción drástica y una severa fragmentación del nicho climático de la variedad de café Oro Azteca en México para los años 2050 y 2070. Las regiones cafetaleras tradicionales del sur-sureste serán las más afectadas, destacando la pérdida total de aptitud fisiológica en entidades como Tabasco y San Luis Potosí desde el primer horizonte de proyección. Sin embargo, el desplazamiento altitudinal de las variables climáticas generará "refugios climáticos" transitorios en el centro del país, como en el estado de Puebla. A pesar de que esta variedad posee una alta resistencia genética a la roya y un excelente potencial productivo, su preservación frente al estrés climático exigirá la implementación de estrategias de adaptación y mejoramiento adecuado para las condiciones climáticas futuras. De acuerdo a estos resultados, resulta de suma importancia utilizar estas herramientas de prospección territorial para planificar la reconversión productiva y la migración asistida del cultivo, garantizando así la resiliencia y sostenibilidad de la cafeticultura nacional a largo plazo.

Agradecimientos y fuente financiadora

Recursos Fiscales del proyecto “Evaluación del cultivo del café ante el cambio climático: su productividad y calidad en variedades mejoradas en tres regiones de México.

Referencias bibliográficas

Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. Food Security, 7(2), 303-321. https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9.

Döscher, R., Acosta, M., Alessandri, A., Anthoni, P., Arsouze, T., Bergman, T. & Zhang, Q. (2022). The EC-Earth3 Earth system model for the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6. Geoscientific Model Development, 15(7), 2973-3020.

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 37(12), 4302-4315.

López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., & Zamarripa-Colmenero, A. (2016). Oro Azteca: Variedad de café con resistencia a roya y alta calidad en taza (Folleto Técnico). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental Rosario Izapa.

Ovalle-Rivera, O., Läderach, P., Bunn, C., Obersteiner, M., & Schroth, G. (2015). Projected shifts in Coffea arabica suitability among major global producing regions due to climate change. PLoS ONE, 10(4), e0124155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124155.

DESARROLLO DE PROTOTIPO DE UN SISTEMA BIOAISLANTE PARA EDIFICACIONES EN CLIMAS TROPICALES

José Alberto Morales Bolaina[1*], Gloria Ivette Bolio-López[1], Alex Valadez-González[2] y Miguel Ángel Velázquez-Carmona[1]

[1] Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas – Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco. C.P. 86500. [2] Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130, entre las calles 32 y 34, colonia Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, en Mérida, Yucatán
*Autor de correspondencia: jose.bolaina@upch.mx

Palabras clave. *Cambio climático, economía circular, energía, musgo, plástico.*

Introducción

El calentamiento global se ha intensificado a tal punto que hoy en día se utiliza el término “ebullición global”, de acuerdo a lo reportado por António Guterres, secretario general de la Organización de las Naciones Unidas en el pleno de la ONU el 27 de julio de 2023 (Paz, 2023).
En el contexto del calentamiento global, el incremento sostenido de la temperatura media del planeta se ha atribuido, en parte, al ineficiente aprovechamiento de la energía solar por los ecosistemas naturales y las áreas urbanizadas. La deforestación masiva reduce drásticamente la capacidad de la cobertura vegetal para absorber radiación solar, alterando los balances energéticos locales y regular la temperatura mediante procesos como la evapotranspiración (Bonan, 2008). Además, el acelerado crecimiento de la población en la última década ha impulsado la expansión urbana descontrolada, sustituyendo superficies verdes por materiales constructivos que acumulan y reemiten calor, intensificando el fenómeno de las islas de calor urbanas (Santamouris, 2015; Oke, 1982). Este desaprovechamiento del potencial solar en zonas tropicales no solo representa una oportunidad perdida para su uso energético pasivo, sino que también contribuye indirectamente a la intensificación del cambio climático.
Ante esta problemática, se han implementado tecnologías de aprovechamiento de este recurso tanto en la industria fotovoltaica, la solar térmica y la biomasa. Esta última ha ganado terreno en el plano de la investigación, al combinar el aprovechamiento solar con la economía circular ya que, diversos estudios han demostrado la recuperación de los residuos agroindustriales y agrícolas.
Paralelamente a este problema, a los plásticos se les han asociado como los principales contaminantes del planeta, siendo éstos una solución a los grandes impactos ambientales de las industrias del papel, cartón, vidrio y metales para fabricar contenedores y envolturas (NAECO, 2023; AIMPLAS, 2015).
La implementación de un sistema bioaislante térmico conformado por briofitas cultivadas sobre residuos agrícolas adheridos a placas de poliestireno reciclado mejora significativamente la eficiencia térmica en edificaciones tropicales en comparación con materiales convencionales como poliestireno y poliuretano.
El objetivo del presente proyecto es desarrollar un sistema bioaislante basado en briofitas cultivadas en residuos agrícolas soportadas en placas de residuos plásticos reciclados en edificios de Tabasco para el mejoramiento de la eficiencia energética en verano, realizando el proceso metodológico desde la recolección de los residuos y su tratamiento hasta la elaboración de los paneles del sistema bioaislante.

Materiales y métodos

La metodología describe el desarrollo, caracterización y evaluación de un material bioaislante ecológico a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos y poliméricos. El flujo de trabajo se estructura en cinco etapas principales:
1. Recolección y Acondicionamiento de Materias Primas: El proceso inicia con la recolección de residuos, específicamente poliestireno expandido (PS expandido) y sustratos orgánicos de coco,

piña y lirio. Tras una decisión lógica (*¿Se pudo recolectar?*), en caso negativo el material se descarta; de lo contrario, se procede al acondicionamiento. El PS expandido pasa por un lavado, desinfectado, secado y triturado, mientras que los sustratos orgánicos (coco y piña) se someten a secado y triturado.



Figura 2. Proceso de secado y triturado de los sustratos.

2. Fabricación de Placas y Aglomerado: Con las materias primas listas, se realiza la formación de placas poliméricas mezclando PS expandido con acetona, seguido de un secado por 72 horas. A continuación, se lleva a cabo la elaboración y aplicación de un aglomerado compuesto por el sustrato orgánico y silicato de sodio.



Figura 3. Proceso de preparación de la placa polimérica y el sustrado con el aglutinante.

3. Ensayos Térmicos y Mecánicos: El material compuesto entra a la fase de pruebas de transferencia de calor, determinando la transferencia con un termómetro doble infrarrojo y de sonda marca Klein Tools® IR07. Si el sistema no logra amortiguar la temperatura, se descarta. Si la respuesta es afirmativa, se preparan las muestras para pruebas mecánicas detalladas bajo normativas ASTM (D2344/D2344M, C203, C364/C364M), las cuales se realizan con apoyo del CICY en una Máquina de ensayos universales Shimadzu Autograph ® AG-I 100kN a una fuerza de 5 kN y una velocidad de desplazamiento de 1 mm/min. Si los resultados no cumplen los estándares esperados, la muestra se descarta.



Figura 4. Elaboración de las probetas y desarrollo de pruebas de resistencia mecánica.

4. Integración Biológica y Prototipado**:** Al obtener resultados mecánicos y térmicos favorables, se procede al sembrado y cultivo por 21 días de briofitas (*Dicranum scoparium*, *Hypnum cupressiforme* y *Homalothecium sericeum*) utilizando un inóculo de cada una de las tres especies diluido en una mezcla 1:1 de buttermilk y agua destilada. Se evalúa si el sistema demuestra la mejor reproducción de las plantas; de no ser así, se descarta. En caso positivo, se pasa a la etapa de prototipado, construyendo una estructura tipo habitación de dimensiones 40 x 40 x 40 cm.



Figura 5. Integración de las briofitas al sistema bioaislante.

Resultados y discusión

En la fase inicial de caracterización y preparación de sustratos, la determinación del porcentaje de humedad promedio mediante el analizador BOECO Germany® SMA 150 reveló valores de 55.19% para la cáscara de coco, 73.43% para la corona de piña y para el lirio acuático no se pudo obtener debido a su complicada recolección. Estos datos cinéticos iniciales permitieron optimizar los tiempos de deshidratado pasivo y solar, logrando la remoción de agua libre necesaria.

Respecto a la consolidación de la matriz polimérica base, el método de disolución adaptado de Rahman et al. (2017) demostró que el uso de acetona como solvente permite una reconfiguración estructural eficiente del poliestireno expandido residual. Para aumentar el aprovechamiento de los materiales, se experimentaron diversas diluciones del poliestireno en el solvente, llegando a aprovechar hasta el 92% el solvente, 82% más eficiente que lo sugerido por literatura. La posterior incorporación de la capa vegetal aglutinada con silicato de sodio Cemtech (1:1 p/p) evidenció una adecuada compatibilidad en la interfase sustrato-polímero, generando probetas compuestas bicapa con una cohesión mecánica óptima y sin desprendimiento de partículas lignocelulósicas durante el proceso de desmolde.

Los ensayos de caracterización mecánica ejecutados en el Laboratorio de Materiales del CICY revelaron variaciones significativas en función del tipo de residuo agroindustrial empleado. Las probetas basadas en cáscara de coco aglutinada exhibieron los mayores módulos de resistencia a

la compresión (ASTM C364/C364M) y flexión (ASTM C203), comportamiento atribuido a la alta densidad y al carácter fibroso intrínseco de las paredes celulares lignocelulósicas del coco, superando el desempeño mecánico de los arreglos con corona de piña, como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de pruebas de resistencia.

Prueba	Resistencia (MPa)	
ASTM	**Coco**	**Piña**
C364/C364M	1	0.58
D2344/D2344M	0.09	0.18
C203	2.73	0.77

Aunque los ensayos con mejores resultados fueron con la placa de corona de piña (P) frente a los de cáscara de coco (C), como se muestra en la Figura 5, la diferencia entre uno y otro fue mayor en las de piña aumentando la variación, y al evaluar los promedios de las resistencias obtenidas como se presentan en el Cuadro 1, el mejor sustrato es el coco.

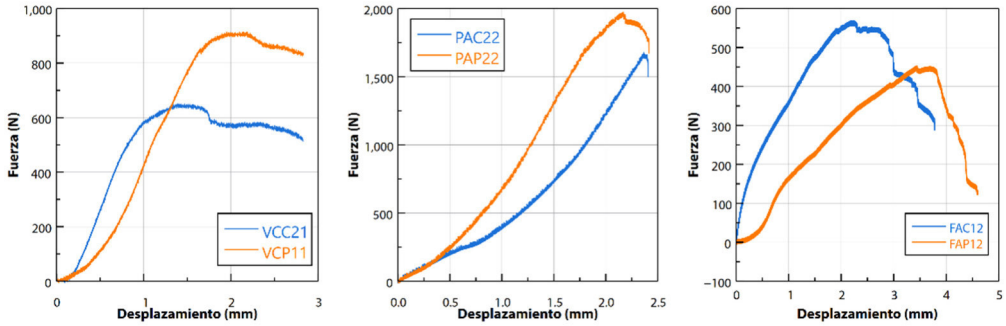


Figura 6. Curvas de fuerza de los mejores ensayos por cada tipo de prueba: a) Pandeo, b) Viga corta, c) Flexión.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas y baja conductividad térmica, se determinó a emplear el sustrato de cáscara de coco para usarlo como soporte para las briofitas. Se observó el crecimiento durante 21 días bajo condiciones expuestas ambientalmente y riego por aspersión dos veces al día resultando la *Hypnum cupressiforme* la más apta para este sistema pues, fue la que se adaptó como más rapidez al sistema y mostró mayor resiliencia a los días más calurosos, tal como se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Crecimiento de las briofitas en la placa de aislante.

Especie de briofita	Porcentaje de crecimiento en placa		
	Semana 1	**Semana 2**	**Semana 3**
Dicranum scoparium	10%	30%	45%
Hypnum cupressiforme	15%	75%	90%
Homalothecium sericeum	3%	20%	55%

Con estos datos obtenidos, ya se cuenta con la propuesta de sistema bioaislante que permitirá la comparación de su efectividad frente a otros sistemas de aislamiento térmico.

Conclusiones

El desarrollo de esta matriz compuesta demostró la factibilidad técnica y ambiental de revalorizar el poliestireno expandido y la cáscara de coco como un soporte bioaislante de alta cohesión. La caracterización mecánica evidenció que el sustrato de coco otorga una mayor resistencia a la compresión y flexión en comparación con la piña, mientras que los ensayos biológicos identificaron a *Hypnum cupressiforme* como la especie vegetal con superior capacidad de adaptación y cobertura (90% a los 21 días). El sistema resultante consolida una alternativa sostenible, viable y de bajo costo para optimizar la eficiencia energética en edificaciones de regiones tropicales.

Referencias bibliográficas

AIMPLAS. (2015). Plásticos y medio ambiente: Mitos y realidades sobre los envases plásticos. Centro Tecnológico del Plástico.

Paz, M. (2023, 27 de julio). La era del calentamiento global ha terminado, la era de la ebullición global ha llegado: ONU. ONU Noticias. https://news.un.org/es/story/2023/07/1522962

Rahman, M. M., Islam, M. A., & Huque, M. M. (2017). Recycling of expanded polystyrene waste using eco-friendly solvents: Dissolution kinetics and characterization. Journal of Polymers and the Environment, 25(3), 711–718.

IMPLICACIONES DEL USO DE MALLA SOMBRA EN LA TEMPERATURA DURANTE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE PIÑA MD-2

Rosa Laura Rebolledo-García[1]*, Andrés Rebolledo Martínez[2], María Enriqueta López Vázquez[2], Nain Peralta Antonio[2], Casimiro Ordóñez Prado[1], Rogelio Miranda Marini[2] y Gerardo Montiel Vicencio[2].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRGOC. Campo Experimental San Martinito. Km 56.5. Carretera México-Puebla, C.P. 71300, Tlahuapan, Puebla, México; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Km 34.5. Carretera Federal Veracruz-Córdoba, C.P. 94270, Medellín, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: rebolledo.rosa@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Temperatura, Ananas comosus, manejo del cultivo.*

Introducción

La piña es un frutal tropical de gran apreciación mundial, a nivel internacional se cultiva en más de mil millones de hectáreas, y México está entre los principales 10 productores de esta fruta (FAO, 2026). Además, la fisiología de la planta posiciona al cultivo entre uno de los capaces de afrontar altas temperaturas durante su desarrollo por poseer el metabolismo ácido de las crasuláceas (Bartholomew, 2018).
Al mismo tiempo, el incremento de la temperatura ambiental, por el efecto invernadero, tiene como resultado una reducción en el rendimiento potencial de los cultivos y su calidad. Esta situación emergente enfatiza la importancia del desarrollo de investigación que permitan hacer frente a este problema (Campbell et al*.,* 2016).
No obstante, las cualidades metabólicas que permiten la producción y supervivencia de la piña, las altas temperaturas también la afectan. Temperaturas arriba de su rango óptimo de desarrollo tiene como consecuencia un decremento de su rendimiento y se presentan daños importantes en el tejido del fruto, alterando negativamente la calidad del producto (Marques et al., 2022).
A lo largo de los años, se han desarrollado diferentes métodos o técnicas para evitar el daño por altas temperaturas como el uso de mallas sombra. Sin embargo, se desconoce la respuesta de la temperatura de la superficie edáfica cuando esta tecnología se combina con el acolchado plástico. Considerando lo anterior el objetivo del presente trabajo es determinar el gradiente de temperatura del microambiente de la planta y de la superficie del suelo cuando se utiliza malla sombra y se combina con el acolchado plástico.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la cuenca baja del Papaloapan, en el municipio de Isla, Veracruz, México. La huerta experimental, se estableció en las coordenadas 18° 5' 15.263" N, 95° 35' 0.052" O. El clima en Isla, Veracruz, es cálido y húmedo la mayor parte del año. Las temperaturas máximas suelen rondar entre los 31 °C y 33 °C, con sensaciones térmicas que llegan hasta los 45°C; mientras que las mínimas bajan a unos 23 °C o 24 °C, con sensación de 15°C. Las precipitaciones se presentan principalmente durante el verano y otoño, con lluvias y chubascos frecuentes por las tardes.
El experimento se estableció el 1 de abril del 2025 en plantaciones de piña MD-2 en etapa de desarrollo vegetativo, la planta se estableció en camas a doble hilera en tres bolillo, con acolchado plástico negro calibre 150, a una densidad de 45 mil plantas ha^{-1}. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones, los tratamientos fueron: 1) Cielo abierto con acolchado y 2) Malla sombra con acolchado.
Las variables respuestas fueron la temperatura superficial de la cama y temperatura de la hoja que se midieron con un termómetro láser. Además, se midió la radiación durante la mañana y al medio

día (W/m2) con un solarímetro. Los resultados se presentan como medias de las mediciones tomadas en el mes de junio.
Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey (α=0.05) con el programa estadístico R.

Resultados y discusión

Los resultados sobre la radiación en los tipos de manejo de producción de piña MD-2, se muestran en la Figura 1. Se observa que en las primeras horas del día con radiación solar no hay diferencias significativas entre tratamientos, mientras que cuando la radiación solar incrementa al mediodía se empieza a notar las diferencias entre tratamientos. Esta variable está directamente relacionada con la temperatura, ya que es la radiación quien emite la energía calorífica que va acumulando en el medio.

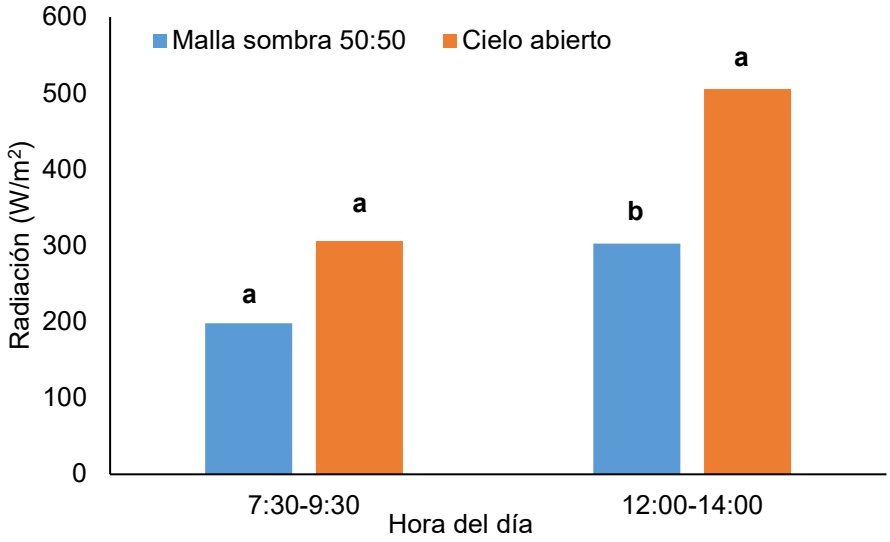


Figura 1. Radiación solar que ingresa al cultivo de piña MD-2 durante la mañana y la tarde, cuando esta se manejó a cielo abierto y con malla sombra 50:50 durante el desarrollo vegetativo de la plantación. Barras con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

En las Figura 2 y 3 se observan las temperaturas de hoja y en la cama de cultivo en cada uno de los tratamientos. En estas variables no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, temperaturas de la planta por arriba de los 38°C implican un estrés térmico severo afectando el metabolismo de piña. Esto incluye una disminución de la fotosíntesis, degradación enzimática, desnaturalización de proteínas.

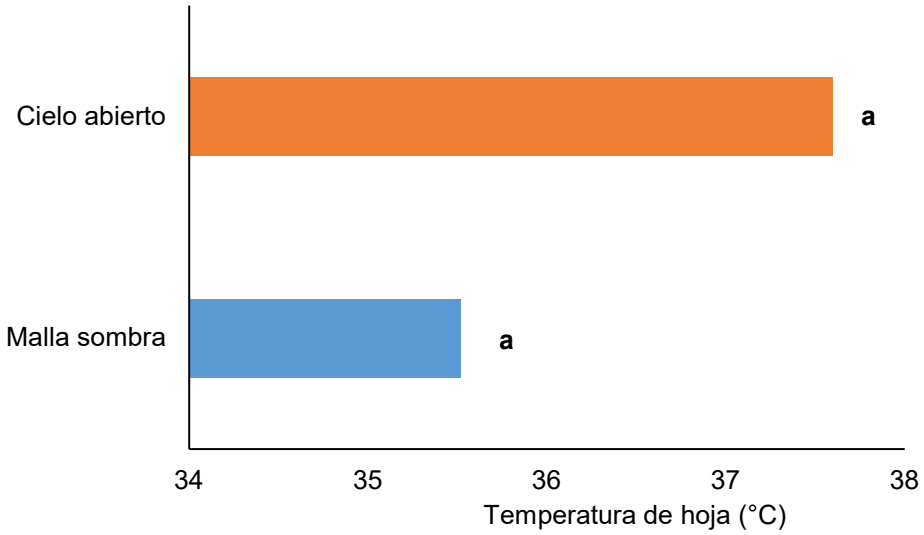


Figura 2. Temperatura foliar de piña MD-2 en etapa vegetativa manejada con malla sombra 50:50 y a cielo abierto. Barras con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

Por otra parte, la temperatura de la cama genera un microambiente en el sistema productivo; temperaturas ambientales de 38°C someten a la planta a un estrés térmico, mientras que las cercanas a los 41 °C colocan a la planta en su límite de su tolerancia fisiológica, afectando su calidad y rendimiento. Es así como aun cuando no hay diferencias significativas, el tratamiento con malla sombra sobresale al ayudar a la mitigación de este tipo de estrés térmico.

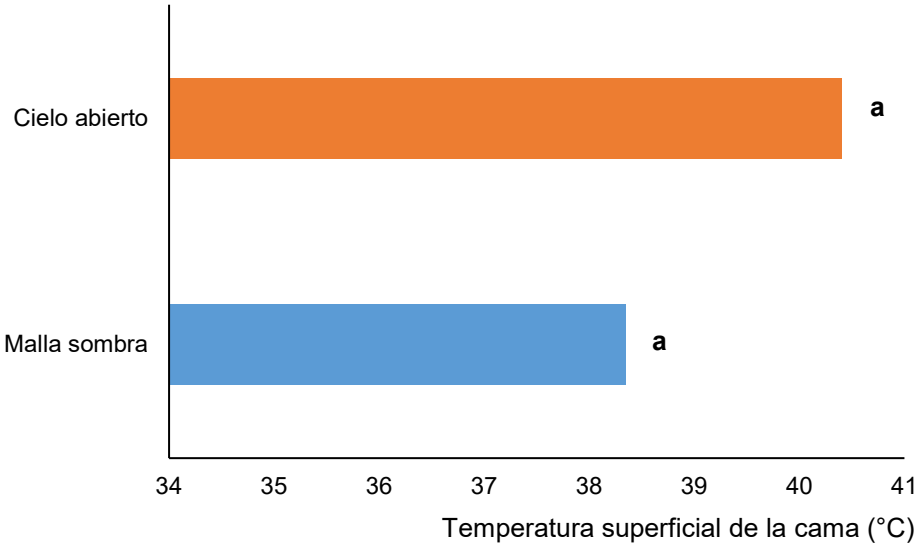


Figura 3. Comportamiento de la temperatura superficial de la cama de siembra de piña MD-2 en etapa vegetativa, manejada a cielo abierto y con malla sombra 50:50. Barras con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05).

Conclusiones

El uso de la malla sombra disminuye considerablemente la radiación que recibe el cultivo de piña. El uso de la malla sombra 50:50 combinada con el acolchado plástico permite tener temperaturas más

estables durante la etapa vegetativa. Se necesitan mayores estudios que permitan observar el impacto en la etapa de fructificación y de producción de vástagos.

Referencias bibliográficas

Bartholomew, D.P. (2018). Crop environment, plant growth and physiology. In: Sanewski, G., Bartholomew, D.P. and Paull, Robert E. (eds). The pineapple: botany, production and uses. 2nd ed. CABI, Boston, USA.

Campbell, M.E., S. J. Vermeulen, P. K., Aggarwal, C. Corner-Dolloff, E. Girvetz, A. M. Loboguerrero, J. Ramírez-Villegas, Todd Rosentock, L. Sebastian, P. K. Thornton and E. Wollenberg. (2016). Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Security*, 11:34-43.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2026). Crops and livestock pineapple statistics.

Marques Y., G. C., Pinsetta J., J. S., Mattiuz, B. H., Mello P. R., Júlia C., A., Souza R., A. M. and Wyllyam V., D. (2022). Spraying of calcium carbonate nanoparticles on pineapple fruit reduces sunburn damage. *South African Journal of Botany*, (148):643-651.

CULTIVOS ANUALES

EFECTO DEL AMBIENTE EN FENOLOGIA Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE SOYA EN EL SURESTE MEXICANO

Mirna Hernández-Pérez[1]*, Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá-Rico[2], Liliana Saucedo-Picazo[1], Jhibrán Ferral-Piña[3] y María Alma Rangel-Fajardo[4]

[1]INIFAP-CE-Edzná, [2]INIFAP-CE-Las Huastecas, [3]INIFAP-CE-Chetumal y [4]INIFAP-CE-Mocochá
*Autor para correspondencia: hernandez.mirna@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Rendimiento, días a floración y a madurez.*

Introducción

La soya (*Glycine max* L Merr), es la oleaginosa más cultivada a nivel mundial por su alto valor proteínico, tanto para uso humano y animal; así como por la gran cantidad y variedad de productos que se elaboran (Hernández; et al., 2025). Actualmente se siembran alrededor de 123.5 millones de hectáreas, en donde su rendimiento medio ha oscilado entre 2.1 y 2.8 t ha^{-1} en los últimos años (FAO, 2019). En promedio, este grano seco genera desde un 20% de aceites y un 40% de proteínas (Maldonado, et al., 2007). En México, los principales estados productores en 2024 fueron: Campeche (55%), Tamaulipas (17%), Yucatán (12%) y Chiapas (7%), con un rendimiento medio de 2.12 t ha^{-1}. Campeche, ocupa el primer lugar en la producción nacional con 145,642 toneladas cultivadas en 58 mil hectáreas, generándose principalmente en los municipios de Hopelchén (71.8%), Campeche (23.8%) y Hecelchakán (2.7%), con un rendimiento medio de 2.48 t ha^{-1} (SIAP, 2026). El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento fenológico y productivo de siete variedades y ocho genotipos avanzados de soya en dos años.

Materiales y métodos

En el Rancho Villa Micaela, Campo No. 2 “Xbombear” (Coordenadas son: 20°10’45.09’’ N 90°05’36.68’’ O), ubicado en el km 3.5, carretera Hecelchakán-Bolonchén de Rejón a medio km antes de llegar al CBTa 169; en el municipio de Hecelchakán, Campeche, Camp (Figura 1), con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, a una altitud de 10 msnm; en dos ciclos de producción (2019 y 2022), se evaluaron bajo condiciones de temporal, siete variedades de soya: Huasteca 100 (H100), Huasteca 200 (H200), Huasteca 300 (H300), Huasteca 400 (H400), Huasteca 600 (H600), Tamesí y Huasteca 700 (H700); así como ocho genotipos avanzados: H15-0240, H14-0834, H17-1356, H17-0383, H10-2994, H10-0556, H10-2944 y H15-0154.
Se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Las fechas de siembra fueron: el 05 de julio de 2019 y 15 de julio de 2022. El experimento se estableció en suelo luvisol férrico, de buen drenaje y con textura arcillosa caolinita. La precipitación acumulada durante la estación de crecimiento fue de 1049 mm en 2019 y de 896.7 mm en 2022. La temperatura media fue de 27.12 °C para 2019, mientras que para 2022 de 27.93 °C. La unidad experimental se conformó de cuatro surcos de 4 m de longitud, separados a 0.8 m, con una densidad de población de 250,000 plantas ha^{-1}, la parcela útil se conformó de los dos surcos centrales. La semilla fue tratada e inoculada con Carboxín y Thiram (130 ml 100 kg^{-1} de semilla) y *Bradyrhrizobium japonicum* (365 ml 100 kg^{-1} de semilla). La dosis de fertilización aplicada en banda y al momento de la siembra fue de 60-80-00. El control de maleza preemergente fue mecánico, con ayuda de una desbrozadora y postemergente con Fluzifop-p-buthyl y Fomesafen (1 l ha^{-1}). El control de plagas se realizó con Novalurón (Rimón 10 CE), Beta-Cyfluthrin + Imidacloprid (Muralla Max) y Cipermetrina, con dosis de 0.2, 0.25 y 0.2 l ha^{-1}, respectivamente.
Se evaluó el rendimiento de grano (t ha^{-1}) y la fenología [días a (floración Completa, vainas completamente desarrolladas, inicio de formación de semillas, semilla completamente desarrollada, inicio de maduración y madurez fisiológica)]. El análisis estadístico, constó de ANOVA y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), así como análisis de componentes principales con las medias de cada año. Se utilizó el software estadístico SAS ver 9.3 (Statistical Analysis System, 2010) y R versión 4.6.

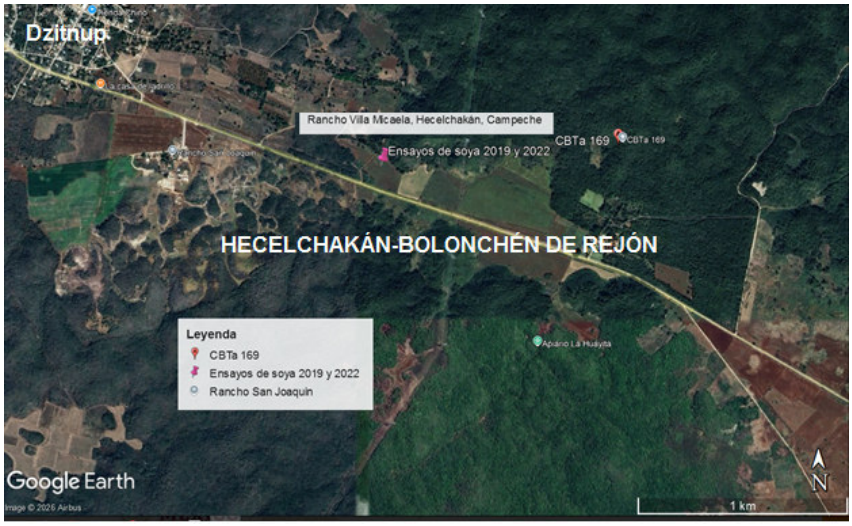


Figura 1. Ubicación del Rancho Villa Micaela, en el municipio de Hecelchakán, Campeche

Resultados y discusión

En el rendimiento se observa que, los materiales genéticos evaluados durante el año 2019, fueron superiores, donde hubo diferencias significativas con $P \leq 0.01$ (Cuadro 1), los mejores materiales de este año, fueron H15-0154, H15-0240 y H700, con 3.0 t ha^{-1} cada uno; rendimiento superior en 0.52 t ha^{-1} con respecto al promedio de la región; seguida de los materiales H400, H200, H10-0556, H10-2944, H17-1356, H600, H300 y Tamesí, con rendimientos que oscilan de 2.8 a 2.2 t ha^{-1}. Los valores más bajos lo expresaron los materiales H14-0834, H100, H10-2994 y H17-0383 con rendimientos que oscilan de 2.1 a 2.0 t ha^{-1}; mientras que, en el año 2022 todos los materiales fueron estadísticamente iguales con rendimientos que oscilaron entre 3.2 t ha^{-1}de la variedad H700 a 1.4 t ha^{-1} del genotipo H17-0383. El año 2019 presentó mejores condiciones para la expresión del rendimiento de los cultivares evaluados, lo que es evidente al observar que superó al año 2022 con 152 mm de precipitación.

En la fenología (Cuadro 1), se observó que el material más precoz en días a floración completa (R2) durante los dos años evaluados fue la variedad Huasteca 300 con 38 días en 2019 y 36 días en 2022, seguido de la variedad Tamesí con 39 días en 2019 y 38 días en 2022; mientras que el material más tardío en esta misma etapa fue el genotipo: H10-2944 con 53 días en 2019 y de 51 en 2022. En R4 (Días a vainas completamente desarrolladas), podemos ver que el material más precoz, durante los dos años evaluados fue la variedad Tamesí con 44 días en 2019 y 43 en 2022; seguido del genotipo H15-0240 con 45 días en 2019 y 46 en 2022; mientras que el material más tardío fue H10-2944 con 65 días en 2019 y 61 en 2022. Para R5 (Días a inicio de formación de semillas), los materiales más precoces fueron Tamesí en 2019 con 60 días y H15-0240 en 2022 con 59 días, seguido de los materiales H10-0556 (2019) con 64 días y de H400 (2022) con 61 días; resultando ser el más tardío en esta etapa el genotipo H10-2944, con 76 días en 2019 y 73 días en 2022. Durante el ciclo reproductivo R6 (Días a semilla completamente desarrollada), los materiales genéticos más precoces fueron Tamesí (2019) con 71 días y H15-0240 (2022) con 65 días; siendo los más tardíos H10-2944 (2019) con 85 días y H200 (2022) con 83 días. En el ciclo reproductivo R7 (Días a inicio de maduración), se pueden observar los materiales genéticos H10-0556 (2019) y H400 (2022) como los más precoces con 84 y 83 días respectivamente, seguido de los genotipos H15-0240 y H10-0556, con 89 y 84 días, respectivamente; así como las variedades Tamesí y H14-0834 como los más tardíos, con 108 y 103 días respectivamente. Finalmente, en la etapa reproductiva R8 (Días a madurez fisiológica) se observan a los materiales más precoces H10-0556 y H15-0240 con 101 y 99 días, respectivamente, seguido de los materiales H15-0240 y H10-0556

con 102 días cada uno; mientras que la variedad más tardía es la H200 con 125 días en 2019 y 120 días en 2022.

La soya es una planta de alta sensibilidad al fotoperiodo (duración del día) e influye en la duración del ciclo y en el rendimiento. Tiene un ciclo de "días cortos", es decir, su ciclo se acorta cuando más corto es el fotoperiodo. Con fotoperiodos más largos que el crítico, la tasa o velocidad en el desarrollo de los órganos reproductivos se vuelve más lenta y la floración se retrasa (Román, 2009).

Cuadro 1. Rendimiento y fenología de soya. Rancho Villa Micaela, Hecelchakán, Campeche (2019-2022).

Materiales geneticos	Rendimiento T ha^{-1}		Dias de la siembra a:											
			*r2		R4		R5		R6		R7		R8	
	2019	2022	2019	2022	2019	2022	2019	2022	2019	2022	2019	2022	2019	2022
H15-0154	3028.2 a	2567.8 a	41	40	54	55	69	71	74	75	89	95	107	109
H15-0240	3015.8 a	2142.7 a	40	38	45	46	66	59	75	65	89	85	102	99
H700	3012.5 a	3162.3 a	45	45	50	56	75	72	85	82	100	96	120	118
H400	2805.9 ab	1876.9 a	47	45	58	57	67	61	80	72	96	83	119	115
H200	2608.6 ab	1564.6 a	48	47	58	57	70	72	85	83	100	99	125	120
H10-0556	2551.8 ab	1561.9 a	46	48	57	56	64	65	72	75	84	84	101	102
H10-2944	2455.8 ab	1658.3 a	53	51	65	61	76	73	85	82	94	89	111	105
H17-1356	2424.5 ab	2470.1 a	45	39	56	50	72	69	85	80	99	92	115	105
H600	2375.6 ab	1565.9 a	43	41	58	56	72	70	83	77	100	99	118	116
H300	2222.5 ab	2250.2 a	38	36	54	53	74	71	81	79	94	96	113	108
Tamesí	2209.2 ab	2179.0 a	39	38	44	43	60	65	71	75	108	95	115	105
H14-0834	2110.3 b	1812.8 a	40	41	55	46	66	66	79	70	89	103	108	112
H100	2025.8 b	2149.3 a	40	39	51	51	71	69	80	75	99	96	114	111
H10-2994	2009.2 b	1644.5 a	46	49	57	59	68	70	79	81	89	92	108	109
H17-0383	1986.7 b	1470.5 a	49	42	55	51	69	71	72	78	90	94	103	106

*R2: Días a floración completa, R4: Días a vainas completamente desarrolladas, R5: Días a inicio de formación de semillas, R6: Días a semilla completamente desarrollada, R7: Días a inicio de maduración y R8: Días a madurez fisiológica.

De acuerdo al biplot (Figura 2), los primeros dos componentes principales (CP) explicaron el 73.23% de la variabilidad, siendo el CP1 quien explicó la mayor variabilidad con 44.86%, seguido del CP2 con 28.73%. Así mismo, esta variabilidad se reflejó en la distribución de los materiales genéticos de soya en los cuatro cuadrantes. Siendo Tamesí, H15-0240, H10-0556 y H10-2944, los que contribuyeron en mayor medida a la variabilidad. Por otro lado, las variables más discriminantes fueron días a R4, R6 y R7. En lo que corresponde a la correlación, la variable de rendimiento se asoció positivamente con días a R7 y días a R8, sin embargo, presentó una relación negativa con días a R2 y días a R4. Teniendo estas dos últimas variables una correlación positiva. Además, días a R5 y días a R6 también tuvieron una relación positiva. Por otra parte, los materiales genéticos Tamesí y Huasteca 700 sobresalieron en las variables de rendimiento, días a R7 y días a R8. La Huasteca 200 presentó la mayor cantidad días a R5 y R6. Los materiales genéticos H10-2994 y H10-2944 se caracterizaron por tener mayor número de días a R2 y R4. En contraste con los materiales genéticos anteriores, H15-0240 fue el más precoz en todas las etapas, pero su rendimiento es

aceptable.

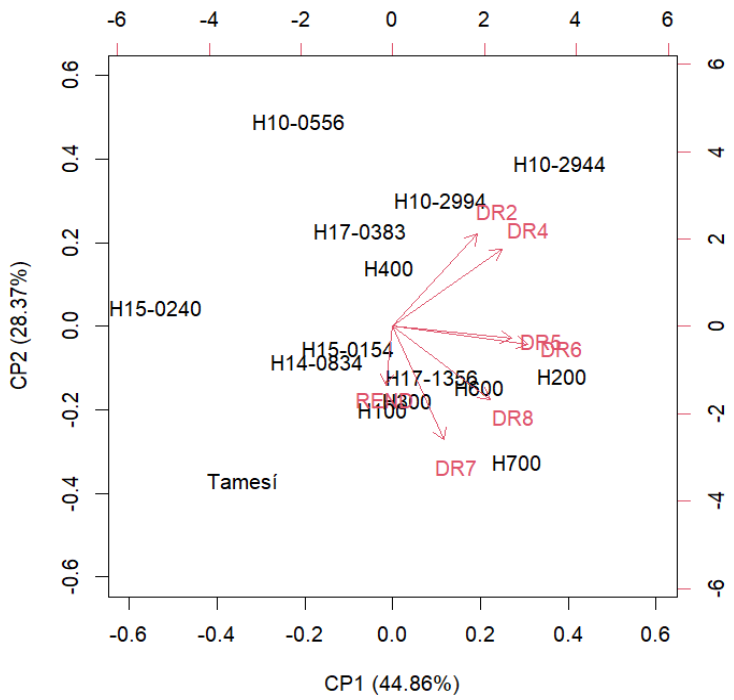


Figura 2. Biplot de rendimiento y etapas fenológicas en materiales genéticos de soya.

Conclusiones

Los materiales genéticos evaluados se clasificaron de acuerdo con su ciclo fenológico: precoces (H10-0556, H15-0240, H17-0383, H15-0154 y H10-2994), intermedios (H14-0834, H10-2944, H300, H100, H17-1356 y Tamesí) y tardíos (H600, H400, H700 y H200). Se identificó que las fechas de siembra cercanas al inicio y establecimiento del temporal presentan los potenciales de mayor productividad, en términos generales los materiales de ciclo precoz son más aptos para este periodo de siembra, en cambio en las fechas de siembra de fines de julio a mediados de agosto los materiales intermedios y tardíos presentan mejores potenciales de rendimiento.

Los mejores materiales genéticos evaluados en 2019, que presentaron mayor rendimiento fueron: H15-0154, H15-0240 y H700, con 3.0 t ha^{-1} cada uno; rendimiento superior en 0.52 t ha^{-1} con respecto al promedio de la región (2.48 t ha^{-1}) y los valores más bajos lo expresaron los materiales genéticos H14-0834, H100, H10-2994 y H17-0383 con rendimientos que oscilan de 1.9 a 2.1 t ha^{-1}; mientras que, en el año 2022, el material con mayor con rendimiento fue la variedad H700 con 3.2 t ha^{-1} y el genotipo que presentó el rendimiento más bajo fue H17-0383 con 1.4 t ha^{-1}.

Cabe destacar que en el año 2019 se presentó mejores condiciones para la expresión del rendimiento de los materiales genéticos evaluados, lo que es evidente al observar que superó al año 2022 con 152 mm de precipitación.

Referencias bibliográficas

Maldonado M. N., G. Ascencio L. y J. Ávila V. 2007. Guía para cultivar soya en el sur de Tamaulipas. Folleto para Productores Núm. 2. ISBN: 978-970-43-0272-6. Campo Experimental Sur de Tamaulipas, CIRNE-INIFAP. Altamira, Tamps., México. 83 p.

Hernández P. M., Soto R. J.M., Grajales S. M. y Orona C. F. 2025. Tecnología para producir soya de temporal en el estado de Campeche. Folleto Técnico Núm. 35. INIFAP-CIRSE-C.E Edzná. San Francisco de Campeche, Camp. México. 57 pp. ISBN: 978-607-37-1828-8.

Román, R. Paola. 2009. Fenología de la Soya. Manual de Difusión Técnica de Soya NO. 83. Fundacruz. <http://www.fundacruz.org.bo> Fecha de consulta: Julio de 2019.

SAS, Statistical Analysis System Institute. 2010. The SAS system for Windows user's guide. Release 9.3. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.

Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). 2026. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SADER). <http://www.siap.gob.mx>. Fecha de consulta: Julio de 2026.

COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DOS CHILES SECOS Y TRES DENSIDADES DE SIEMBRA EN TABASCO, MÉXICO

Miguel Torres-González[-1], Samuel Córdova-Sánchez[-1*], Eder Ramos-Hernández[-2], Rosa Graciela Santos-Arguelles[-2] y Juan Manuel Zaldivar-Cruz[-3].

[1]Universidad Popular de la Chontalpa-División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Red MASCUT y CA-QVyDS, Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km 2, Cárdenas. C.P. 86529. Cárdenas, Tabasco, México. [2]Campo experimental Huimanguillo- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Huimanguillo-Cárdenas Km. 1. CP. 86400. Huimanguillo, Tabasco, México. [3]Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área Agricultura. H. Cárdenas, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: sacorsa_1976@hotmail.com

Palabras Claves: *Variedades criollas, chiles secos, densidades de siembra, región Chontalpa, suelo Fluvisol.*

Introducción

El chile (Capsicum annuum L.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica y cultural en México. En la región de la Chontalpa, Tabasco, los cultivares criollos Costeño y Tabaquero representan una alternativa productiva para la elaboración de chile seco, debido a su adaptación a las condiciones agroecológicas locales. Sin embargo, su rendimiento puede verse influenciado por prácticas agronómicas como la densidad de siembra, la cual modifica la competencia entre plantas por luz, agua, nutrimentos y espacio, afectando el crecimiento y la productividad. Debido a que la respuesta a la densidad depende de las características de cada cultivar, es necesario generar información que permita optimizar su manejo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de distintas densidades de siembra sobre variables agronómicas clave, como la altura de planta, el número de frutos, el rendimiento por planta y el rendimiento por hectárea, en los cultivares criollos Costeño y Tabaquero.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un suelo Fluvisol de la región de la Chontalpa, Tabasco, México. Se evaluaron los cultivares criollos Costeño y Tabaquero bajo tres densidades de siembra, correspondientes a los espaciamientos de 70 x 60, 50 x 60 y 40 x 60 cm. El experimento se estableció mediante un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones.
Durante el ciclo del cultivo se realizaron las prácticas de manejo agronómico recomendadas para la región. Se evaluaron la altura de planta, el número, el número de frutos por planta, el peso fresco y seco por planta, el rendimiento por corte y el rendimiento total de fruto fresco y seco por hectárea. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Los resultados indicaron que el cultivar fue el principal factor que influyó sobre las variables productivas. El cultivar Tabaquero presentó un mayor número de frutos por planta (64.19) respecto al Costeño (17.16); sin embargo, el Costeño registró un peso fresco promedio por planta significativamente mayor (81.57 frente a 26.91 g), atribuible al mayor tamaño de sus frutos. Como consecuencia, el Costeño alcanzó un rendimiento total de fruto fresco de 2507.37 kg ha-1, superando significativamente al Tabaquero, que obtuvo 872.89 kg ha-1.
En cuanto al rendimiento de fruto seco, no se observaron diferencias estadísticas entre ambos cultivares, lo que sugiere que la pérdida de humedad durante el secado redujo las diferencias detectadas en fruto fresco. La densidad de siembra y la interacción entre cultivar y densidad no

presentaron efectos significativos sobre las variables evaluadas; sin embargo, el espaciamiento de 40 x 60 cm mostró los mayores valores numéricos de rendimiento por hectárea, indicando una tendencia favorable hacia una mayor población de plantas sin afectar negativamente la productividad individual.

Conclusiones

Los resultados demuestran que el comportamiento productivo estuvo determinado principalmente por las características propias de cada cultivar. Aunque el Tabaquero produjo un mayor número de frutos por planta, el Costeño presentó frutos de mayor peso y alcanzó el mayor rendimiento de fruto fresco por hectárea, lo que evidencia un mayor potencial para la producción regional de chile seco. Las densidades de siembra evaluadas no modificaron significativamente las variables agronómicas estudiadas; no obstante, el espaciamiento de 40 x 60 cm mostró una tendencia favorable en el rendimiento por unidad de superficie. Estos resultados constituyen una base para establecer recomendaciones de manejo dirigidas a mejorar la productividad de cultivares criollos en la región de la Chontalpa, Tabasco.

Referencias bibliográficas

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado. Año agrícola 2022-2023. Gobierno de México. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EADTT%202022-2023.pdf.

Piña, Margarito, & Arboleda, María Elena. (2010). Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de Crescentia cujete. Bioagro, 22(1), 61-66. Recuperado en 28 de noviembre de 2025, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100008&lng=es&tlng=es.

Velázquez, R., Casquete, R., Hernández, A., Martín, A., Córdoba, M. G., Coleto, J. M., & Bartolomé, T. (2019). Efecto de la densidad de plantación y el tipo de cosecha en el rendimiento y la calidad de pimientos frescos y secos para paprika. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(1), 400–408. https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.9201.

López-Gómez, José Daniel, Villegas-Torres, Oscar Gabriel, Sotelo Nava, Héctor, Andrade Rodríguez, María, Juárez López, Porfirio, & Martínez Fernández, Edgar. (2017). Rendimiento y calidad del chile habanero (Capsicum chinense Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(8), 1747-1758. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.699.

Andueza-Noh, Rubén Humberto, Latournerie-Moreno, Luis, Moran-Vázquez, Nicolás, Cervantes-Ortiz, Francisco, Mendoza-Elos, Mariano, & Rangel-Lucio, José Antonio. (2017). Respuesta fisiológica de la semilla de chile habanero (Capsicum chinense Jacq.) al almacenamiento. Acta universitaria, 27(6), 22-29. https://doi.org/10.15174/au.2017.1395.

RESPUESTA AGRONÓMICA DE VARIEDADES DE ARROZ DE TEMPORAL A BIOESTIMULANTES Y DENSIDADES DE SIEMBRA

Sergio Salgado-Velázquez[1]*, Fabiola Olvera-Rincón[2], Lucas Alejandro Fadda[3], Pablo Ulises Hernández-Lara[1], Dante Sumano-López[1] y Samuel Córdova-Sánchez[4].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, C. E. Huimanguillo, km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86400. [2]Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Moina km 3.5. Cardenas, Tabasco, México. C. P. 86500. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz, México. C. P. 94270. [4]Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2.0, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86500.
*Autor para correspondencia: salgado.sergio@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Rendimiento de grano, biomasa aérea, manejo agronómico, extracto de algas, macollamiento.*

Introducción

El arroz es uno de los cultivos básicos de mayor importancia para la seguridad alimentaria, debido a su amplio consumo y relevancia económica en regiones tropicales y subtropicales. En México, la producción de arroz enfrenta diversos retos asociados con la baja productividad, la variabilidad climática, el incremento en los costos de producción y la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos disponibles. En Tabasco, donde predominan condiciones tropicales húmedas y sistemas de producción bajo temporal, el rendimiento del cultivo puede verse limitado por una distribución irregular de la lluvia, presión de malezas, problemas fitosanitarios y prácticas agronómicas que no siempre permiten expresar el potencial productivo de las variedades disponibles. Ante esta problemática, es necesario evaluar alternativas de manejo que contribuyan a fortalecer el crecimiento del cultivo, mejorar la formación de componentes del rendimiento y aumentar la productividad del arroz bajo condiciones locales (Salgado-Velázquez *et al.,* 2026). Entre estas alternativas, el uso de bioestimulantes agrícolas ha cobrado interés debido a su capacidad para favorecer procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes, el macollamiento, la acumulación de biomasa y la tolerancia a condiciones de estrés. De igual manera, la densidad de siembra representa una práctica clave, ya que determina la competencia entre plantas, la interceptación de luz, la producción de macollos efectivos, el número de panículas por unidad de superficie y, finalmente, el rendimiento de grano. Sin embargo, la respuesta del arroz a estas prácticas no depende únicamente del manejo agronómico, sino también del genotipo utilizado. Por ello, resulta importante estudiar de manera integrada la respuesta de diferentes variedades de arroz a la aplicación de bioestimulantes y a distintos arreglos de siembra. Este enfoque permite identificar combinaciones de manejo con mayor potencial productivo y generar información útil para mejorar la toma de decisiones en sistemas de arroz de temporal. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de cinco bioestimulantes, tres densidades de siembra y cinco variedades de arroz sobre el crecimiento, los componentes del rendimiento y la productividad de grano bajo condiciones de temporal en Tabasco. La investigación busca aportar evidencia agronómica para optimizar el manejo del cultivo, identificar variedades con mejor desempeño y contribuir al desarrollo de estrategias de producción más eficientes, rentables y adaptadas a las condiciones agroclimáticas del trópico húmedo mexicano.

Materiales y métodos

Sitio de estudio. El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano de 2025 bajo condiciones de temporal en el Campo Experimental Huimanguillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicado en Huimanguillo, Tabasco, México. El sitio experimental

se localiza sobre un Fluvisol éutrico, en una región de clima tropical húmedo, con alta precipitación anual y condiciones representativas de las zonas arroceras del sureste de México.

Diseño experimental y tratamientos. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial y cinco repeticiones. Los factores evaluados fueron variedad de arroz, bioestimulante y densidad de siembra. Se incluyeron cinco variedades: Tabasqueña A17, Veracruzana A21, Orona A17, LHA 13 y Choca A05. Los tratamientos de bioestimulación consistieron en testigo sin aplicación, extracto de algas marinas (Algak®, Innovak Global), ácidos fúlvicos (K-Tionic®, Innovak Global), hormonas vegetales o reguladores de crecimiento (Biozyme TF®) y aminoácidos (Agro-K Aminoácidos®, Cosmocel). Las densidades de siembra evaluadas fueron baja, con 15 cm entre plantas y 30 cm entre hileras; media, con 15 x 15 cm; y alta, con 10 cm entre plantas y 20 cm entre hileras. La combinación de los factores generó 75 tratamientos, distribuidos en cinco bloques, con un total de 375 unidades experimentales. Cada parcela tuvo una superficie de 30 m², correspondiente a 6.0 m x 5.0 m.

Manejo agronómico. El manejo agronómico incluyó preparación convencional del terreno, fertilización con la dosis 130-40-120 kg ha^{-1} de nitrógeno, fósforo y potasio, control de malezas, manejo fitosanitario y riegos de auxilio cuando fueron necesarios durante etapas críticas del cultivo. Los bioestimulantes se aplicaron vía foliar en tres momentos: etapa vegetativa temprana, máximo macollamiento y previo a la floración, utilizando las dosis comerciales recomendadas para cada producto.

Variables evaluadas. A madurez fisiológica se delimitó un área útil de 1 m^2 en la parte central de cada parcela. En esta superficie se determinaron las variables panículas por metro cuadrado, granos por panícula, biomasa aérea total y rendimiento de grano. El rendimiento se obtuvo mediante cosecha, trilla, limpieza y pesado del grano, ajustándose posteriormente a 14% de humedad y expresándose en toneladas por hectárea.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza para un diseño factorial en bloques completos al azar. Se consideraron como efectos fijos la variedad, el bioestimulante, la densidad de siembra y sus interacciones. Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad de residuos y homogeneidad de varianzas. Los análisis estadísticos se realizaron en el software R.

Resultados y discusión

Efecto de los bioestimulantes sobre la biomasa, componentes del rendimiento y rendimiento de grano. La aplicación de bioestimulantes influyó significativamente en la producción de biomasa, los componentes del rendimiento y el rendimiento de grano. El extracto de algas marinas presentó la mejor respuesta agronómica, con los valores más altos de biomasa total, panículas por metro cuadrado, granos por panícula y rendimiento de grano. En contraste, el testigo sin aplicación mostró los valores más bajos en la mayoría de las variables evaluadas. Los ácidos fúlvicos ocuparon una posición intermedia, seguidos por los aminoácidos y las hormonas vegetales.

El mayor rendimiento observado con el extracto de algas marinas puede explicarse por una mejor acumulación de biomasa y una mayor formación de panículas productivas. Esto sugiere que la bioestimulación favoreció procesos asociados al crecimiento vegetativo, la producción de asimilados y la formación de estructuras reproductivas (Chen *et al.,* 2022a). Por tanto, el incremento en rendimiento no dependió de un solo componente, sino del efecto combinado sobre biomasa, panículas y granos por panícula.

Efecto de la densidad de siembra sobre los componentes del rendimiento y la productividad

La densidad de siembra modificó significativamente la biomasa total, la densidad de panículas y el rendimiento de grano. La densidad media, correspondiente al arreglo de 15 × 15 cm, presentó los mayores valores de biomasa, panículas por metro cuadrado y rendimiento. En cambio, la densidad baja de 15 × 30 cm mostró la menor productividad, mientras que la densidad alta de 10 × 20 cm presentó una respuesta intermedia.

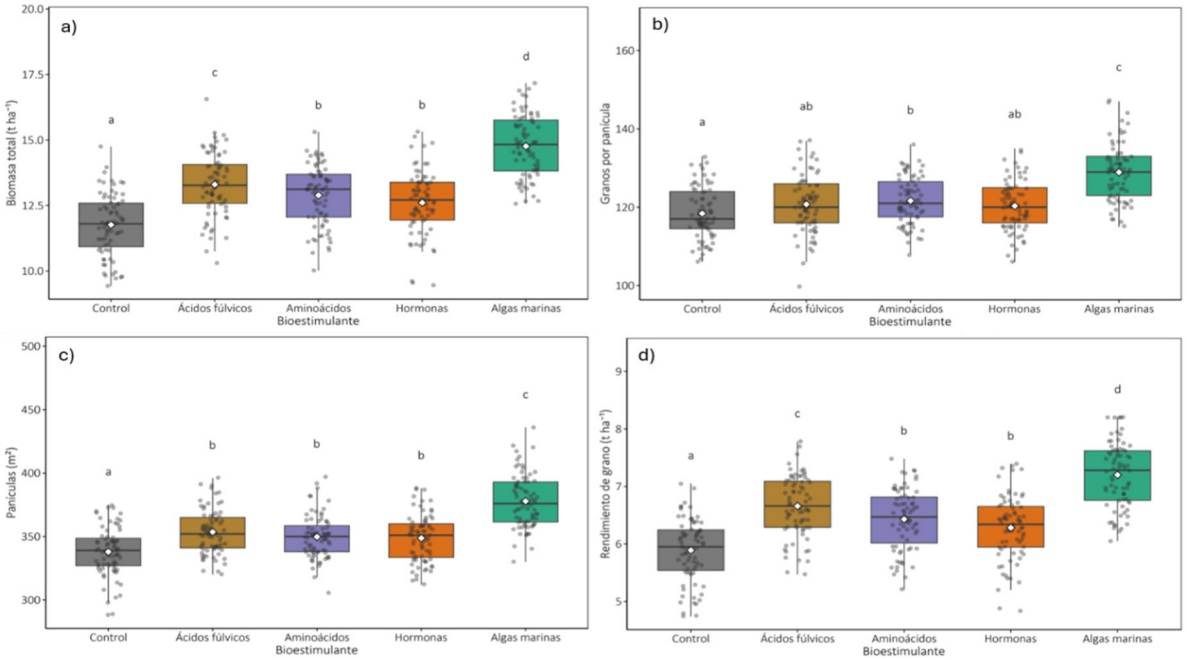


Figura 1. Efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre (a) biomasa total, (b) granos por panícula, (c) panículas por metro cuadrado y (d) rendimiento de grano en arroz de temporal.

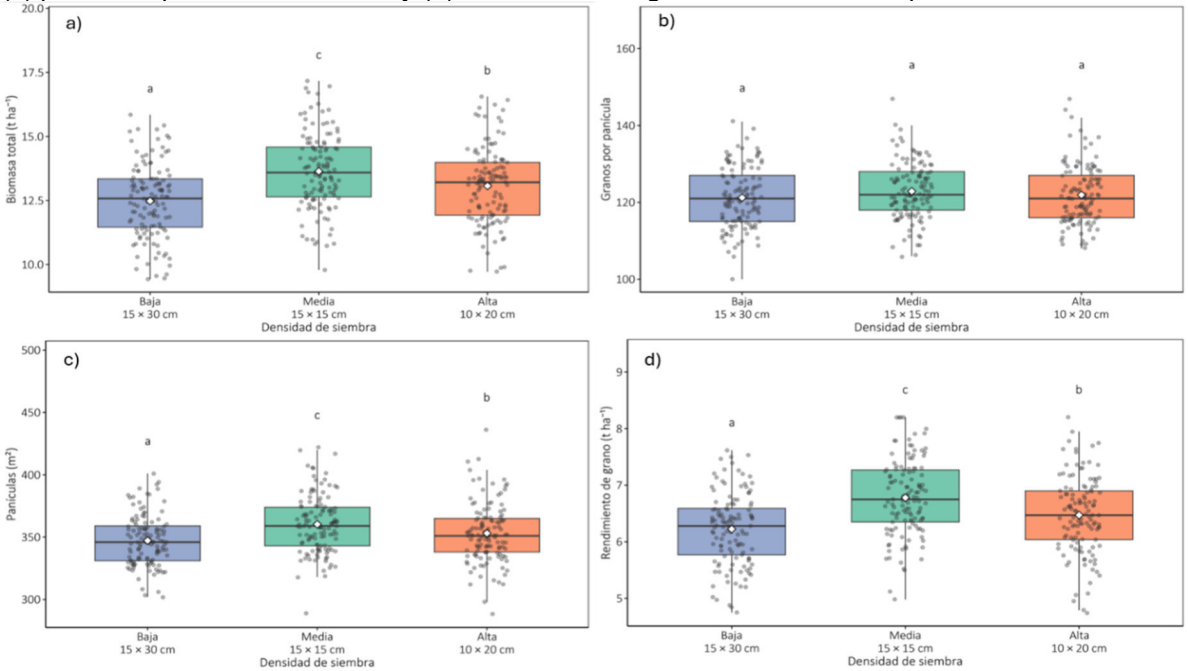


Figura 2. Efecto de la densidad de siembra sobre (a) biomasa total, (b) granos por panícula, (c) panículas por metro cuadrado y (d) rendimiento de grano en arroz de temporal.

Un aspecto importante fue que el número de granos por panícula se mantuvo relativamente estable entre densidades. Esto indica que las diferencias de rendimiento estuvieron más asociadas con la producción de panículas por unidad de superficie que con cambios en el tamaño reproductivo de cada panícula. La densidad media permitió un equilibrio adecuado entre población de plantas y competencia por recursos, favoreciendo una mayor producción de biomasa y panículas efectivas (Chen *et al.,* 2022b; Yagioka *et al.,* 2025)

Respuesta de las variedades de arroz en biomasa, componentes del rendimiento y rendimiento de grano. Las variedades evaluadas mostraron diferencias significativas en biomasa, componentes del rendimiento y rendimiento de grano. Tabasqueña A17 presentó el mejor desempeño agronómico, con mayor biomasa, número de panículas por metro cuadrado, granos por panícula y rendimiento de grano. Veracruzana A21 y Orona A17 mostraron respuestas intermedias, mientras que LHA 13 y Choca A05 registraron los valores más bajos en la mayoría de las variables. La superioridad de Tabasqueña A17 estuvo relacionada con una mayor capacidad para producir biomasa y formar panículas productivas. Este comportamiento indica que el rendimiento de grano estuvo determinado principalmente por la capacidad de cada variedad para generar estructuras reproductivas efectivas y acumular biomasa durante el ciclo del cultivo (Liao *et al.,* 2024). En este sentido, la selección varietal representa un componente clave para mejorar la productividad del arroz de temporal en Tabasco.

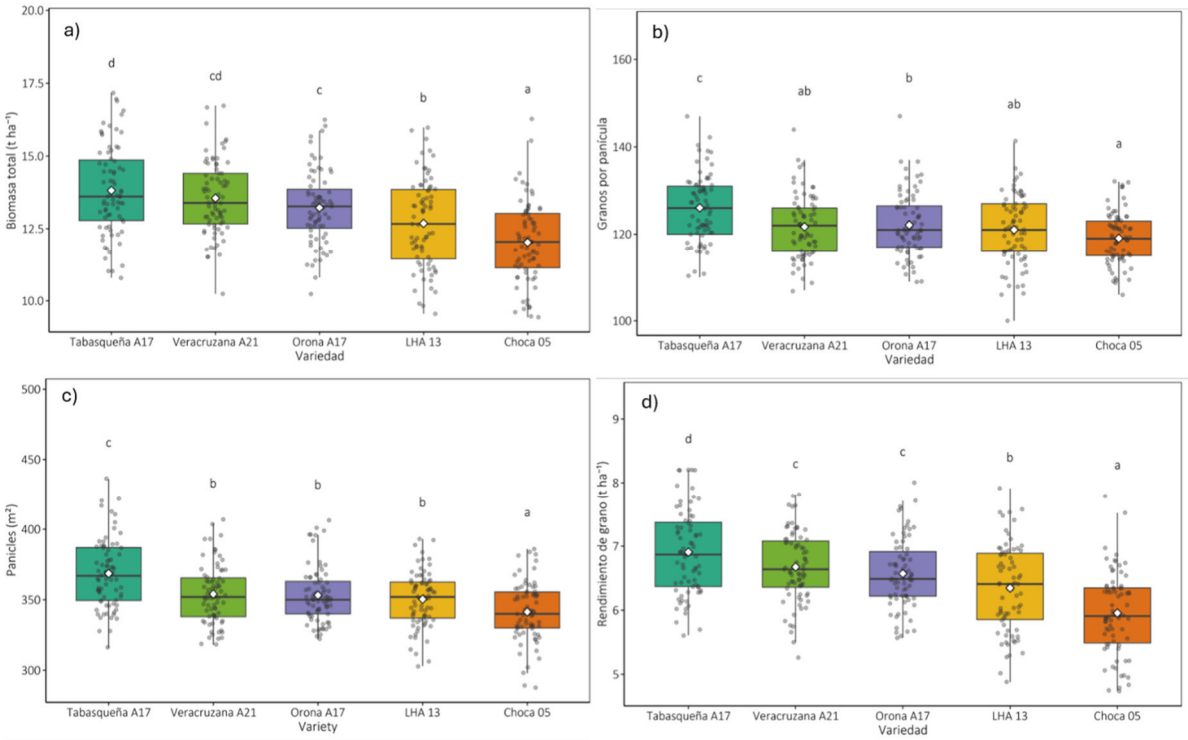


Figura 3. Efecto de la variedad de arroz sobre (a) biomasa total, (b) granos por panícula, (c) panículas por metro cuadrado y (d) rendimiento de grano.

Interacción entre variedad, bioestimulante y densidad de siembra sobre el rendimiento de grano. El rendimiento de grano fue influenciado por la interacción entre variedad, bioestimulante y densidad de siembra. En general, el extracto de algas marinas produjo los mayores rendimientos en las diferentes variedades y densidades evaluadas, mientras que el testigo presentó las menores respuestas. Asimismo, Tabasqueña A17 mantuvo una productividad superior en comparación con las demás variedades, independientemente del manejo aplicado. La mayor productividad se obtuvo cuando Tabasqueña A17 se combinó con extracto de algas marinas bajo la densidad media de 15 × 15 cm. Este resultado confirma que el rendimiento de grano no depende únicamente del genotipo, del bioestimulante o de la densidad de siembra de manera aislada, sino de la integración adecuada de estos factores. En conjunto, los resultados indican que la combinación de una variedad con alto potencial productivo, un bioestimulante eficiente y una densidad de siembra adecuada puede contribuir a maximizar la productividad del arroz de temporal en condiciones tropicales (Chen *et al.,* 2022b).

Conclusiones

Los bioestimulantes, la densidad de siembra y la variedad influyeron en la biomasa, los componentes del rendimiento y el rendimiento de grano del arroz de temporal. El extracto de algas marinas fue el bioestimulante con mejor respuesta agronómica. La densidad media de 15 x 15 cm favoreció mayor biomasa, panículas por metro cuadrado y rendimiento. Tabasqueña A17 presentó el mejor desempeño productivo entre las variedades evaluadas. La mayor productividad se obtuvo con la combinación Tabasqueña A17 + extracto de algas marinas + densidad media. El rendimiento estuvo más asociado con la biomasa y la densidad de panículas que con cambios en granos por panícula.

Referencias bibliográficas

Chen, C. L., Song, W. L., Sun, L., Qin, S., Ren, C. G., Yang, J. C., & Liu, Z. Y. 2022a. Effect of seaweed extract supplement on rice rhizosphere bacterial community in tillering and heading stages. Agronomy 12(2): 342. https://doi.org/10.3390/agronomy12020342.

Chen, Y., Liu, Y., Dong, S., Liu, J., Wang, Y., Hussain, S., & Dai, Q. 2022b. Response of rice yield and grain quality to combined nitrogen application rate and planting density in saline area. Agriculture 12(11): 1788.

Liao, C., Fang, S., Zhang, H., Liu, L., Xie, J., Li, X., & Huang, M. 2024. Grain yield and yield attributes of currently popular hybrid rice varieties compared to representative super hybrid rice varieties in subtropical environments. Agronomy 14(2): 318. https://doi.org/10.3390/agronomy14020318.

Salgado-Velázquez, S., Barrios-Gómez, E., Hernández-Aragón, L., Hernández-Lara, P. U., Olvera-Rincón, F., Sumano-López, D., & Palma-Cancino, D. J. 2026. Advances in Rice Agronomic Technologies in Latin America in the Face of Climate Change. Crops 6(1): 8.

Yagioka, A., Hayashi, S., Kimiwada, K., & Kondo, M. 2025. Elucidation of morphological and physiological traits contributing to high biomass productivity and consistently high yield in the high-yielding rice variety Kitagenki. Frontiers in Plant Science 16: 1710830. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1710830.

TOLERANCIA A LA INUNDACIÓN DEL SUELO EN DOS VARIEDADES DE *COFFEA ARABICA* L.: RESPUESTA HÍDRICA, DAÑO FOLIAR Y SUPERVIVIENCIA

Edgar Colorado-Meza[1], Marco Antonio Toral-Juárez[2*], Felipe Emiliano Gutiérrez-Palacios[1], Luz Amelia Sánchez-Landero[1] y José Mario Guerrero-Contreras[3].

[1]Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas – Xalapa, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C.P. 91090, Xalapa, Veracruz, México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP-CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla, km 34.5 Carretera Federal Veracruz–Córdoba, C.P. 94270, Medellín de Bravo, Veracruz, México.
[3]Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, km 4.5 Carretera Cardel–Chachalacas, C.P. 91667, Úrsulo Galván, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: toral.marco@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Contenido relativo de agua, Fuga de electrolitos, Cambio climático.*

Introducción

El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los cultivos de mayor relevancia económica a nivel mundial, al considerarse la segunda bebida más consumida después del agua (De Dios-León *et al*., 2024). En México, y particularmente en el estado de Veracruz —donde alrededor de 11 municipios sustentan su economía en la producción cafetalera, el cultivo enfrenta una vulnerabilidad creciente frente al cambio climático, cuyos efectos sobre la temperatura y los patrones de precipitación representan una amenaza directa para la productividad y la calidad del grano (Gabriel-Hernández y Barradas, 2024).

Frente a este escenario, el desarrollo e identificación de variedades tolerantes a condiciones climáticas adversas se ha convertido en una estrategia central del mejoramiento genético del cultivo. La variedad IAPAR 59, resultado del cruce entre Híbrido de Timor 832/2 y Villa Sarchí, se ha documentado como tolerante a la sequía, mientras que Costa Rica 95, producto del cruce entre Híbrido de Timor 832/1 y Caturra, se sabe muy poco sobre la tolerancia a condiciones de sequía e inundación del suelo (World Coffee Research, 2023). En *Coffea canephora* se ha reportado que los mecanismos fisiológicos de tolerancia a la sequía, confirió cierto grado de tolerancia a seis días de inundación del suelo (Toral-Juárez *et al*., 2021), lo cual resulta relevante dado que algunas plantaciones cafetaleras suelen establecerse en zonas bajas, cerca de cuerpos de agua y en suelos arcillosos con drenaje deficiente, donde el encharcamiento es frecuente, considerando que el café es un cultivo sensible al exceso de humedad edáfica.

Este trabajo parte de la hipótesis de que, la variedad IAPAR 59 tolerante a condiciones de sequía puede ser también tolerante a seis días de inundación del suelo. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la tolerancia a la inundación del suelo en plantas de *C. arabica* L. de las variedades IAPAR 59 y Costa Rica 95, mediante la cuantificación del estado hídrico foliar, daño foliar y supervivencia de las plantas en condiciones semicontroladas.

Materiales y métodos

El experimento se estableció a finales de diciembre de 2024 en un vivero cubierto con malla sombra al 50% en las instalaciones del Sitio Experimental Teocelo, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el estado de Veracruz (19°23'10" N, 97°00'06" O), con temperatura media anual de 20 °C, precipitación anual de 2,063 mm y una altitud de 1,250 msnm.

Se utilizaron plantas de las variedades de café IAPAR 59 y Costa Rica 95 de dos años de edad en maceta de 12 L y fueron sometidas a dos tratamientos de irrigación (inundación y control) en un diseño completamente al azar en esquema factorial (2x2). Las cuatro combinaciones de tratamientos tuvieron cinco repeticiones, una planta por maceta constituyó una repetición. Las plantas del

"tratamiento control" tuvieron un régimen de irrigación de suelo en capacidad de campo hasta el final del experimento, en cuanto las plantas del tratamiento "inundación" se introdujeron dentro de macetas de mayor volumen (18 L) totalmente selladas para promover la condición de inundación. La inundación se indujo aplicando una lámina de agua de 10 cm arriba del sustrato, en caso de pérdida de agua por evaporación esta fue repuesta, bajo esta condición se mantuvieron las plantas de los tratamientos estresados durante seis días, después de ese periodo el agua fue drenada para su posterior recuperación. Durante los periodos de aplicación del estrés y recuperación, fueron realizadas en todos los tratamientos las mediciones de contenido relativo de agua foliar (%), fuga de electrolitos foliar (%), afectación foliar (%) y supervivencia (%).

El contenido relativo de agua (CRA) se determinó en hojas completamente madura por planta (tercer o cuarto par foliar del tercio medio) recolectadas entre las 7:30 y las 8:30 h, con el fin de minimizar las pérdidas por transpiración. De cada hoja se obtuvieron 10 discos foliares de 0.8 cm de diámetro, los cuales se colocaron en cajas Petri con 20 mL de agua destilada durante 24 h en oscuridad, para posteriormente secarse en una estufa a 60 °C. El CRA se calculó mediante la fórmula: CRA (%) = [(MF − MS) / (MT − MS)] × 100, donde MF es masa fresca, MT es masa turgente y MS es masa seca.

La fuga de electrolitos (FE) se determinó a partir de una hoja completamente madura por planta (tercer o cuarto par foliar del tercio medio), de la cual se extrajeron 10 discos foliares de 0.6 cm de diámetro. Los discos se lavaron y se colocaron en 20 mL de agua destilada dentro de frascos sellados durante seis horas a temperatura ambiente, registrándose la primera lectura de conductividad eléctrica (CE1). Posteriormente, las muestras se colocaron en una estufa a 90 °C durante dos horas para obtener la segunda lectura (CE2). La FE se calculó como: FE (%) = (CE1 / CE2) × 100.

En respuesta al estrés, las plantas presentaron hojas con síntomas de marchitez y nervuras amarillas (clorosis). El daño visible de esos dos síntomas fue expresado en términos de porcentaje de hojas afectadas por la inundación. La supervivencia de las plantas a la inundación del suelo fue expresada en porcentaje y evaluada al final del periodo de recuperación. Las plantas que fueron consideradas muertas exhibieron cerca de 90% de área foliar con hojas totalmente secas. Las plantas muertas fueron mantenidas en capacidad de campo por dos meses, periodo en el que se verificó el secado completo del tallo.

Los datos obtenidos fueron expresados como media ± error estándar. Las diferencias entre las medias fueron examinadas usándose la prueba de t (Student). Los análisis estadísticos fueron realizados usando el programa computacional Statistica versión 7.0 (StatSoft Inc., Tulsa, USA).

Resultados y discusión

En este trabajo fue evaluada la tolerancia a seis días de inundación del suelo en plantas de dos variedades de *C. arabica* (IAPAR 59 y Costa Rica 95), mediante mediciones de contenido relativo de agua, fuga de electrolitos, porcentaje de hojas afectadas por el estrés y supervivencia de la planta. En ambas variedades, la inundación del suelo por seis días no alteró el valor de contenido relativo de agua (CRA) foliar. Por otra parte, plantas de IAPAR 59 previamente estresadas mostraron una disminución significativa de CRA con respecto a su testigo a los 10 días de recuperación, mientras que en plantas de Costa Rica 95 previamente estresadas fue detectada diferencia significativa de CRA con respecto a los valores de su respectivo tratamiento control a los 15 días de recuperación (Figura 1).

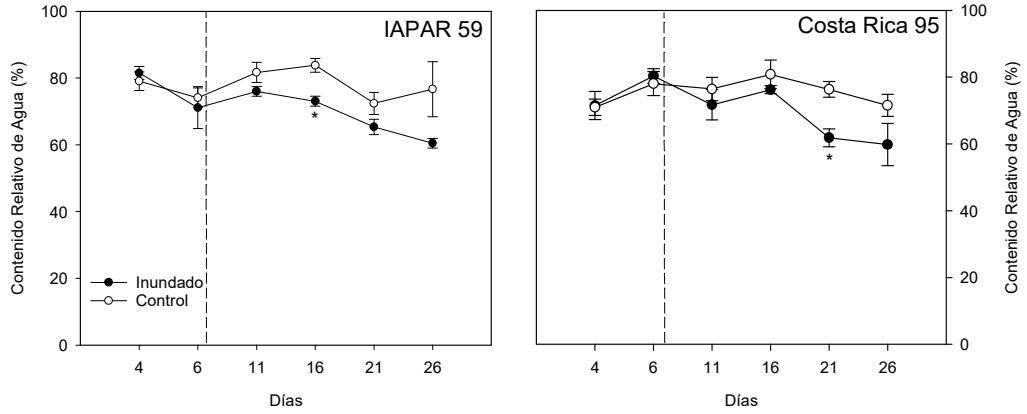


Figura 1. Contenido relativo de agua (%) foliar en plantas de dos variedades de *C. arabica* sometidas a 6 días de inundación de suelo; plantas control permanecieron a capacidad de campo. Los datos obtenidos a los 11, 16, 21 y 26 días corresponden a la fase de recuperación del estrés. Asteriscos indican diferencias significativas (prueba *t*, P≤0.05) entre tratamientos de irrigación para cada variedad. Cada valor representa la media ± error estándar, *n* = 5.

Respecto a la fuga de electrolitos (FE), durante la aplicación del estrés no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos inundado y control en las dos variedades de café. En la fase de recuperación, apenas se observaron diferencias significativas a los 10 y 20 días entre tratamientos en la variedad Costa Rica 95 (Figura 2). Los valores de CRA y FE pese a no mostrar una tendencia de aumento a lo largo del desarrollo del experimento, la inundación del suelo provocó primero un daño gradual en la deshidratación foliar y después afectaciones en la integridad de la membrana celular durante el experimento, siendo más pronunciado en la variedad Costa Rica 95, pero al final, las plantas de ambas variedades sometidas a seis días de inundación del suelo no lograron recuperase a la intensidad del estrés. En conjunto, estos resultados coinciden con lo señalado por Toral-Juárez *et al*. (2021), quienes indican que los mecanismos fisiológicos asociados a la tolerancia a la sequía no necesariamente se traducen en una tolerancia equivalente al anegamiento, así como con lo documentado por Pan *et al*. (2021), quienes reportan que la sensibilidad de especies leñosas a la hipoxia radicular suele manifestarse primero en variables del estado hídrico antes que en indicadores de daño en membrana. El patrón de senescencia total observado en ambas variedades hacia el día 34 refuerza la idea de que, en el café, la tolerancia a la sequía no confiere una protección equiparable frente al exceso de humedad del suelo.

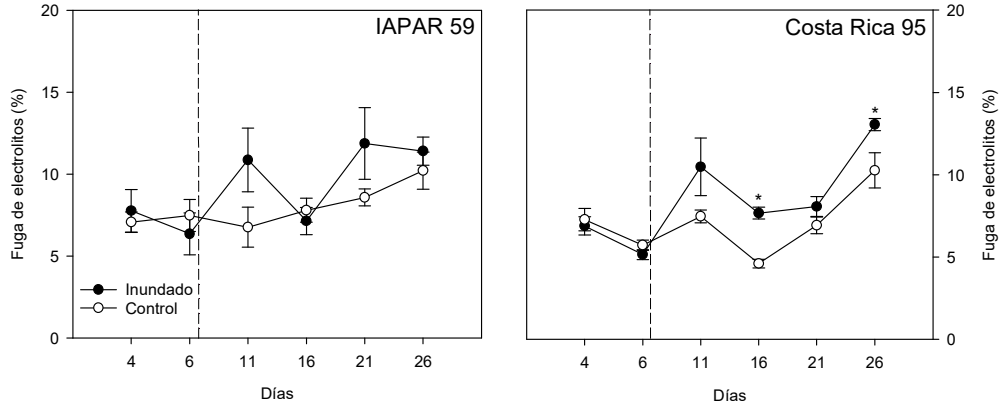


Figura 2. Fuga de electrolitos (%) foliar en plantas de dos variedades de *C. arabica* sometidas a 6 días de inundación de suelo; plantas control permanecieron a capacidad de campo. Los datos obtenidos a los 11, 16, 21 y 26 días corresponden a la fase de recuperación del estrés. Asteriscos

indican diferencias significativas (prueba *t*, P≤0.05) entre tratamientos de irrigación para cada variedad. Cada valor representa la media ± error estándar, *n* = 5.

El daño foliar visible ocasionado por seis días de inundación continua fue evidente de manera progresiva a partir de los 12 días de recuperación en plantas de ambas variedades. Después de 28 días de recuperación al estrés, el porcentaje de daño foliar fue de 100%, con grados de afectación de marchitamiento y clorosis foliar en las dos variedades de café (Figura 3). Esto evidencia que, si bien las plantas resistieron los seis días de inundación sin manifestar mortalidad inmediata, el estrés generado por el encharcamiento del suelo tuvo un efecto acumulativo a los dos meses después del drenaje del agua que culminó en la senescencia del follaje y muerte de 100% de las plantas que conformaron los tratamientos de inundación en ambas variedades de café. Los hallazgos obtenidos por Toral-Juárez *et al*. (2021) en clones de *C. canephora sugieren que las variedades de C. arabica* evaluadas en este ensayo son sensibles al estrés por seis días de inundación del suelo.

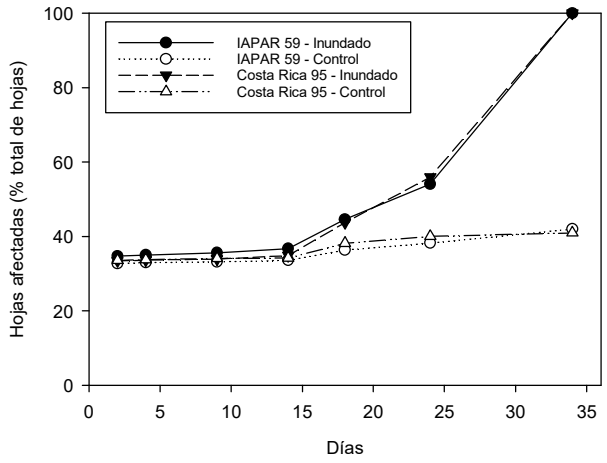


Figura 3. Porcentaje de hojas en plantas de dos variedades de *C. arabica* exhibiendo nítidas señales de marchitamiento y clorosis en respuesta a los tratamientos de 6 días de inundación (tratamiento inundado) y a capacidad de campo (tratamiento control) durante la duración del experimento.

Conclusiones

Las variedades de café evaluadas mostraron respuestas fisiológicas diferenciales al estrés por seis días de inundación del suelo, pero las plantas no sobrevivieron al estrés; por tanto, se concluye que las variedades de café IAPAR 59 y Costa Rica 95 son sensibles a seis días de inundación del suelo. Estos hallazgos resaltan la necesidad de evaluar variedades específicamente seleccionadas por su tolerancia a la inundación en las zonas cafetaleras bajas de México, donde el encharcamiento del suelo es recurrente ante los escenarios de precipitación extrema asociados al cambio climático.

Referencias bibliográficas

De Dios-León, G. E., Angel-Lara, M. A., Osorio-Hernández, P., & Coria-Gil, N. A. B. (2024). Rendimiento y calidad física del grano de café (Coffea arabica L.) variedad Costa Rica 95. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 27(2). https://doi.org/10.56369/tsaes.4851

Gabriel-Hernández, L., & Barradas, V. L. (2024). Panorama of coffee cultivation in the central zone of Veracruz State, Mexico: Identification of main stressors and challenges to face. Sustainability, 16(2), 802. https://doi.org/10.3390/su16020802

Pan, J., Sharif, R., Xu, X., & Chen, X. (2021). Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects. Frontiers in Plant Science, 11, 627331. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331

Toral-Juárez, M. A., Avila, R. T., Cardoso, A. A., Brito, F. A. L., Machado, K. L. G., Almeida, W. L., Souza, R. P. B., Martins, S. C. V., & DaMatta, F. M. (2021). Drought-tolerant coffee plants display increased tolerance to waterlogging and post-waterlogging reoxygenation. Environmental and Experimental Botany, 182, 104311. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104311

World Coffee Research. (2023, 15 de mayo). Costa Rica 95. World Coffee Research. https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/variedades/costa-rica-95

VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO FLUVISOL CULTIVADO CON MAÍZ RELACIONADO CON EL RENDIMIENTO EN EL CAMPO EXPERIMENTAL HUIMANGUILLO INIFAP.

Luis Giovanni Pérez-Cárdenas [1]*, Aldo Alberto López-Cortés [1], Sergio Salgado-Velázquez [2] y Lorena Vázquez-Hernández [1]

[1]Tecnológico Nacional de México Campus Huimanguillo. Carretera del Golfo Malpaso–El Bellote km 98.5, Col. Ranchería Libertad, C.P. 86400, Huimanguillo, Tabasco, México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, C. E. Huimanguillo, km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86400.
*Autor para correspondencia: giovanniluis216@gmail.com.

Palabras clave: *Agricultura de precisión, Muestreo del suelo, Modelo kriging.*

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia alimentaria, económica y social, especialmente en México, donde constituye un elemento fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo de las comunidades rurales (Cruz-González et al., 2024). En Tabasco, su producción representa una actividad relevante para numerosos productores; sin embargo, uno de los principales problemas es que las recomendaciones de manejo agronómico, particularmente la fertilización, suelen aplicarse de manera uniforme en las parcelas, a pesar de que las propiedades del suelo presentan variabilidad espacial. Esta situación reduce la eficiencia en el uso de fertilizantes, incrementa los costos de producción y genera diferencias en el rendimiento del cultivo (Salgado-Velázquez et al., 2025).
Ante este escenario, la agricultura de precisión ofrece herramientas para identificar dicha variabilidad mediante tecnologías como los sistemas de información geográfica, sensores remotos, drones y la generación de mapas de diagnóstico, permitiendo establecer zonas de manejo especificas (Salgado-Velazquez et al.,2025). No obstante, en los suelos Fluvisoles del trópico húmedo de tabasco existe escasa información sobre la distribución espacial de las propiedades del suelo y su relación con el rendimiento del maíz. Por ello, este estudio tuvo como objetivo analizar la variabilidad espacial de algunas propiedades de un suelo Fluvisol cultivado con maíz y determinar su relación con el rendimiento, con el propósito de generar información que contribuya a un manejo agronómico y una fertilización más eficiente.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el campo experimenta del instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y pecuarias INIFAP ubicado en Huimanguillo, Tabasco donde se llevó a cabo la toma de muestras del suelo Fluvisol cultivado con maíz del cual se realizaron 60 muestra de manera georreferenciada con ayuda de un (GPS) modelo Garmin Map 65, donde en cada punto se tomaron las muestras a una profundidad de 30cm y también se realizó la toma de la resistencia a la penetración del suelo (RSP) con ayuda de un penetrómetro de bolsillo, para la colecta se utilizaron bolsas nylon, para ser trasladadas al laboratorio industrial de aguas, suelos y tejidos vegetal del INIFAP. El procesamiento de la muestra se realizó en una charola para facilitar el proceso de secado el cual se llevó a cabo en sobra con aireación, posteriormente realizo el tamizado de las muestras con ayuda de un tamiz de 2mm en el laboratorio, y se colocaron nuevamente en su bolsa para la realización de los análisis de algunas propiedades del suelo, para determinar las variables en laboratorio fueron la reacción del suelo (pH), en agua relación 1:2 y la conductividad eléctrica (CE, mS cm^{-1}); con los métodos descritos en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT (2001). Por su parte la toma del rendimiento del maíz (kg/ha). Se realizo un muestreo en una grilla irregular de 60 puntos. El muestreo consistió en cosechar el arroz de forma manual, cortando un m^2 de las plantas

de maíz se tomaron las mazorcas establecidas en el m^2 donde se trasladaron para su desgranado. Se determino el rendimiento de grano, pesando con una balanza comercial los granos obtenidos en el m^2. Los mapas temáticos de interpolación kriging se procesaron en QGIS para su análisis mediante una prueba de normalidad Shapiro-Wilk en el software r, student.

Resultados y discusión

Los estadísticos descriptivos de las propiedades del suelo y del rendimiento del grano de maíz se presentan en el cuadro 1. El pH presento una media de **6.24,** apunta condiciones ligeramente acidas a neutras, favorables para el desarrollo del cultivo. Por su lado la conductividad eléctrica (EC) indica valores bajos (0.07 mS cm^{-1}), lo que sugiere la ausencia de problemas de salinidad. A diferencia de la resistencia a la penetración del suelo (RSP) que presento la mayo variabilidad con DS = 1.023 kg cm^{-2}), mientras que el rendimiento de grano registró un promedio de **10.36 t ha^{-1}**, con una variación de **5.5 a 16.5 t ha^{-1}** (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de tendencia central y dispersión para las propiedades del suelo y rendimiento de grano.

Propiedad	Valor mín.	Valor máx.	Rango	1st. Q	3rd. Q	M	Me	DS	SW
pH	5.22	7.18	1.96	5.86	6.54	6.24	6.27	0.539	0.079
EC (mS/cm)	0.01	0.23	0.22	0.05	0.10	0.07	0.07	0.043	<0.001
RSP kg/cm^2	0.75	4.50	3.75	1.75	3.25	2.51	2.50	1.023	0.021
Yield (kg/ha)	5.5	16.5	11	8	12.12	10.36	11	2.667	0.099

M = Media; Me = Mediana; DS = desviación estándar; SW = Shapiro

La prueba de Shapiro-Wilk dedujo que el pH y el rendimiento expusieron una distribución normal ($p<0.05$), mientras que la CE y RSP incumplieron estas condiciones con ($p<0.05$) lo que sugiere una distribución espacial heterogénea de estas variables (Cuadro 1). Los mapas de interpolación muestran una variabilidad espacial evidente en todas las propiedades evaluadas (Figura 1). El pH presentó valores más bajos en la parte superior del lote y valores cercanos a la neutralidad hacia la parte inferior. La conductividad eléctrica mostró un patrón similar, aunque con valores que permanecieron dentro del rango considerado como no salino. Por su parte, la resistencia a la penetración fue mayor en la zona norte del terreno, mientras que el rendimiento de grano tendió a incrementarse en las áreas con menor compactación, lo que sugiere una posible relación inversa entre ambas variables (Figura 1).

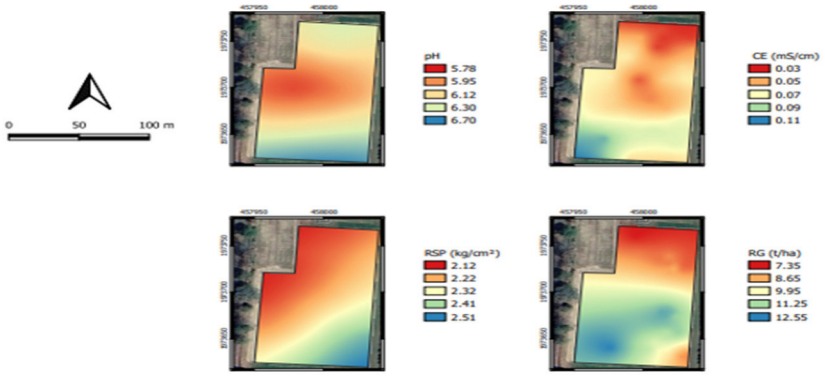


Figura 1. Variabilidad espacial del pH, conductividad eléctrica (CE), resistencia a la penetración del suelo (RSP) y rendimiento de grano (RG) obtenida mediante interpolación geoestadística.

Los mapas del error de interpolación revelan una distribución evidentemente uniforme para todas las variables (Figura 2). los errores obtenidos se derivaron respecto a la amplitud de los datos observados, esto denotando los modelos geoestadísticos Los mapas del error de interpolación muestran una distribución relativamente uniforme para todas las variables (Figura 2). Los errores obtenidos fueron bajos respecto a la amplitud de los datos observados, evidenciando que el enfoque geoestadístico modeló con éxito la variabilidad espacial del predio proporcionando una representación confiable de las propiedades evaluadas.

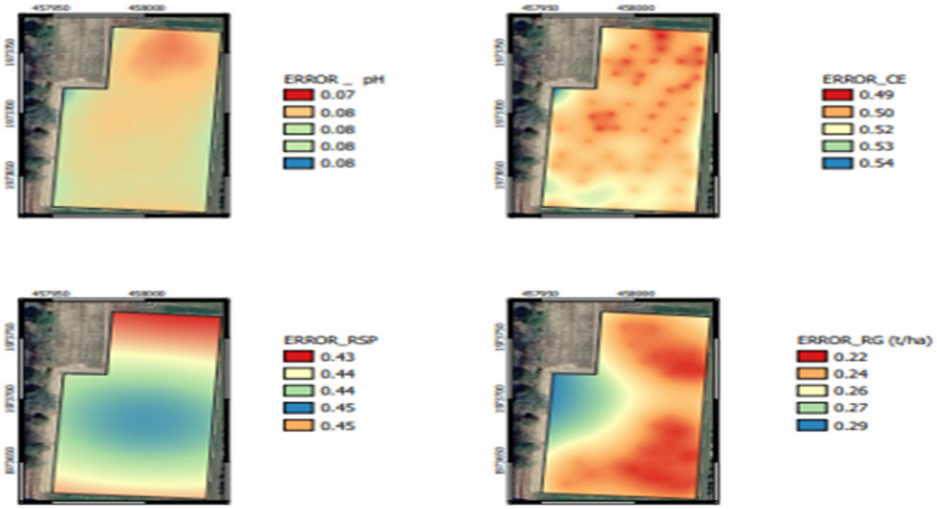


Figura 2. Error estándar de predicción de los modelos geoestadísticos para el pH, CE, RSP y rendimiento de grano.

Los resultados evidencian una variabilidad espacial en las propiedades del suelo y el rendimiento de grano (Cuadro 1 y Figura 1), lo que coincide con estudios recientes que señalan que estas diferencias están influenciadas por las características físicas y químicas del suelo y por el manejo agronómico (Pentoś et al., 2021). En este estudio, las zonas con menor resistencia a la penetración presentaron mayores rendimientos, lo que respalda que la compactación del suelo puede limitar el desarrollo del cultivo (Shaheb et al., 2021). Asimismo, los bajos valores de conductividad eléctrica indican que la salinidad no fue un factor restrictivo para la producción de maíz (Cuadro 1).

Conclusiones

Se identificó una variabilidad espacial en las propiedades del suelo y el rendimiento de grano dentro del lote experimental. La resistencia a la penetración fue la propiedad con mayor variabilidad, mientras que la conductividad eléctrica presentó valores bajos, sin evidencias de problemas de salinidad. Los mapas geoestadísticos permitieron delimitar zonas con diferente comportamiento productivo y mostraron que las áreas con menor compactación tendieron a presentar mayores rendimientos. Estos resultados resaltan la utilidad de la geoestadística como herramienta para apoyar el manejo sitio-específico del cultivo de maíz.

Referencias bibliográficas

Cruz-González, A., Arteaga-Ramírez, R., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, J., & Monterroso-Rivas, A. I. (2024). Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(1), e3327. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327.

Salgado-Velázquez, S., Olvera-Rincón, F., Barrón-Freyre, S., Sumano-López, D., Hernández-Lara, P. U., Palma-Cancino, D. J., & Córdova-Sánchez, S. (2025). Fotogrametría con vehículos aéreos no tripulados para la caracterización estructural del cultivo de maíz (Zea mays L.) en el trópico húmedo. Acta Agrícola y Pecuaria.

Pentoś, K., Pieczarka, K., & Serwata, K. (2021). The relationship between soil electrical parameters and compaction of sandy clay loam soil. Agriculture, 11(2), 114. https://doi.org/10.3390/agriculture11020114.

Shaheb, M. R., Venkatesh, R., & Shearer, S. A. (2021). A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. Journal of Biosystems Engineering, 46, 417–439. https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7.

INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO MICELIAL DE *Moniliophthora roreri* MEDIANTE FUNGICIDAS QUÍMICOS

Rebeca Rodríguez-Falconi[1], Jaime Rubén Cid-Alcudia[2] y Jorge Gustavo Rodríguez-Escobar[3]*,

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo, C.P.88900, Rio Bravo, Tamaulipas, México.
[2]Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca C.P. 86270. Villa Ocuiltzapotlan. Tabasco. México
[3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, C.P. 94270, Medellín de Bravo, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: rodriguez.gustavo@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Moniliasis, cacao, in vitro.*

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en las regiones tropicales, debido a su contribución en la generación de ingresos para miles de pequeños productores y a la creciente demanda de la industria chocolatera. Sin embargo, su producción se encuentra limitada por diversas enfermedades, entre las que destaca la moniliasis, causada por *Moniliophthora roreri* (Cif.) H.C. Evans, Stalpers, Samson y Benny, considerada una de las enfermedades más destructivas del cultivo en América Latina. Este patógeno infecta directamente los frutos, provocando pérdidas en rendimiento que pueden superar el 70 % cuando no se implementan estrategias de manejo oportunas (Anzules *et al.,* 2019). Las enfermedades de frutos reducen la productividad de un cultivo, el cambio climático paulatinamente propicia la presencia de nuevas especies o aislamientos de patógenos que son más agresivos y tolerantes a los agroquímicos (Sing *et al*., 2023).

El manejo de la moniliasis se basa en la integración de prácticas culturales, biológicas y químicas. No obstante, el control químico continúa siendo una de las principales herramientas para reducir la incidencia y severidad de la enfermedad, especialmente durante periodos de alta presión del patógeno. La eficacia de los fungicidas depende de factores como el ingrediente activo, el mecanismo de acción, la dosis aplicada y la sensibilidad del aislamiento del hongo, por lo que resulta indispensable evaluar previamente su capacidad inhibitoria bajo condiciones controladas (Torres-de la Cruz *et al*., 2019).

Las evaluaciones *in vitro*, mediante pruebas de sensibilidad, permiten determinar la respuesta de *M. roreri* frente a diferentes moléculas fungicidas antes de su validación en condiciones de campo. Estos ensayos constituyen una herramienta eficiente para seleccionar ingredientes activos con potencial de control, optimizar las dosis de aplicación y contribuir al manejo racional de fungicidas, reduciendo el riesgo de generar resistencia en las poblaciones del patógeno (Amaya-Márquez *et al*., 2025).

Diversos estudios han demostrado que fungicidas con diferentes modos de acción, como los inhibidores de la biosíntesis de esteroles, los inhibidores de la respiración mitocondrial y mezclas de ingredientes activos, presentan una elevada capacidad para inhibir el crecimiento micelial de *M. roreri*. Sin embargo, la eficacia puede variar entre aislamientos y concentraciones, lo que hace necesario realizar evaluaciones específicas para identificar las alternativas de control más eficientes (Torres *et al.*, 2013).

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de seis fungicidas químicos sobre la inhibición del crecimiento micelial de *Moniliophthora roreri* mediante medio de cultivo con fungicida bajo condiciones *in vitro*, con el propósito de identificar los ingredientes activos con mayor potencial para el manejo químico de la moniliasis del cacao.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Laboratorio de Fitopatología del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado a 18°50′

N, 96° O y 15 m s. n. m., en el estado de Veracruz, México.
Las muestras de frutos de cacao con síntomas de enfermedad se recolectaron en seis plantaciones ubicadas en el estado de Tabasco: Ranchería Habanero 1.ª Sección y Ranchería Paso y Playa, en el municipio de Cárdenas; Villa Aldama y Aldama 2.ª Sección, en Comalcalco; y Ranchería Santo Tomás y Ejido Anta y Cúlico, en Cunduacán. A partir de los frutos enfermos se obtuvieron fragmentos de tejido infectado de la cáscara, los cuales se sembraron en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) para obtener y reproducir los diferentes aislamientos del hongo en cajas de Petri.
La sensibilidad de los aislamientos a los fungicidas se evaluó mediante la técnica de medio de cultivo con fungicidas. Después de la esterilización del medio PDA y antes de vaciarlo en las cajas de Petri, se incorporó por separado cada uno de los fungicidas evaluados. Se probaron seis fungicidas con diferente modo de acción, utilizando dos concentraciones: la dosis comercial recomendada y el 50 % de dicha dosis (Cuadro 1).
La variable de respuesta fue la inhibición del crecimiento micelial, determinada mediante la medición del diámetro de la colonia en sentido vertical y horizontal, expresado en milímetros. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con siete tratamientos (seis fungicidas y un testigo con agua destilada estéril) y seis repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos se analizaron mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS 9.4.

Cuadro 1. Fungicidas evaluados para manejo de moniliasis, en dosis normal y media de la normal.

Nombre Técnico	Modo de Acción	Dosis ha	Media
Prochloraz	G: Biosíntesis de esteroles en las membranas	1000ml	500 ml
Boscali más Pyraclostrobin	C. Respiración, C. Respiración	800 g	400 g
Difenoconazol	G. Biosíntesis del esterol en membranas	500ml	250 g
Cyprodinil másFludioxonil	D. Síntesis de Aminoácidos y proteínas E. Señales de transducción	800 g	400 g
Metalaxil	A: Metabolismo de ácidos nucleicos	2000 ml	1000 ml
Mancozeb	M. Actividad multisitio	2800 g	1400 g

ha= hectárea

Resultados y discusión

Se produjeron diez aislamientos, de los sitios de muestreo. Sobresalieron tres aislamientos por la velocidad de crecimiento en 24 horas, de éstos el aislamiento agresivo de *M. roreri* se obtuvo de la Ranchería el Habanero, éste en 24 horas desarrolló micelio de 8 cm en diámetro radial dentro de la placa Petri, en medio de cultivo PDA, lo anterior se relaciona con lo citado por Sing *et al*. (2023) respecto a la presencia patógenos más agresivos debido al cambio climático.

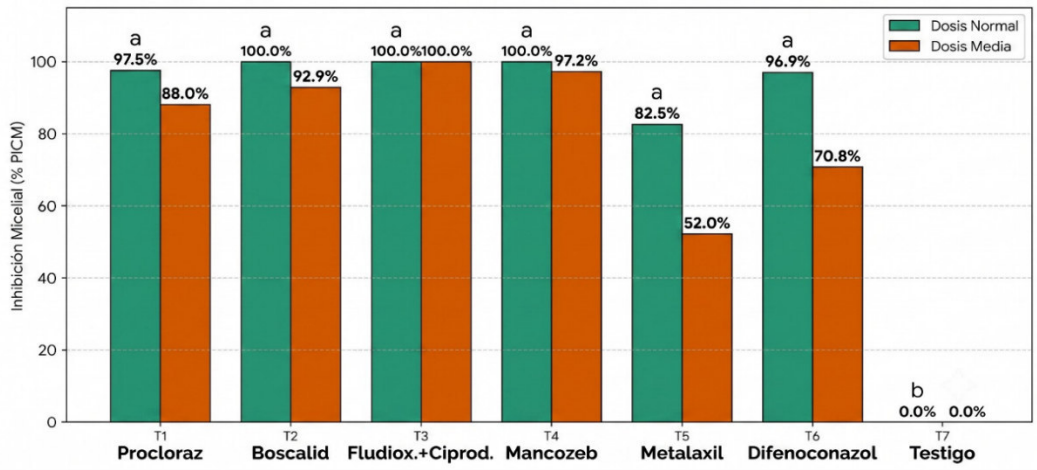


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre el aislamiento agresivo de moniliasis de fruto de cacao.

La evaluación *in vitro* de seis fungicidas comerciales (Procloraz, Boscalid más Pyraclostrobin, Cyprodinil más Fludioxonil, Mancozeb, Metalaxil y Difenoconazol) y un testigo, sobre la inhibición del crecimiento micelial de *Moniliophthora roreri* mostró que la eficacia de los tratamientos dependió de la dosis de aplicación (Figura 1).

A la dosis media, el análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre los tratamientos. La prueba de Tukey confirmó que no existieron diferencias estadísticas entre los seis fungicidas y el testigo, lo que indica que esta concentración fue insuficiente para generar una inhibición diferencial del crecimiento micelial de *M. roreri*. Estos resultados coinciden con lo señalado por Amaya-Márquez *et al.* (2025), quienes demostraron que la sensibilidad de *M. roreri* a los fungicidas depende de la concentración aplicada y que dosis bajas pueden no producir niveles adecuados de inhibición del crecimiento micelial.

En contraste, a la dosis normal se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$), explicándose el 95.29 % de la variación mediante el efecto de los fungicidas. La prueba de Tukey mostró que el testigo (T7) presentó una inhibición significativamente menor que los tratamientos con Procloraz, Boscalid más Pyraclostrobin, Cyprodinil más Fludioxonil, Mancozeb, Metalaxil y Difenoconazol, mientras que entre estos últimos no se detectaron diferencias estadísticas. Este comportamiento indica que todos los fungicidas evaluados fueron igualmente eficaces para inhibir el crecimiento micelial de *M. roreri* cuando se aplicaron a la dosis recomendada (Figuras 1 y 2).

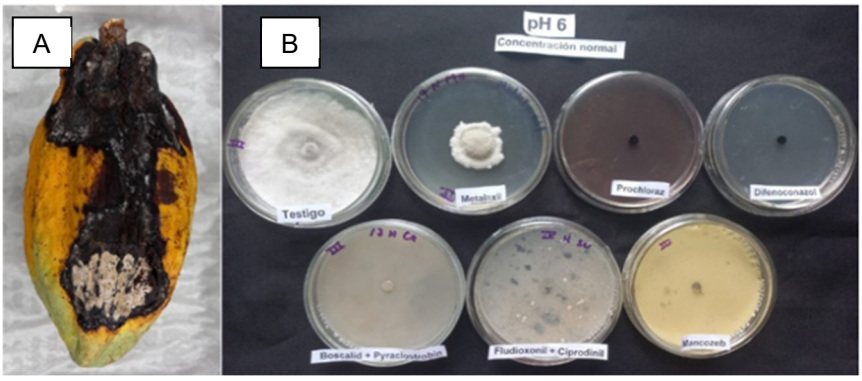


Figura 2. Izquierda (A), mazorca de cacao con daño por Moniliasis. Derecha (B), efecto de inhibición del micelio con los fungicidas en medio de cultivo PDA. Se aprecia que en el testigo creció el hongo a plenitud.

La elevada inhibición observada con Procloraz y Difenoconazol puede atribuirse a que ambos pertenecen al grupo de los inhibidores de la biosíntesis de ergosterol, afectando la integridad de la membrana celular del hongo y reduciendo el desarrollo del micelio. De manera similar, Boscalid, inhibidor de la respiración mitocondrial, y la mezcla Fludioxonil + Ciprodinil, que combina dos mecanismos de acción complementarios, mostraron una eficacia comparable. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Torres-de la Cruz *et al*. (2019), quienes encontraron que diversos fungicidas sistémicos inhibieron eficazmente el crecimiento de *M. roreri* y representaron una alternativa viable para el manejo químico de la moniliasis del cacao.

Aunque Mancozeb es un fungicida protector de contacto y Metalaxil está dirigido principalmente al control de oomicetos, ambos redujeron significativamente el crecimiento micelial respecto al testigo. Bajo condiciones *in vitro*, el contacto permanente entre el fungicida y el micelio favorece una mayor actividad inhibitoria que la observada en campo, donde intervienen factores ambientales que disminuyen la persistencia del producto. Resultados similares fueron descritos por Anzules *et al*. (2019), quienes destacan que el manejo químico constituye una herramienta importante para reducir la incidencia de la moniliasis cuando se integra con otras prácticas de manejo fitosanitario.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la dosis de aplicación constituye un factor determinante en la inhibición del crecimiento micelial de *M. roreri*. Mientras que la dosis media no produjo diferencias entre tratamientos, la dosis normal permitió una inhibición significativa del

crecimiento del patógeno respecto al testigo. Estos hallazgos respaldan el uso de medio de cultivo con fungicidas como una herramienta útil para seleccionar fungicidas con potencial de control antes de su evaluación en condiciones de invernadero y campo, tal como lo señalan Torres-de la Cruz *et al.* (2019) y Amaya-Márquez *et al*. (2025).

Conclusiones

La dosis de aplicación fue determinante en la inhibición del crecimiento micelial de *Moniliophthora roreri*. A la dosis recomendada, los seis fungicidas evaluados inhibieron significativamente el crecimiento del patógeno respecto al testigo, mientras que la dosis media no mostró diferencias. Estos resultados respaldan el uso de medio de cultivo con fungicidas para la selección de fungicidas con potencial de evaluación en condiciones de campo.

Referencias bibliográficas

Amaya-Márquez, D. J., Avilés-Párraga, D. D., Peñaherrera-Morales, A. L., Mendoza-Thompson, J. U., Sánchez-Castro, E. E., & Álava-Murillo, A. G. (2025). Evaluación *in vitro* de fungicidas químicos para el control de *Moniliophthora roreri* agente causal de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.). Revista Tecnológica-ESPOL, 37(2), 132-143. https://doi.org/10.37815/rte.v37n2.1325.

Anzules, V., Borjas, R., Alvarado, L., Castro-Cepero, V., & Julca-Otiniano, A. (2019). Control cultural, biológico y químico de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora* spp. en *Theobroma cacao* 'CCN-51'. Scientia Agropecuaria, 10(4), 511-520. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.08.

Singh, B K.; Delgado-Baquerizo, M.; Egidi, E.; Guirado, E.; Leach, J. E.; Liu, H. y Trivedi, P. (2023). Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. Nature Reviews microbiology. https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7.

Torres-de la Cruz, M., Quevedo-Damián, I., Ortiz-García, C. F., Lagúnez-Espinoza, L. C., Nieto-Ángel, D., & Pérez-de la Cruz, M. (2019). Control químico de *Moniliophthora roreri* en México. Biotecnia, 21(2), 55-61. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v21i2.906.

Torres de la Cruz, M., Ortiz García, C. F., Téliz Ortiz, D., Mora Aguilera, A., & Nava Díaz, C. (2013). Efecto del azoxystrobin sobre *Moniliophthora roreri*, agente causal de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao*). Revista mexicana de fitopatología, *31*(1), 65-69.

EVALUACIÓN *in vitro* DE FUNGICIDAS PARA EL CONTROL DE *Colletotrichum* spp. EN PAPAYA

Rebeca Rodríguez-Falconi[1], Alan Pérez-Montiel[2] y Jorge Gustavo Rodríguez-Escobar[3]*,

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Río Bravo, C.P.88900, Rio Bravo, Tamaulipas, México. [2]Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, C.P. 60170, Uruapan, Michoacán, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla, C.P. 94270, Medellín de Bravo, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: rodriguez.gustavo@inifap.gob.mx

Palabras Clave: *Antracnosis, control químico, antifungigrama.*

Introducción

La papaya (*Carica papaya* L.) es un cultivo de importancia económica en regiones tropicales y subtropicales, donde las enfermedades ocasionadas por hongos fitopatógenos representan una limitante para su producción y calidad poscosecha. Dentro de los principales problemas fitosanitarios destaca la antracnosis, asociada a especies del género Colletotrichum, hongos pertenecientes al filo ascomycota, capaces de afectar frutos durante las etapas de desarrollo, cosecha y almacenamiento, ocasionando pérdidas económicas significativas.
El manejo de *Colletotrichum* spp. se basa principalmente en la aplicación de fungicidas quimicos; sin embargo, la eficacia de estos productos depende del ingrediente activo, su mecanismo de acción y las condiciones ambientales que pueden modificar su actividad antifúngica. Los fungicidas con diferentes sitios de acción pueden afectar procesos esenciales del patógeno, como la respiración mitocondrial, la regulación celular y la síntesis de componentes necesarios para el crecimiento y desarrollo del hongo (Leroux *et al*., 2002; FRAC, 2024).
Entre los fungicidas de mayor interés se encuentran las mezclas de ingredientes activos con mecanismos complementarios, como fludioxonil + ciprodinil, donde fludioxonil altera procesos relacionados con la regulación osmótica celular y ciprodinil afecta rutas metabólicas involucradas en la síntesis de enzimas necesarias para la colonización del hospedante (Leroux *et al*., 2002). Asimismo, las combinaciones de boscalid + piraclostrobina actúan sobre la respiración fúngica mediante la inhibición de la succinato deshidrogenasa y el complejo III mitocondrial, reduciendo la generación de energía requerida para el crecimiento micelial (Avenot y Michailides, 2010).
No obstante, la respuesta de los hongos fitopatógenos a los fungicidas puede variar debido a factores como el mecanismo de acción, la sensibilidad del aislamiento y las condiciones del medio de cultivo. Además, el uso continuo de fungicidas con un mismo sitio de acción puede favorecer la selección de poblaciones resistentes, por lo que la evaluación de productos con diferentes mecanismos resulta fundamental para establecer estrategias de manejo más eficientes. Por otra parte, algunos fungicidas como mancozeb presentan principalmente acción preventiva y protectora, mientras que ingredientes como metalaxil poseen mayor especificidad hacia organismos del grupo Oomycota, limitando su actividad sobre hongos Ascomycota como *Colletotrichum* spp. (Gullino *et al*., 2010).
El pH del medio constituye un factor que puede modificar la actividad de los fungicidas al influir en la estabilidad química, disponibilidad y eficacia de sus ingredientes activos. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de seis fungicidas, aplicados a dos dosis y bajo dos condiciones de pH (5 y 6), sobre la inhibición del crecimiento micelial de *Colletotrichum* spp. aislado de papaya, con la finalidad de identificar los tratamientos con mayor potencial antifúngico para su manejo.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el laboratorio de fitopatología del Campos Experimental Cotaxtla Veracruz (latitud 18°56'03", longitud 96°11'23"), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales

Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El muestreo se realizó en abril, en huerta de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz.

La antracnosis se presentó agresiva en huertos de enero a marzo, se tomaron seis frutos seleccionados por daño de "peladura" para su traslado al laboratorio. Se tomaron muestras de tejido de estos frutos, se sembraron en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) para reproducir el hongo y posteriormente evaluar los postulados de Koch, de este modo se colocaron frutos inoculados en cámaras húmedas para obtener aislamientos, de éstos se seleccionó el más agresivos por su velocidad de crecimiento y el tamaño de la mancha.

De los frutos enfermos se obtuvieron fragmentos de tejido infectado de la cáscara, los cuales se sembraron en medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA) para obtener y reproducir los diferentes aislamientos del hongo en cajas de Petri. Posteriormente se reprodujeron los postulados de Koch, para ello se inocularon frutos de papaya, cuatro puntos de cada aislamiento sobre cada carpelo y simultáneamente se evaluó por su patogenicidad y virulencia el aislamiento más agresivo. Se reprodujo el aislamiento más agresivo en placas Petri para evaluar su sensibilidad a los fungicidas mediante la técnica del antifungigrama, que comprende los seis fungicidas en medio de cultivo PDA. Se usó una concentración de $1x10^6$ esporas /cc. Se evaluó la respuesta de inhibición del micelio del hongo a las 24, 48 y 72 horas.

La variable de respuesta fue la inhibición del crecimiento micelial, determinada mediante la medición del diámetro de la colonia en sentido vertical y horizontal, expresado en milímetros. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con siete agroproductos (seis fungicidas y un testigo con agua destilada estéril) en dos concentraciones: normal (comercial) y media de la normal, con seis repeticiones por tratamiento, en dos pHs de dilución de los fungicidas: 6 y 5 (Cuadro 1). En total fueron 28 tratamientos a evaluar. Los datos obtenidos se analizaron mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS 9.4.

Cuadro 1. Fungicidas evaluados para manejo de antracnosis, en dosis normal y media de la normal.

Nombre Técnico	Modo de Acción	Dosis ha	Media
Prochloraz	G: Biosíntesis de esteroles en las membranas	1000ml	500 ml
Boscali más Pyraclostrobin	C. Respiración, C. Respiración	800 g	400 g
Difenoconazol	G. Biosíntesis del esterol en membranas	500ml	250 g
Cyprodinil másFludioxonil	D. Síntesis de Aminoácidos y proteínas E. Señales de transducción	800 g	400 g
Metalaxil	A: Metabolismo de ácidos nucleicos	2000 ml	1000 ml
Mancozeb	M. Actividad multisitio	2800 g	1400 g

Resultados y discusión

Con el propósito de aproximar los datos a los supuestos del análisis de varianza, los valores del halo de inhibición fueron transformados mediante la función logarítmica Log(Y). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p = 0.0476$), indicando que los fungicidas presentaron diferente capacidad para inhibir el crecimiento micelial de *Colletotrichum* spp. Aunque la prueba de comparación múltiple de Tukey no permitió establecer diferencias estadísticas entre tratamientos individuales, se observaron tendencias biológicas importantes en la respuesta antifúngica.

El análisis de los datos originales mostró que Fludioxonil + Ciprodinil (Switch) aplicado a dosis normal, tanto a pH 5 como a pH 6 (Figura1), presentó la mayor inhibición micelial, con un promedio de 10.5 mm de halo de inhibición, seguido de Boscalid + Pyraclostrobin (Cabrio) a dosis normal y pH 6, con 9 mm. En contraste, tratamientos como mancozeb y metalaxil (Figura 1) presentaron valores bajos o nulos de inhibición, mostrando menor actividad sobre el crecimiento micelial de *Colletotrichum* spp. bajo las condiciones evaluadas.

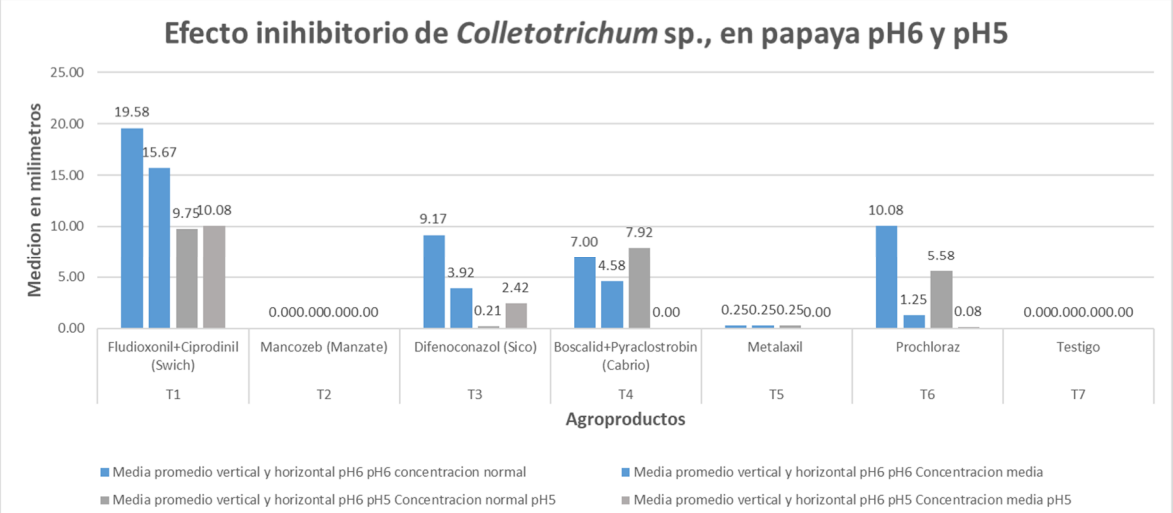


Figura 1. Efecto inhibitorio de fungicidas sobre el crecimiento micelial de *Colletotrichum* sp. en papaya bajo condiciones de pH 5 y 6.

La mayor actividad observada con la mezcla de fludioxonil + ciprodinil puede atribuirse a la acción complementaria de sus ingredientes activos. Fludioxonil, perteneciente al grupo de los fenilpirroles, alterando la regulación celular y reduciendo el crecimiento del hongo; mientras que ciprodinil interfiere con procesos metabólicos relacionados con la síntesis de enzimas necesarias para el desarrollo y colonización del patógeno (Leroux *et al.*, 2002). De manera similar, la respuesta positiva de boscalid + piraclostrobina se relaciona con su acción sobre la respiración mitocondrial, donde boscalid inhibe la enzima succinato deshidrogenasa (SDHI) y piraclostrobina bloquea la transferencia de electrones en el complejo III (QoI), disminuyendo la producción de energía requerida para el crecimiento fúngico (Avenot y Michailides, 2010).
Las diferencias observadas entre fungicidas (Figura 2) se relacionan con sus mecanismos de acción, ya que los ingredientes activos pueden afectar procesos esenciales del hongo como la síntesis de esteroles, la respiración y la regulación celular (FRAC, 2024).

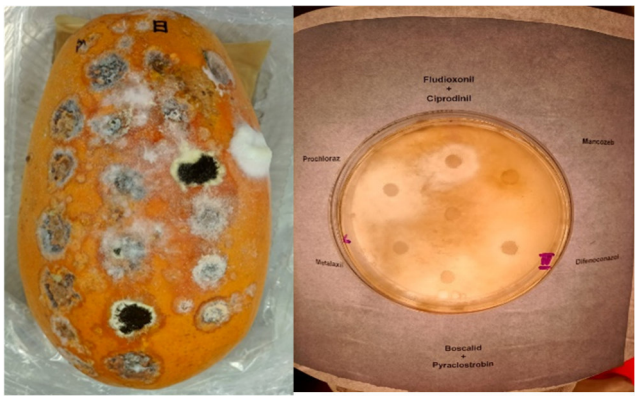


Figura 2. Izquierda fruto con selección de aislamientos agresivos de *Colletotrichum* sp. Derecha placa Petri con antifungigrama muestra halos de inhibición del hongo por fungicidas.
Por otro lado, la baja respuesta observada con metalaxil puede explicarse debido a que este ingrediente activo presenta principalmente actividad contra organismos del grupo Oomycota y una limitada acción sobre hongos Ascomycota como *Colletotrichum* spp. Asimismo, aunque mancozeb posee actividad multisitio y amplio espectro, su función principal es preventiva y protectora, por lo

que puede presentar menor efecto en evaluaciones in vitro donde se mide directamente la inhibición del crecimiento micelial del patógeno (Gullino *et al.,* 2010).

La variación observada entre dosis y valores de pH sugiere que las condiciones del medio pueden modificar la actividad antifúngica, debido a que el pH puede influir en la estabilidad química y disponibilidad del ingrediente activo. En conjunto, los resultados indican que Fludioxonil + Ciprodinil a dosis normal representa el tratamiento con mayor potencial inhibitorio frente a *Colletotrichum* spp, aunque la ausencia de separación estadística mediante Tukey indica que estos resultados deben considerarse como una tendencia biológica y no como una superioridad estadística comprobada.

Conclusiones

Bajo las condiciones evaluadas, Fludioxonil + Ciprodinil (Switch) aplicado a dosis normal presentó el mayor efecto inhibitorio sobre el crecimiento micelial de *Colletotrichum* spp, tanto a pH 5 como a pH 6, con un halo promedio de 10.5 mm, por lo que se considera el tratamiento con mejor comportamiento biológico. En contraste, tratamientos como Mancozeb y Metalaxil mostraron poca o nula inhibición micelial, indicando menor eficacia bajo las condiciones del ensayo.

Referencias bibliográficas

Avenot, H. F., & Michailides, T. J. (2010). Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibitors in phytopathogenic fungi. Crop Protection, 29(7), 643–651. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.019.

Fungicide Resistance Action Committee (FRAC). (2024). FRAC Code List 2024: Fungicides sorted by mode of action. https://www.frac.info.

Gullino, M. L., Tinivella, F., Garibaldi, A., Kemmitt, G. M., Bacci, L., & Sheppard, B. (2010). Mancozeb: Past, present and future. Plant Disease, 94(9), 1076–1087.

Leroux, P., Fritz, R., Debieu, D., Albertini, C., Lanen, C., Bach, J., Gredt, M., & Chapeland, F. (2002). Mechanisms of resistance to fungicides in field strains of Botrytis cinerea. Pest Management Science, 58(9), 876–888.

APTITUD AGROCLIMÁTICA PARA *Phaseolus lunatus* L, FRIJOL IB EN EL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO.

Genovevo Ramírez-Jaramillo[1]*, Mónica Guadalupe Lozano-Contreras[2], Wilson I. Avilés-Baeza[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRSE. Unidad Administrativa Regional Sureste. Calle 6 No. 398 x13 Av. Correa Rachó. Col. Díaz Ordaz. Mérida, Yuc. C. P. 97130. [2]Campo Experimental Mocochá Km 25 de la antigua carretera Mérida-Motul. C.P. 97454, Mocochá, Yucatán, México
*Autor para correspondencia: gramirez0458@hotmail.com

Palabras clave: *Regionalización, frijol Lima, cartografía.*

Introducción

El frijol Lima o ib (*Phaseolus lunatus* L.), es una de las cinco especies del género *Phaseolus* que ha sido domesticada, posee dos grandes acervos génicos, el acervo génico Andino y el Acervo génico Mesoamericano, ambos acervos están involucrados en la historia de la domesticación de la especie donde se han propuesto dos centros de domesticación independientes. El primero localizado en la región Andina entre Ecuador y norte de Perú y el segundo en Mesoamérica (Andueza y Martínez, 2022).
El frijol Lima *(Phaseolus lunatus* L., Fabaceae) *es* una de las cinco especies de frijol de gran importancia alimentaria que ha sido domesticada dentro del género *Phaseolus.* En México se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico de México, la costa del Golfo de México y la Península de Yucatán en forma silvestre y en algunos estados en forma cultivada como Nayarit, Jalisco, Colima, Guerrero, Michoacán, Chiapas, Campeche, Quintana Roo y Yucatán. En la Península de Yucatán se le conoce como frijol ib o ibs y por lo general se siembra en forma asociada al maíz en el sistema milpa con cultivares de semilla pequeña del acervo génico Mesoamericano en relación al acervo génico Andino (semillas más grandes).
El frijol Lima o ib, es una planta que se adapta a una gama amplia de condiciones ambientales, el objetivo del presente trabajo fue conocer sus áreas potenciales en el estado de Yucatán, como parte del proyecto: “Rescate y Valoración de Variedades Nativas de Frijol Lima para la Milpa Maya: Diversidad, Composición Nutricional y Microbiota Asociada”.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló para el estado de Yucatán con el objetivo de delimitar las zonas potenciales para el cultivo del frijol Lima en la entidad. El estado de Yucatán se localiza en el sureste de la República Mexicana, en la parte norte de la Península de Yucatán. Limita al norte y oeste por el Golfo de México, al sureste por el estado de Quintana Roo, y al suroeste por el estado de Campeche. La mayor parte de su territorio es una planicie, constituido en su mayoría por roca caliza. Su extensión territorial es de 39,524 km^2. Lo integran 106 municipios, y su capital es Mérida. La determinación espacial de áreas de alto y mediano potencial de un cultivo se puede realizar usando diferentes metodologías, sin embargo, en este caso se hizo basándose en el uso de algebra de mapas, tomando como variables de entrada los requerimientos agroecológicos del cultivo y con cortes e intersecciones de las condiciones óptimas y subóptimas de la especie en estudio.
La utilización de Sistemas de Información Geográficos (SIG), como una herramienta orientada al desarrollo y ordenamiento agropecuario, ha sido un método acertado en la determinación espacial de las zonas óptimas para el desarrollo de un cultivo (De Kahsay *et al*, 2018). Por medio de los SIG, se puede manejar las variables agroecológicas que representan al medio físico en donde se desarrolla una actividad, tales como clima, elevación digital, suelo y recurso hídrico, y partiendo de la variación espacial de estas, definir áreas de alto y mediano potencial en donde se desarrolle mejor determinado cultivo.
El principal aporte de estos mapas es facilitar la gestión adecuada de los recursos y de esta manera

apoyar a los responsables de las políticas públicas en el ordenamiento y planificación agrícola, partiendo de la identificación de las áreas con potencial para la producción de cultivos, en función de las condiciones locales, agroclimáticas y edáficas, de determinado territorio.

Para la determinación de áreas con aptitud agroclimática se consideraron tres aspectos fundamentales: 1). Determinación de los requerimientos agroecológicos. La información agroecológica fue integrada en base a diferentes fuentes bibliográficas (IPGRI, 2001, Ruiz *et al*, 2020). Por otro lado, también se tomó en consideración la experiencia de algunos expertos en el cultivo. La información se presenta en el apartado de Resultados. 2). Bases de datos. Se consideraron varias bases de datos geoespaciales, la información edáfica, fue tomada de la base de Referencia Mundial del Recurso Suelo, conocida por sus siglas en inglés como WRB, publicada por la FAO en 2007, en formato vectorial. Los datos climáticos se tomaron de la base de WorldClim versión 2.0, específicamente temperatura y precipitación promedio durante el ciclo del cultivo, el Modelo Digital de Elevación (MDE), se obtuvo del Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI), en formato raster con una resolución de 225 m^2 por píxel. 3). Procesamiento de datos. Los procedimientos que se aplicaron sobre la información geográfica en formato vectorial consistieron básicamente en clasificar los atributos climáticos y edáficos en los rangos agroecológicos establecidos para las condiciones de temporal. Todo el procesamiento y reclasificación de la información se realizó en el software QGIS 3.22.14 Bialiowieza 2022., las zonas de alto potencial son aquellas en donde interaccionan todas las variables agroclimáticas en su condición óptima para el mejor desarrollo del cultivo; las zonas de mediano potencial son aquellas en donde se presentan condiciones subóptimas y finalmente las no aptas donde interaccionan las condiciones que limitan el desarrollo de la especie (Figura 1).

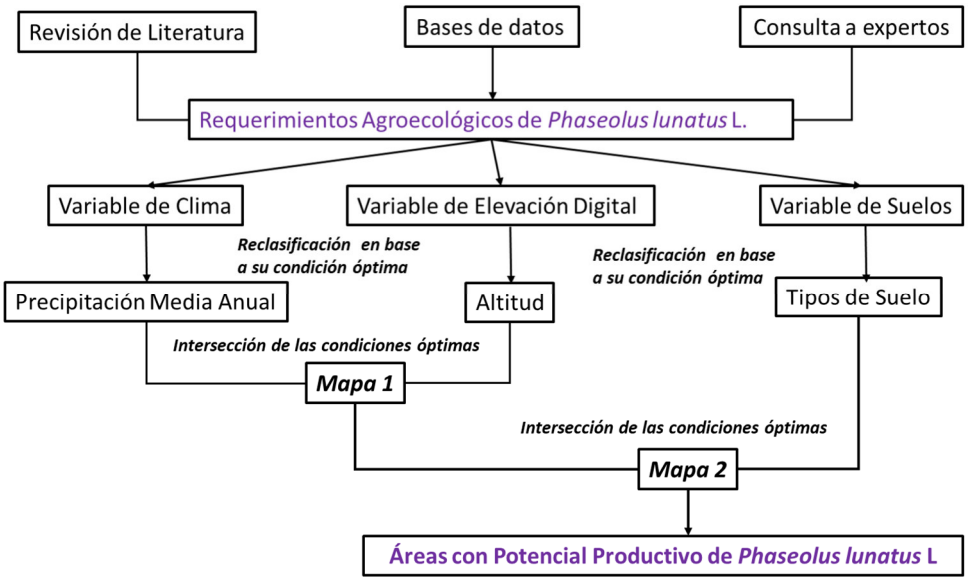


Figura 1. Modelo metodológico utilizado para determinar el potencial productivo del frijol Lima en el estado de Yucatán, México.

Resultados y discusión

El crecimiento, desarrollo y producción de frijol Lima o ib, están estrechamente relacionados con las condiciones de clima y suelo de la zona donde se cultiva. En base a la metodología se estructuro el Cuadro 1, con las variables ambientales y sus condiciones óptimas, subóptimas y no aptas para el desarrollo del cultivo.

Cuadro 1. Requerimientos Agroecologicos de *Phaseolus lunatus* L.

Variable	Unidades	Condición		
		Optima	Subóptima	No apta
Temperatura Media Anual	°C	20 - 30	15 - 20 30 - 35	< 15 > 35
Altitud	m	0 - 1000	1000 - 2000	> 2000
Precipitación Media Anual	mm	1000-2000	600 – 1000 2000 - 3000	< 600 > 3000
Suelo	Tipo	Luvisol Nitisol Phaeozems Chernozems	Cambisol Leptosol Regosol	Solonchak Vertisol Gleysol Arenosol Histisol
Textura	Tipo	Franco Arenoso Franco Arcilloso	Franco Arenoso Franco Arcilloso	Arcilloso Arenoso
Profundidad	m	> 1	1 a 0.40	< 0.40
pH	Indicador	6.0 a 7.0	5.5 a 5.9 7.1 a 8.0	< de 5.5 > de 8.0
Drenaje	Tipo	Eficiente	Eficiente	Deficiente

En la Figura 2 se presenta la distribución de las zonas potenciales sin considerar la frontera agrícola y en la Figura 3 la distribución es considerando la frontera agrícola, se pueden distinguir la distribución geográfica en el estado de Yucatán de las áreas potenciales para el cultivo de frijol Lima o ib, representadas las de alto potencial en verde y en naranja las de mediano potencial. Estas áreas indican que existen condiciones ambientales propicias en la región, lo que sugiere que los rendimientos de frijol Lima en estas zonas son pueden favorecer mejores rendimientos y superiores a la media regional, que por lo general anda en menos de 300 kg ha^{-1}. Por otro lado, las zonas en blanco en el mapa denotan áreas no aptas para el cultivo, esto se debe a limitaciones como la escasez de precipitación, y la presencia de suelos inundables o arenosos principalmente. También se aprecia en ambos mapas, que las zonas de alto y mediano potencial se presentan principalmente en los municipios del sur y oriente del estado, en menor medidad en el centro y poniente del estado.

De acuerdo a la metodología utilizada, las superficies de alto potencial sin considerar la frontera agrícola fueron de 415,284.00 hectáreas y 1,854,096.00 hectáreas las de mediano potencial. En el caso de las zonas de alto potencial considerando la frontera agrícola son de 18,044.00 hectáreas y 121,571.00 las de mediano potencial (Figura 4). Los municipios con alto potencial sobresalen: Tizimín, Calotmul, Espita, Dzitas, Uayma, Yaxcaba, Peto, Chaksikin, Thadziu, Tzucacab, Tecax, Oxcutzcab, Maní, Santa Elena y Muna.

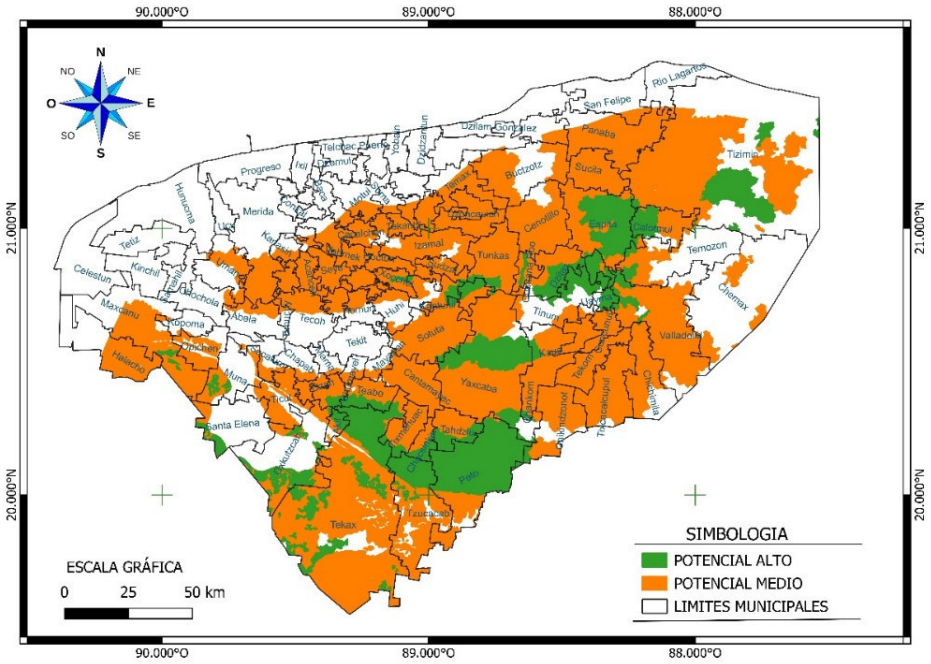


Figura 2. Distribución de las zonas potenciales de frijol Lima o Ib en el estado de Yucatán, sin considerar la frontera agrícola.

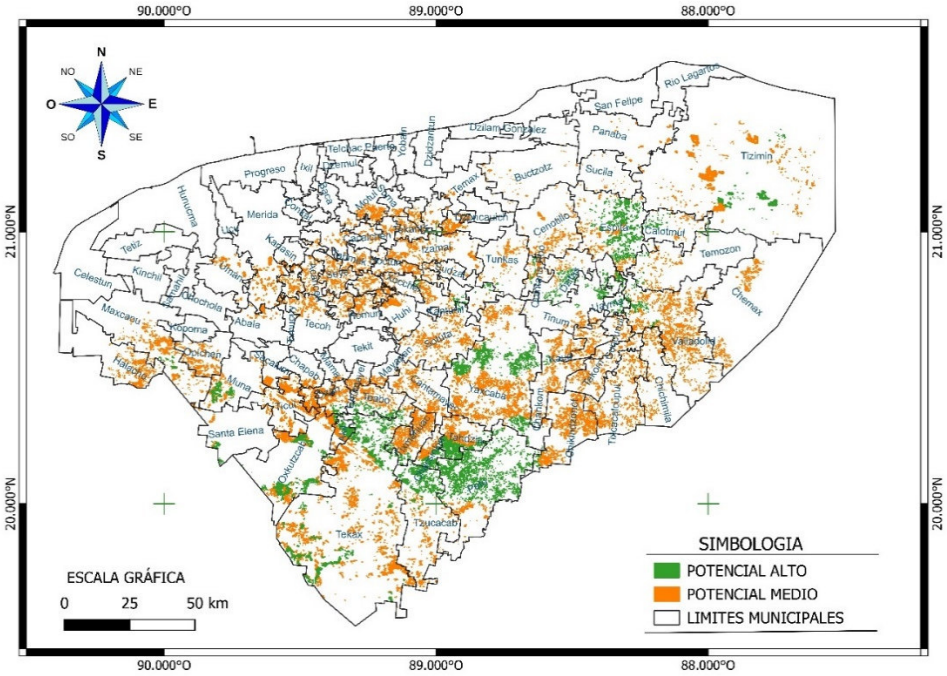


Figura 3. Distribución de las zonas potenciales de frijol Lima o Ib en el estado de Yucatán, con la capa de frontera agrícola.

Conclusiones

Existen condiciones agroecológicas óptimas y subóptimas para el desarrollo del frijol ib con mejores rendimientos de ubicar su producción en zonas de alto potencial y mediano potencial. Los municipios con mayor potencial se localizan en el sur y oriente del estado de Yucatán, lo que puede mejorar la eficiencia productiva para acercarse a su potencial alto, superior a los 100 a 200 kg ha^{-1} que se obtienen actualmente en forma asociada al maíz. La información generada con la metodología propuesta proporciona una herramienta de apoyo para la planificación regional, identificación de zonas prioritarias y diseño de políticas públicas para el cultivo de frijol Lima o ib en el estado de Yucatán.

Referencias bibliográficas

Andueza-Noh R.H y Martínez-Castillo J. 2022. *Domesticación del frijol Lima (Phaseolus lunatus L.) en México*. Siembra 9 (3) (2022): Edición especial*:* RESUMENES DEL II SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE EL FRIJOL LIMA (*Phaseolus lunatus* L.): Retos y Perspectivas ante Escenarios de Cambio Climático.

IPGRI. 2001. Descritores para *Phaseolus lunatus* (Feijão-espadinho). International Plant Genetic Resources Institute, Rome. pp.42

Kahsay. A., Haile. M., Gebresamuel. G., Mohammed M., 2018. Springer Nature Switzerland. Modeling Earth Systems and Environment. Zurich, Switzerland.

Ruiz-Corral, J; Zarazúa-Villaseñor, P; Lépiz Ildefonso, R; González, D. 2020. Cambio climático y distribución potencial de frijol lima en Mesoamérica y Aridoamérica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Volumen 11 Núm. 164. Ciudad de México, México.

RENDIMIENTO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE HÍBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ EN PRIMAVERA-VERANO EN TABASCO

Sabel Barrón-Feyre[1]*, Mauro Sierra-Macias[2] y Clara Ríos-Isidro[2].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Km 1. Carretera Huimanguillo-Cárdenas, C.P. 86400, Huimanguillo Tabasco, México; [2]/ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. Km 34 Carretera Veracruz- Córdoba Medellín de Bravo, Veracruz. CP. 94270.
*Autor para correspondencia: barron.sabel@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Temporal, cereal, trópico húmedo.*

Introducción

El maíz puede ser utilizado como alimento en cualquier etapa del desarrollo de la planta, se cultiva en todos los estados de la República mexicana y durante el año agrícola 2024 se sembraron 6,655,097 hectáreas con un volumen de producción de 24,326,528 toneladas y un rendimiento medio de 3.7 t/ha (SIAP, 2024); en el sureste de México destacan por su volumen y área cultivada Chiapas, Oaxaca y Veracruz.
En Tabasco para el mismo año se cosecharon 176,990 toneladas en una superficie de 89,869 hectáreas y un rendimiento promedio de 2.0 t/ha (SIAP, 2024), tanto el volumen de producción como el rendimiento se consideran bajos, el primero dada la baja superficie sembrada y el rendimiento por factores bióticos y abióticos como la acidez que presentan los suelos y el exceso de agua en primavera-verano o la sequía terminal en el ciclo otoño-invierno, sin embargo, existe la posibilidad de incrementar el rendimiento de maíz hasta un 200 % y por consecuencia el volumen de producción si se utiliza material genético con potencial productivo y su adecuado manejo tecnológico (Barrón *et al*., 2025).
En el trópico húmedo de México se ha formado material genético que muestra la posibilidad de superar o al menos igualar estadísticamente a híbridos como el H-520, testigo utilizado en diversas pruebas, también, en los últimos años se han formado cruzas varietales que muestran incrementos del 9.0 % respecto a sus progenitores (Sierra *et al*., 2025), lo anterior crea la necesidad de conocer su adaptabilidad a diferentes ambientes definidos por su clima, suelos y manejo agronómico, por ello el objetivo del presente fue conocer el rendimiento y las características agronómicas de híbridos y variedades de maíz y determinar así la posibilidad de recomendación de otros genotipos diferentes al testigo comercial H-520 para su siembra en Tabasco.

Materiales y métodos

Durante el ciclo de siembra primavera-verano 2025/25, en un régimen de humedad de temporal, se estableció y condujo un ensayo con ocho variedades de maíz, en un terreno ubicado dentro del Campo Experimental Huimanguillo y cuyas coordenadas son 17° 51’ 1.0’’ N y 93° 23’ 46.09’’ O y a una altitud de 38 msnm. El clima del sitio experimental es cálido húmedo, Am(f), con temperatura media anual de 26.2°C y precipitación pluvia anual de 2290 mm (García, 2004); mientras que el suelo es un Fluvisol de textura franco arcillo arenosa con pH moderadamente ácido (5.8), contenido medio de materia orgánica (3.2 %), nitrógeno total (0.12 %), fósforo (9.85 mg kg^{-1}) y potasio (0.25 cmol kg^{-1}).
Los genotipos evaluados fueron dos híbridos varietales (V-537 C x V-540, HV-570), cuatro variedades (SINT-2B, SINT-4B, V-537C, V-540) y dos híbridos trilineales comerciales (H-518, H-520), se distribuyeron en campo utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, utilizando parcelas de seis hileras de 5 m de longitud, distanciados a 0.80 m, la parcela útil correspondió a las dos hileras centrales.

La siembra se efectuó el 4 de julio de 2025; se depositaron dos semillas cada 20 cm, para asegurar una densidad de población inicial de 62,500 plantas ha^{-1}. La primera fertilización se efectuó 11 días después de la siembra, con el tratamiento 80-60-40 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O, respectivamente, utilizándose como fuentes de fertilizante la urea, el fosfato diamónico (18-46-0) y el cloruro de potasio; una segunda fertilización con urea (80 kg ha^{-1} de N) se realizó a los 31 días de la siembra; la primera aplicación fue a espeque a 10 cm de la planta y la segunda a chorrillo a un costado de la hilera y tapándose con el aporque mecánico.

El control de malezas da inicio con el segundo paso de rastra dos días antes de la siembra, continua con la aplicación de atrazina (2 L/ha de gesaprim autosuspensible) en preemergencia y una cultivo-aporque mecánico a los a los 31 días de la siembra; finalmente se aplicó nicosulfuron (Nicomaíz, 1.5 L/ha) a los 33 días. El manejo de plagas se dirigió al gusano cogollero realizándose una sola aplicación de cipermetrina a una dosis de 0.25 L/ha a los 32 días de la siembra.

Durante el ciclo del cultivo se registró la precipitación pluvial ocurrida en el sitio experimental y se cuantificaron los días a la floración masculina y femenina, la altura de planta y de mazorca, el rendimiento de grano ajustado al 14 % de humedad; además, se calificó la presencia de enfermedades (escala 1 a 5) como la roya y el tizón a 80 días de la siembra (dds), el arquetipo de planta y de mazorca, y se determinó el porcentaje de acame y de mazorca con mala cobertura. Se realizó análisis de varianza a las primeras cinco variables mencionadas y en los casos que se detectó significancia entre tratamientos, la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), a las seis variables restantes solo se determinó su media por tratamiento.

Resultados y discusión

En la figura 1 se observa el comportamiento de los días con lluvia en el período de prueba, es posible comentar que no se tiene un período marcado de sequía que afecte negativamente el desarrollo normal del maíz, así, durante el ciclo se acumularon 979.7 mm de agua, de ellos de la siembra a floración se precipitaron 212.8 mm para un promedio de 4.2 mm diarios, de la floración a madurez 322.4 mm, 7.8 mm por día, con ello se logra un acumulado en estas dos etapas de 535.2 mm, cantidad que está dentro del rango de necesidades hídricas del maíz tanto por el total como por sus promedios diarios (Kranz *et al*., 2008), en todo caso si existe un exceso de agua, éste se presentó de madurez a cosecha donde se acumularon 192.5 mm y donde se puede tener una posibilidad de incrementar el daño por mazorcas podridas o presencia de hongos en el grano, con lo que se demerita la calidad del mismo.

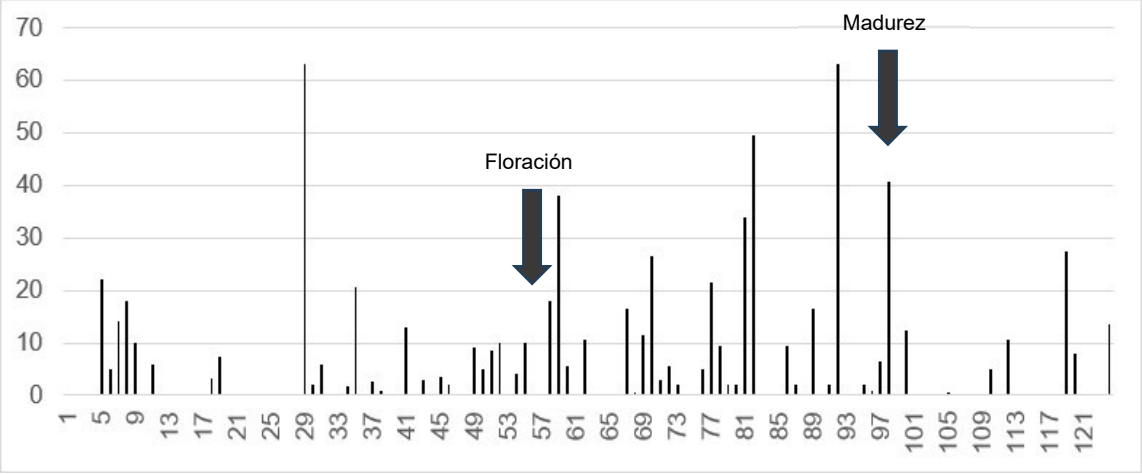


Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial (mm) en el sitio de evaluación y ciclo de siembra primavera-verano 2025. Huimanguillo, Tabasco. INIFAP. CIRGOC. CEHUI.

En el cuadro 1 se describen los resultados del análisis de varianza y la prueba de medias de cinco variables de respuesta, los días a floración masculina así como la altura de planta y de mazorca presentaron diferencia altamente significativa, mientras que en los días a floración femenina y en el rendimiento de grano no se detectaron diferencias estadísticas a los niveles de α=0.05 y α=0.01; los coeficientes de variación en las variables menores al 11 % demuestran confiabilidad en los resultados y las diferencias estadísticas detectadas o no, son debido al comportamiento de cada genotipo y no a errores experimentales.

En el cuadro citado se observa que la media en el rendimiento de grano registrado por los genotipos evaluados es de 5,663 kg ha^{-1}, la diferencia entre el de mayor y menor producción (V-537 C x V-540, V-537 C) es de 1,301 kg ha^{-1}, lo que significa para el productor una ventaja del hibrido varietal respecto a la variedad de calidad proteínica, sin embargo el que la prueba de medias los mantenga en el mismo grupo, permite aseverar que cualquiera de ellos con un manejo agronómico eficaz tiene el potencial para elevar en un porcentaje alto la media de producción de grano Estatal de 2 t ha^{-1} y que su comportamiento en esta variable es similar al del testigo H-520.

En los días a floración masculina el genotipo con el valor mayor fue la variedad V-540 con 55.3 días le sigue el híbrido varietal HV-570 y la variedad de calidad proteínica V-537 C con 53.7 días, éstos tres materiales son estadísticamente iguales y se pueden considerar como de ciclo intermedio, dado que aún difieren en tres o cuatro días respecto a materiales nativos como el Mejen cuya flotación en este ciclo se presenta entre los 57 y 59 días; el genotipo con mayor precocidad es el SINT-2B con 50.7 días, su floración masculina se considera igual respecto al resto de acuerdo a la prueba de medias de Tukey (α=0.05).

En floración femenina, todos los genotipos son estadísticamente iguales con una diferencia de un día más respecto a la masculina, este hecho permite afirmar que la sincronía en la floración fue adecuada lo que permitió tener un buen llenado de grano.

Cuadro 1. Rendimiento, días a floración y altura de planta y mazorca de genotipos de maíz evaluados en condiciones de temporal en Tabasco. Ciclo primavera-verano 2025/25. INIFAP. CIRGOC. CEHUI.

Genotipo	Días a floración		Altura (cm)		Rendimiento (kg ha^{-1})
	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca	
V-537 C X V-540	52.0^{b}	53.0^{a}	314^{ab}	154^{ab}	6409^{a}
H-520	51.3^{b}	52.0^{a}	284^{abcd}	133^{bc}	6216^{a}
HV-570	53.7^{ab}	54.0^{a}	279^{bcd}	129^{bc}	5771^{a}
SINT-2B	50.7^{b}	51.3^{a}	261^{cd}	122^{bc}	5700^{a}
SINT-4B	52^{b}	52.3^{a}	247^{d}	108^{c}	5654^{a}
V-540	55.3^{a}	55.7^{a}	322^{a}	172^{a}	5296^{a}
H-518	51.0^{b}	55.0^{a}	262^{cd}	122^{bc}	5146^{a}
V-537 C	53.7^{ab}	54.3^{a}	288^{ab}	134^{bc}	5108^{a}
Media	52.5	53.5	282.0	134.0	5663
Significancia	**	ns	**	**	ns
C. V. (%)	2.02	4.13	4.94	8.46	10.68

**Significativo al 0.01. *Significativo al 0.05. ns = No significativo a niveles descritos.
Genotipos con letras diferentes implican diferencia estadística de acuerdo con la DMS (Tukey α=0.05).

En el mismo cuadro se registra el comportamiento en altura de planta y de mazorca, en el caso de la de planta el genotipo con el mayor porte es la variedad V-540 con 322 cm, misma que estadísticamente no difiere de la altura cuantificada en V-537 C x V-540, V-537 C, H-520, cuyos valores fueron 314 cm, 288 cm y 284 cm respectivamente, dicha altura representa una alta posibilidad de tener problemas con el acame de raíz o de tallo cuando los vientos y lluvias de alta intensidad se presentan en el llenado de grano.

En altura de mazorca el V-540 con 172 cm presentó el mayor valor, le siguen los ya mencionados en altura de planta, el menor porte en ambas variables se asoció al SINT-4B con 247 cm y 108 cm en planta y mazorca respectivamente; por los promedios en estas dos variables y por los valores cuantificados la variedad V-540 y el hibrido varietal V-537 C x V-540 deben considerarse de porte alto y a los cinco restantes de porte intermedio.

Otras variables que se cuantificaron en el período de prueba se describen el cuadro 2; la evaluación sobre el comportamiento en el arquetipo de planta y mazorca señala que en planta los genotipos mejor calificados fueron SINT-4B, SINT-2B y HV-570 con valores de 1.3, 1.8 y 1.8 respectivamente, lo cual es consecuencia de una mayor uniformidad en altura de planta y de mazorca; en cuanto al arquetipo de la mazorca en general seis de ellos tuvieron un desempeño similar pues sus calificaciones asignadas variaron entre el 1.8 y 2.3, el SINT-4B con 2.5 y el H-518 con 2.7 fueron los que mostraron mayor variación en tamaño de mazorca, uniformidad en hileras y llenado de grano.

Cuadro 2. Características agronómicas de genotipos de maíz evaluados en condiciones de temporal en Tabasco. Ciclo primavera-verano 2025/25. INIFAP. CIRGOC. CEHUI.

Genotipo	CPTA	CMZCA	CRO	CTIZ	ACAPTA	MCOB
V-540	2.5	2.0	1.5	2.2	4.0	5.6
H-520	2.2	2.0	1.7	1.7	4.3	4.9
H-518	2.3	2.7	1.5	2.3	6.7	3.3
V-537C	2.2	2.2	1.5	1.8	3.0	4.7
SINT-2B	1.8	2.0	1.5	1.5	1.0	2.7
SINT-4B	1.3	2.5	1.5	1.7	1.7	2.0
HV-570	1.8	2.0	1.5	1.7	5.0	3.1
V-537 x V-540	2.2	1.8	1.7	1.8	2.3	3.1
Promedio						

CPTA= Calificación a planta. CMZCA=Calificación a mazorca. CRO=Calificación a presencia de roya. CTIZ=Calificación a presencia de tizón. ACAPTA=Porcentaje de acame. MCOB=Porcentaje de mala cobertura.

Al evaluar la presencia de enfermedades en la fase de desarrollo R4 como la roya (*P. polysora*) y tizones (*H. maydis* y *H. turcicum*) se pudo observar que para el caso de roya los materiales evaluados presentaron buena tolerancia a la misma, sus calificaciones entre 1.5 y 1.7 en una escala de 1 a 5, donde 1 es resistencia y 5 susceptible, así lo demuestran; para el caso de tizones, los genotipos que mostraron menor tolerancia fueron H-518 y V-540 con calificaciones de 2.3 y 2.2 respectivamente, sin embargo, dado el momento de evaluación para roya y tizón se asume que el rendimiento no fue afectado negativamente, como puede suceder cuando estas enfermedades se presentan en etapas vegetativas.

Otra variable que es importante evaluar en el ciclo de primavera-verano es el acame de planta (ACAPTA), que con frecuencia ocurre cuando se presentan lluvias acompañadas por vientos fuertes durante las etapas reproductivas, en la prueba el híbrido H-518 con 6.7 % de acame de raíz fue el mas afectado, le sigue el HV-570 con que puede ser de tallo o de raíz dado 5.0 %, en el resto de los genotipos se determinaron porcentajes de acame de 1.0 % al 4.3 %, índices que se consideran normales en la región.

Por otra parte, la mala cobertura de mazorca es otra característica importante en el trópico húmedo, pues si en el genotipo es deficiente puede favorecer un incremento en la infestación de plagas de almacén, así como de enfermedades del grano y germinación de este; de los resultados el V-540, el H-520 y el V-537 C con 5.6 %, 4.9 % y 4.7 % respectivamente fueron los más deficientes en esta variable.

Conclusiones

Existe material genético como los híbridos varietales V-537 C x V-540 y HV-570 y la variedad sintética SINT-2B con rendimiento de grano estadísticamente igual al del testigo H-520.

El grupo de genotipos evaluados por sus días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca tiene un comportamiento de ciclo y porte intermedio, características idóneas para su recomendación y siembra en el ciclo primavera-verano en Tabasco.

Referencias bibliográficas

Barrón, F. S., M. Sierra, M. y C. Ríos I. 2025. Producción de grano y características agronómicas de genotipos de maíz en condiciones de temporal en Huimanguillo, Tabasco. p. 115-119. *In*: Sumano, L. D., P.U. Hernández L. y Grisel Cervantes A. (comps.). Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Tabasco. Memoria No. 1. Año 2. INIFAP. Huimanguillo Tab., México.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a ed. Serie libros. Núm. 6. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 97 p.

Kranz, W.L., S. Irmak, S.J. van Donk, C.D. Yonts y D.L. Martin. 2008. Irrigation Management for Corn. Neb Guide, G1850, University of Nebraska-Lincoln Extension.
https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1850.pdf

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola (consultado 18 junio 2026).

Sierra, M. M., C. Ríos I., N. O. Gómez M., S. Barrón F. y R. M. Fierro L. 2025. Interacción genotipo ambiente de híbridos y variedades de maíz prospectos para el trópico húmedo de México. P. 66-70. *In*: Sumano, L. D., P.U. Hernández L. y Grisel Cervantes A. (comps.). Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Tabasco. Memoria No. 1. Año 2. INIFAP. Huimanguillo Tab., México.

VALIDACIÓN DE HIBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ EN EL CICLO OTOÑO-INVIERNO EN LA CHONTALPA TABASCO

Sabel Barrón-Feyre[1]*, Mauro Sierra-Macias[2] y Clara Ríos-Isidro[2].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Km 1. Carretera Huimanguillo-Cárdenas, C.P. 86400, Huimanguillo Tabasco, México; [2]/ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. Km 34 Carretera Veracruz- Córdoba Medellín de Bravo, Veracruz. CP. 94270.
*Autor para correspondencia: barron.sabel@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Temporal, cereal, trópico húmedo.*

Introducción

El maíz en México es fundamental en la dieta de su población, su disponibilidad per cápita en 2024 fue de 164 kg, se cultiva en todos los estados de la República mexicana y durante el año agrícola 2024 se destacaron por la superficie sembrada Sinaloa y Jalisco con más de 3 millones de hectáreas, en el Sureste los estados de Chiapas con 1.4 millones, Veracruz con 1.2 millones y Oaxaca con 771,281 hectáreas, el rendimiento medio nacional fue de 3.53 t/ha (Agricultura, 2024).
En Tabasco para el mismo año se cosecharon 176,990 toneladas en una superficie de 89,869 hectáreas y un rendimiento promedio de 2.0 t/ha (SIAP, 2024), tanto el volumen de producción como el rendimiento se consideran bajos, el primero dada la baja superficie sembrada y el rendimiento por factores bióticos y abióticos como la acidez que presentan los suelos y el exceso de agua en primavera-verano o la sequía terminal en el ciclo otoño-invierno, una de las formas de incrementar el volumen y el rendimiento de maíz es utilizando material genético con potencial productivo y su adecuado manejo tecnológico (Barrón *et al*., 2025).
Como parte de la evaluación de nuevos híbridos y variedades de maíz esta el proceso de validación que implica la confirmación de la eficacia de nuevas semillas en condiciones de manejo del interesado en utilizar la nueva tecnología, así, es posible conocer su desempeño en cuanto a rendimiento, tolerancia a enfermedades, adaptación al clima local y su calidad de grano entre otras variables. Por ello el objetivo del presente fue validar híbridos y variedades de maíz en el ciclo otoño-invierno en condiciones de temporal en región de la Chontalpa, Tabasco.

Materiales y métodos

En el ciclo de siembra otoño-invierno 2025/26, bajo condiciones de temporal, se condujo una parcela de validación con siete genotipos de maíz, prospectos a liberar y/o liberados y un testigo comercial; la parcela se ubicó en el Campo Experimental Huimanguillo y cuyas coordenadas son 17° 51’ 1.0’’ N y 93° 23’ 46.09’’ O y a una altitud de 38 msnm. El clima del sitio experimental es cálido húmedo, Am(f), con temperatura media anual de 26.2°C y precipitación pluvia anual de 2290 mm (García, 2004); el suelo está clasificado como Fluvisol representativo de las áreas de producción comercial del municipio de Huimanguillo, Tabasco, presenta textura franca arcillo arenosa con pH moderadamente ácido y contenidos medios de materia orgánica (3.2 %), nitrógeno total (0.12 %), fósforo (9.85 mg kg^{-1}) y potasio (0.25 cmol kg^{-1}).
Los genotipos evaluados son dos híbridos varietales (V-537 C x V-540, HV-570), cuatro variedades (SINT-1A, SINT-4B, V-537C, V-540) y el híbrido trilineal H-518, testigo en la parcela. Su siembra se realizó en franjas en una superficie mínima de 240 m^2 y máxima de 480 m^2.
La siembra se realizó el 16 de enero de 2026; se depositaron tres semillas cada 40 cm, para asegurar una densidad de población inicial de 62,500 plantas ha^{-1}. La fertilización se realizó en dos oportunidades, la primera a los 16 días de la siembra con la fórmula 60-60-30 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente y la segunda con 60 kg ha^{-1} de N a los 34 días de la siembra; las fuentes de fertilizante fueron la urea, el fosfato diamónico (18-46-0) y el cloruro de potasio; la primera aplicación

fue a espeque a 10 cm de la mata y la segunda a chorrillo a un costado de la hilera y tapándose con el aporque mecánico.
El control de malezas inicia con el segundo paso de rastra 28 días antes de la siembra, continua con la aplicación de atrazina (2 L/ha de gesaprim autosuspensible) en preemergencia y una cultivo-aporque mecánico a los a los 34 días de la siembra; finalmente se aplicó nicosulfuron (Nicomaíz, 1.5 L/ha) a los 45 días de la siembra. La plaga que requirió manejo fue el gusano cogollero, para su control se aplicó cipermetrina a una dosis de 0.25 L/ha a los 38 días de la siembra. La dobla ocurrió a los 109 días y la cosecha a los 132 días, ambas actividades en forma manual.
Durante el ciclo del cultivo se registró la precipitación pluvial ocurrida en el sitio experimental y se cuantificaron los días a la floración masculina y femenina, la altura de planta y de mazorca, el rendimiento de grano ajustado al 14 % de humedad y los ´porcentajes de acame, mazorca con mala cobertura y de mazorca podrida. Para realizar análisis estadístico de las variables se llevó a cabo un muestreo al azar en cuatro puntos de las franjas en un área de 4 m^2 por muestra, se realizó análisis de varianza mediante el diseño completamente al azar a las variables, altura de planta, altura de mazorca y rendimiento de grano y se aplicó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), a las cinco variables restantes solo se determinó su media por tratamiento.

Resultados y discusión

La figura 1 describe la distribución de la precipitación pluvial en mm del momento de siembra a la cosecha durante el desarrollo del proceso de validación, en total se presentaron 29 días con lluvia y como es posible observar hay tres momentos donde se marca períodos de la lluvia, el primero de la siembra hasta los 21 días, el segundo de los 61 a los 81 a los 83 días y el tercero de los 96 a la cosecha, al agrupar por fases de desarrollo la precipitación acumulada de la siembra a la fase de desarrollo VT fue de 219.7 mm, considerando un evento a los 61 días de 165 mm, mismo que fue determinante para obtener un buen rendimiento al final del ciclo, pues la cantidad de humedad que se acumuló en el suelo permitió cubrir las fases de mayor demanda de agua en el maíz (VT a R4); al final del ciclo se tuvo una precipitación acumulada de 358.7 mm, cantidad que está por debajo de las necesidades del cultivo, sin embargo, cuando la humedad existe en las fases de desarrollo de mayor demanda el efecto negativo de la escasez de agua sobre el rendimiento se minimiza y al final se obtienen buenos resultados en la producción.

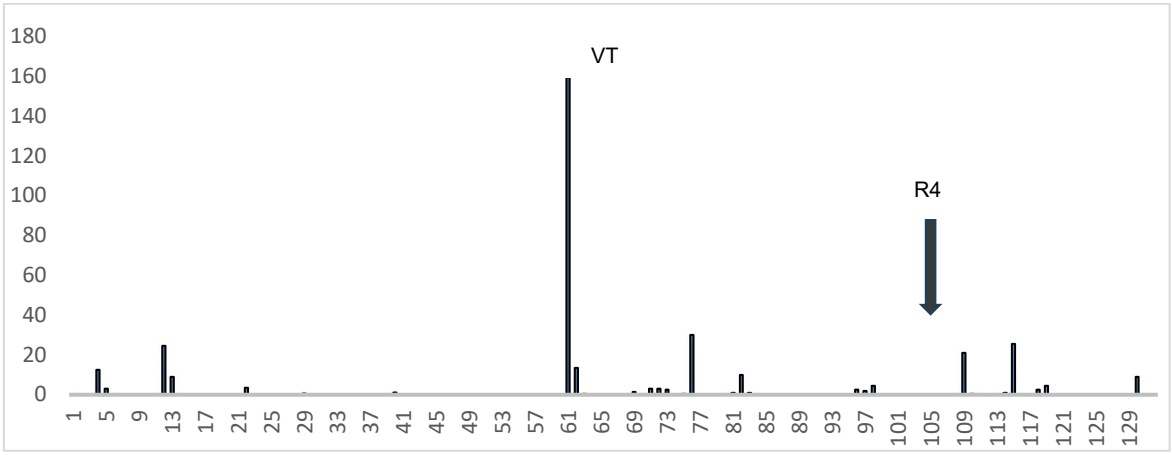


Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial (mm) en el sitio y ciclo otoño-invierno 2025/26. Huimanguillo, Tabasco. INIFAP. CIRGOC. CEHUI.

En el cuadro 1 se registra la información del comportamiento de los genotipos en siete características, en cuanto a los días de floración masculina y femenina el material más precoz fue el hibrido H-518 con 62 días en ambas floraciones, los más tardíos las variedades V-540 y SINT-1A

con 68 días, el primero de grano blanco y el segundo amarillo, en la variedad SINT-4B se observó una diferencia de un día entre la floración masculina y la femenina, lo que se tradujo en un buen llenado de mazorca por la presencia de estigmas y de polen.

Cuadro 1. Características agronómicas de los genotipos de maíz validación bajo condiciones de temporal durante el ciclo otoño-invierno 2025/26 en Huimanguillo, Tabasco. INIFAP. CIRGOC. CEHUI.

Genotipo	Días a floración		Altura (cm)		Porcentaje		
	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca	Acame	Mala Cob.	Mzca. Pod.
V-540	68	68	263^{a}	133^{a}	62.5	2.5	1.3
V-537 C x V-540	67	67	257^{ab}	111^{ab}	48.8	4.2	0.0
HV-570	67	67	241^{bc}	94^{b}	3.8	3.0	0.0
V-537 C	65	65	237^{c}	93^{b}	16.9	0.0	1.1
SINT-1A	68	68	235^{c}	103^{b}	1.25	2.1	0.0
H-518	62	62	226^{c}	92^{b}	0.6	0.0	2.0
SINT-4B	64	65	226^{c}	93^{b}	0.0	1.9	0.9
Media	66	66	241	103	19.1	2.0	0.8
Significancia	-	-	**	**	-	-	-
C. V. (%)	-	-	3.48	10.45	-	-	-

**Significativo al 0.01. *Significativo al 0.05. ns = No significativo.
Genotipos con letras diferentes implican diferencia estadística de acuerdo con la DMS (Tukey α=0.05).

En la altura de planta y de mazorca, el análisis de varianza mostró diferencia estadística altamente significativa, con coeficientes de variación (CV) de 3.48 % y 10.45 % respectivamente, es de notar que en altura de mazorca es menor su uniformidad dentro de cada genotipo, lo cual se releja en un mayor valor del CV, aun así, es posible observar significancia. La prueba de medias permite comentar que la variedad V-540 es la de mayor porte con 263 cm en planta y en mazorca con 133 cm, estadísticamente es igual al comportamiento de el hibrido varietal V-537 C x V-540 con 257 cm y 111 cm respectivamente, el grupo restante de genotipos según la prueba de medias son estadísticamente iguales; la altura de planta promedio fue de 241 cm y en mazorca de 103 cm.
Es necesario comentar que los días a floración masculina y femenina es mayor hasta en 12 días en otoño-invierno que en primavera-verano, mientras que la altura de planta y de mazorca, ambas variables son menores, ejemplo de ello es que los genotipos V-540 y V-537 C x V-540 en primavera verano alcanzan alturas de planta mayores a los 300 cm y en otoño-invierno están por debajo de dicho valor, tal como ocurrió en la validación actual, lo descrito es una respuesta a temperatura, radiación y luminosidad.
En cuanto al volcamiento o acame de planta se pudo observar que V-540 y V-537 C x V-540 tienen porcentajes muy altos lo cual se convierte en una desventaja para ellos, el resultado es producto de fuertes vientos en la etapa de desarrollo vegetativo cercano a VT, lo cual se tradujo en pérdidas de rendimiento al no recuperarse totalmente de dicho evento.
El porcentaje de mazorca con mala cobertura y mazorca podrida en todos los genotipos muestra valores bajos pues van del 0 % al 4.2 % en el caso de la cobertura y del 0 % al 2 % en la segunda variable misma que se considera no fue mayor por las condiciones de baja precipitación después de la dobla, lo que permite obtener una calidad de grano adecuada.
Además de los resultados en las variables ya descritas, para el productor, el rendimiento de grano es fundamental para adoptar una nueva variedad, en la figura 2 se presentan los rendimientos obtenidos por cada una de las variedades, el análisis de varianza no mostro significancia a los niveles de α=0.01 y α=0.05 por lo que la prueba de medias de Tukey (α=0.05) agrupa a los genotipos, incluyendo el testigo, en un solo bloque; el rendimiento mayor lo obtuvo el testigo H-518 con 7,671 kg ha^{-1}, le sigue el HV-570 con 7,188 kg ha^{-1}, la variedad V-540 obtuvo 6,408 kg ha^{-1}, el rendimiento mas bajo le pertenece al hibrido varietal V-537 C x V-540 con 5,710 kg ha^{-1}, aun y cuando no hay diferencia estadísticas entre los genotipos con el mayor y menor rendimiento existen 1,961 kg ha^{-1} entre ellos, lo cual representa para el productor un punto de referencia para adoptar o no una variedad. Por las variables descritas y sus resultados se puede afirmar la existencia de material

genético con características semejante y en algunos casos mejores a las del testigo H-518, tal y como lo menciona Sierra *et al*., 2025

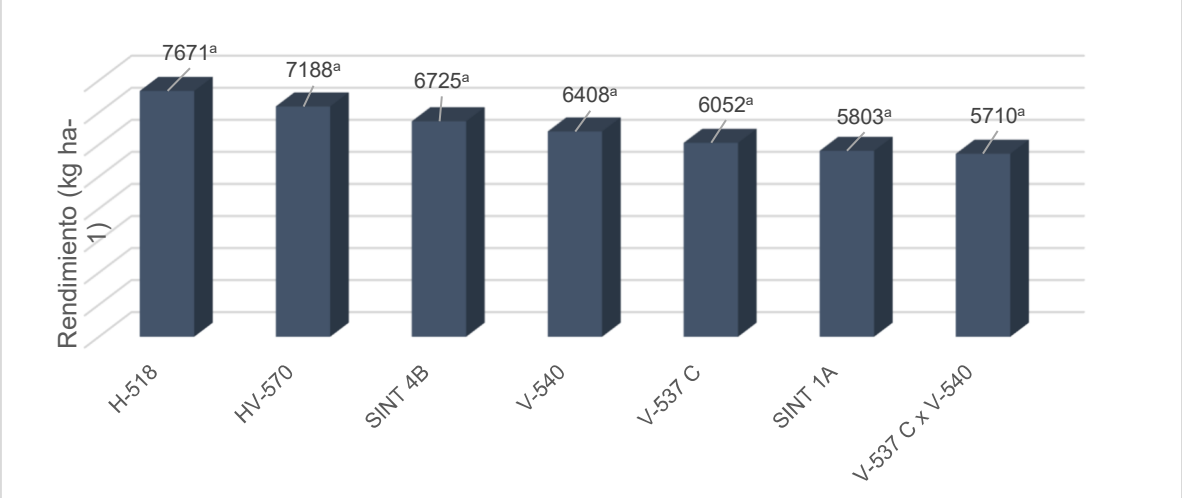


Figura 2. Rendimiento de grano en la validación de genotipos de maíz en otoño-invierno 2025/26 bajo condiciones de temporal en Huimanguillo, Tabasco. INIFAP. CIRGOC. CEHUI.

Conclusiones

El hibrido varietal HV-570 y las variedades SINT-4B, V-540 entre otros genotipos, tienen rendimientos que superan las 6 t ha^{-1} de grano y otras características agronómicas que compiten con las de variedades mejoradas que el productor utiliza en sus unidades de producción

Referencias bibliográficas

Barrón, F. S., M. Sierra, M. y C. Ríos I. 2025. Producción de grano y características agronómicas de genotipos de maíz en condiciones de temporal en Huimanguillo, Tabasco. p. 115-119. *In*: Sumano, L. D., P.U. Hernández L. y Grisel Cervantes A. (comps.). Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Tabasco. Memoria No. 1. Año 2. INIFAP. Huimanguillo Tab., México.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a ed. Serie libros. Núm. 6. Universidad Autónoma de México. México, D. F. 97 p.

SIAP (Servicio gde Información Agroalimentaria y Pesquera). 2024. https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola (consultado 18 junio 2026).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2025. Panorama agroalimentario 2025. Coordinación General de Información, Inteligencia y Evaluación Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP). Ciudad de México. 107 p.

Sierra, M. M., C. Ríos I., N. O. Gómez M., S. Barrón F. y R. M. Fierro L. 2025. Interacción genotipo ambiente de híbridos y variedades de maíz prospectos para el trópico húmedo de México. P. 66-70. *In*: Sumano, L. D., P.U. Hernández L. y Grisel Cervantes A. (comps.). Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Tabasco. Memoria No. 1. Año 2. INIFAP. Huimanguillo Tab., México.

CULTIVOS PERENNES

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE *PHYTOPHTHORA* SPP. EN CACAO DE TABASCO Y NORTE DE CHIAPAS, MÉXICO

Marilyn Estefania Yzquierdo-Alvarez[1], Carlos Fredy Ortiz-García[1*], Joaquín Alberto Rincón-Ramírez[1], Lorenzo Armando Aceves-Navarro[1] y Eder Ramos-Hernández[2]

[1]Posgrado de Ciencias Agrícolas en el Trópico. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. C.P. 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Huimanguillo. C.P. 86400, Huimanguillo, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: cfortiz@colpos.mx

Palabras clave: *Oomiceto, diagnóstico, ypt1, filogenia.*

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo neotropical de importancia económica, social y cultural en regiones tropicales. En México, su producción se concentra principalmente en Tabasco y Chiapas, estados donde las enfermedades representan una de las principales limitantes fitosanitarias del cultivo. La mancha negra del cacao (MNC) es una de las enfermedades más destructivas del cultivo a nivel mundial y es causada por diferentes especies de *Phytophthora* (Ploetz, 2016).
En México, la MNC se ha atribuido históricamente a especies de *Phytophthora* identificadas mediante criterios morfológicos, isoenzimáticos y marcadores ribosomales (Ortiz-García, 1996) En estos estudios, los aislamientos de cacao fueron identificados principalmente como *P. capsici* (Ramos-Grajales., 2017). Sin embargo, *P. tropicalis* fue separada formalmente de *P. capsici* en 2001, por lo que algunos registros históricos basados en caracteres de baja resolución podrían corresponder a esta especie (Abad et al., 2023).
La identificación molecular de especies de *Phytophthora* ha mejorado mediante el uso de marcadores multigénicos que integran regiones nucleares y mitocondriales, lo cual permite resolver complejos taxonómicos y aumentar la precisión en la identificación de especies. En este contexto, el empleo de regiones como β-tubulina, COI, ypt1 y HSP90, además de ITS, fortalece la identificación molecular de especies asociadas con enfermedades agrícolas de importancia económica (Abad et al., 2023).
El objetivo de este trabajo fue identificar molecularmente las especies de *Phytophthora* causantes de la mancha negra del cacao en plantaciones de Tabasco y norte de Chiapas, México.

Materiales y métodos

El muestreo se realizó en plantaciones de cacao de municipios cacaoteros de Tabasco y el norte de Chiapas, entre octubre de 2023 y noviembre de 2024. En campo se recolectaron mazorcas con síntomas típicos de MNC, como manchas circulares, firmes, de color café oscuro y borde definido; cada muestra se colocó individualmente en bolsas de plástico y se trasladó al laboratorio de fitopatología del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.
Las mazorcas se lavaron con agua corriente para eliminar residuos superficiales. La desinfestación superficial se realizó mediante aspersión de etanol al 96 % y flameado durante aproximadamente 30 s en campana de flujo laminar. A partir de las áreas de avance de la lesión, se obtuvieron fragmentos internos de tejido, los cuales se colocaron en medio V8 e incubaron a 25 °C por tres días. Las cepas obtenidas se purificaron por punta de hifa y se conservaron en medio V8 para su caracterización posterior.
Para la identificación molecular se utilizaron 44 cepas de *Phytophthora* obtenidas de mazorcas sintomáticas de cacao. El ADN genómico se extrajo a partir de micelio liofilizado y se amplificó el gen ypt1, utilizado como marcador inicial para la asignación taxonómica de las cepas. Los productos de PCR se verificaron mediante electroforesis en gel de agarosa, se purificaron y se enviaron a secuenciación. Las secuencias obtenidas se editaron, ensamblaron y compararon con secuencias disponibles en GenBank mediante BLASTn para establecer una identificación molecular preliminar.

A partir de los resultados preliminares, se seleccionaron 19 cepas representativas para el análisis multigénico, considerando la identificación molecular, el origen geográfico y la variación observada entre cepas. Se amplificaron las regiones ITS, β-tubulina, COI y HSP90 (Abad et al., 2023). Las secuencias fueron alineadas y posteriormente concatenadas para construir árboles filogenéticos. Los modelos de sustitución nucleotídica se seleccionaron con base en el Criterio de Información Bayesiano y el soporte de los nodos se evaluó mediante 1000 réplicas de bootstrap.
El análisis filogenético incluyó 37 taxones, de los cuales 19 correspondieron a cepas obtenidas en este estudio y 18 a secuencias de referencia disponibles en GenBank. *Phytopythium sindhum* se utilizó como grupo externo para enraizar el árbol. La ubicación filogenética de las cepas se evaluó mediante árboles individuales por gen y mediante un árbol concatenado, con el propósito de confirmar la asignación taxonómica de las especies detectadas.

Resultados y discusión

A partir de mazorcas de cacao con lesiones firmes de color café oscuro, se obtuvieron 44 cepas de *Phytophthora* procedentes de Tabasco y norte de Chiapas. Las colonias crecieron visiblemente desde las primeras 24 h después de la siembra en medio V8 y cubrieron completamente la superficie de las cajas Petri entre tres y cuatro días de incubación a 25 °C.
Las secuencias de ypt1 identificaron de manera preliminar dos especies de *Phytophthora*. Cuatro cepas presentaron una similitud >99 % con cepas de referencia del GenBank correspondientes a *P. palmivora*, mientras que 40 cepas coincidieron con *P. tropicalis* con valores de similitud >99 %. El árbol filogenético confirmó la separación de las cepas en dos clados correspondientes a *P. palmivora* y *P. tropicalis*.
El análisis multigénico de 19 cepas representativas confirmó la ubicación filogenética de las cepas dentro de dos linajes bien definidos. Las cuatro cepas identificadas como *P. palmivora* se agruparon dentro del clado 4 junto con secuencias de referencia de la especie. Por su parte, las 15 cepas asignadas a *P. tropicalis* formaron un grupo monofilético dentro del clado 2b, agrupándose con secuencias de referencia de esta especie.

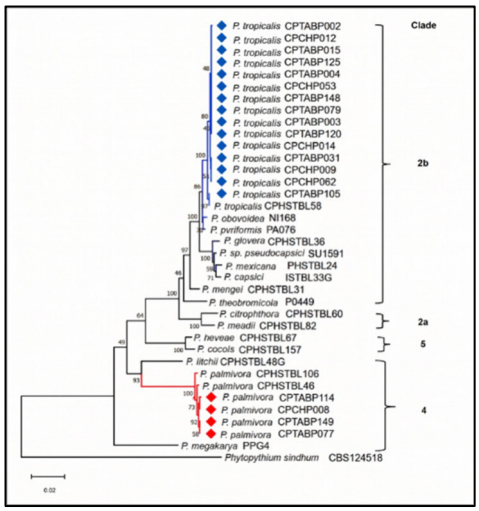


Figura 1. Árbol filogenético basado en secuencias concatenadas de ypt1, β-tubulina, ITS, COI y HSP90, inferido por máxima verosimilitud con 1000 réplicas de bootstrap. Las cepas de *P. tropicalis* y *P. palmivora* se indican con símbolos diferenciados. Grupo externo: *Phytopythium sindhum*.
La detección de *P. palmivora* en plantaciones de cacao de Tabasco y norte de Chiapas es importante debido a que esta especie es considerada de importancia cuarentenaria en México y posee un amplio rango de hospederos (SENASICA, 2016). La identificación de *P. tropicalis* en la mayoría de los aislamientos actualiza el conocimiento sobre el principal agente causal de la MNC en la región.

Conclusiones

La identificación molecular determinó que la mancha negra del cacao en Tabasco y el norte de Chiapas es causada por *Phytophthora tropicalis* y *Phytophthora palmivora*. Este resultado actualiza el estatus fitosanitario del cultivo en México y alerta sobre la presencia de *P. palmivora*, una especie de importancia cuarentenaria.

Referencias bibliográficas

Abad, Z. G.; Burgess, T. I.; Redford, A. J.; Bienapfl, J. C.; Srivastava, S.; Mathew, R.; Jennings, K. 2023. IDphy: An international online resource for molecular and morphological identification of *Phytophthora*. Plant Disease 107: 987–998. https://doi.org/10.1094/PDIS-02-22-0448-FE.

Ortiz-García, C. F. 1996. Etude de la diversité génétique de populations de *Phytophthora* pathogènes du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) et du cocotier (*Cocos nucifera* L.). Tesis doctoral. Université Paul Sabatier, Toulouse, France. 85 p.

Ploetz, R. C. 2016. The impact of diseases on cacao production: a global overview. In: Bailey, B. A.; Meinhardt, L. W. (eds.). Cacao diseases: a history of old enemies and new encounters. Springer, Cham. pp. 33–59. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2.

Ramos-Grajales, Y. K. 2017. Caracterización morfológica y molecular de especies de *Phytophthora* asociadas al cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sureste de México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Cárdenas, Tabasco, México. 96 p.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA]. 2016. Pudrición del cogollo, *Phytophthora palmivora* (E. J. Butler) E. J. Butler. Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Ficha Técnica No. 51. Ciudad de México. 29 p.

DIFERENCIACIÓN MORFOLÓGICA DE *Phytophthora tropicalis* Y *Phytophthora palmivora* EN CACAO DEL SURESTE DE MÉXICO

Carlos Fredy Ortiz-García[1], Marilyn Estefania Yzquierdo-Alvarez[1]* y Joaquín Alberto Rincón-Ramírez[1] Lorenzo Armando Aceves-Navarro[1] y Eder Ramos-Hernández[2]

[1]Posgrado de Ciencias Agrícolas en el Trópico. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. C.P. 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México.
[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Huimanguillo. C.P. 86400, Huimanguillo, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: yzquierdo.marilyn@colpos.mx

Palabras clave: *Oomiceto, esporangios, clamidosporas, pedicelo, diagnóstico.*

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de importancia económica y social en regiones tropicales. En México, Tabasco y Chiapas concentran la mayor superficie cultivada, por lo que los problemas fitosanitarios asociados a este cultivo tienen impacto directo sobre la producción regional. Entre las enfermedades más importantes se encuentra la mancha negra del cacao (MNC), causada por diferentes especies del género *Phytophthora* (Ploetz, 2016).

El género *Phytophthora*, como miembro de los oomicetos, se caracteriza por producir micelio cenocítico, estructuras asexuales como esporangios y clamidosporas, y estructuras sexuales como oosporas, las cuales son fundamentales para su caracterización taxonómica. Inicialmente, la identificación de especies de este género se basó en claves dicotómicas sustentadas en caracteres morfológicos, como el patrón de crecimiento de la colonia, la forma de los esporangios, el tipo de papila, la caducidad del esporangio, la longitud del pedicelo, la presencia de clamidosporas y el tipo de compatibilidad sexual (Erwin y Ribeiro, 1996; Abad et al., 2023).

Aunque la identificación molecular es actualmente indispensable para determinar especies de *Phytophthora*, la caracterización morfológica continúa siendo útil como herramienta rápida en laboratorios de diagnóstico fitopatológico, particularmente cuando las especies presentes en una región ya fueron confirmadas molecularmente.

En cacao de Tabasco y norte de Chiapas, *P. tropicalis* del clado 2b y *P. palmivora* del clado 4 causan la MNC (Yzquierdo-Alvarez et al., 2026, en prensa). Ambas especies pueden diferenciarse por un conjunto de rasgos morfológicos. *Phytophthora tropicalis* fue separada formalmente de *P. capsici* con base en diferencias morfológicas y fisiológicas (Aragaki y Uchida, 2001), mientras que *P. palmivora* presenta caracteres diagnósticos bien documentados para su reconocimiento morfológico (Erwin y Ribeiro, 1996; Abad et al., 2023).

El objetivo de este trabajo fue establecer las características morfológicas típicas de cepas de *P. tropicalis* y *P. palmivora* causantes de la mancha negra del cacao en plantaciones de Tabasco y norte de Chiapas, México.

Materiales y métodos

El muestreo se realizó en plantaciones de cacao de Tabasco y norte de Chiapas, México. En campo se recolectaron mazorcas con síntomas típicos de MNC, caracterizados por manchas circulares, firmes, de color café oscuro y borde definido. Las muestras se trasladaron al laboratorio de fitopatología del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, para el aislamiento de *Phytophthora*. Las mazorcas se lavaron con agua corriente para eliminar residuos superficiales. La desinfestación se realizó mediante aspersión de etanol al 96 % y flameado durante aproximadamente 30 s en campana de flujo laminar. A partir del margen de avance de la lesión, se obtuvieron fragmentos internos de tejido de aproximadamente 5 × 5 mm, los cuales se colocaron en medio V8 suplementado con natamicina y benomilo. Las placas se incubaron en oscuridad a 25 °C y las cepas obtenidas se purificaron por punta de hifa.

Para la caracterización morfológica se seleccionaron cepas representativas identificadas molecularmente. Las cepas se cultivaron durante cinco días en medio V8. De cada colonia se tomaron discos de 10 mm del margen de crecimiento activo, los cuales se sumergieron en agua destilada estéril e incubaron a 24 °C bajo luz natural durante 24 h para inducir la formación de esporangios y clamidosporas.
Las preparaciones semipermanentes se montaron en lactofenol y se observaron mediante microscopía óptica. Se registraron la morfología de colonia, la presencia de clamidosporas, la forma de los esporangios, el tipo de papila, la longitud del pedicelo, el patrón de ramificación del esporangióforo y la relación largo/ancho de los esporangios. Se realizaron 50 mediciones por estructura reproductiva y los caracteres observados se compararon con descripciones taxonómicas disponibles para especies de *Phytophthora* (Erwin y Ribeiro, 1996; Abad et al., 2023).

Resultados y discusión

Las cepas de ambas especies presentaron diferencias claras en la morfología de colonia en medio V8. Las cepas de *P. tropicalis* formaron colonias de tipo petaloide o crisantemo, con abundante micelio aéreo de aspecto algodonoso. En contraste, las cepas de *P. palmivora* mostraron colonias de tipo estrellado o radial, con borde regular, escaso micelio aéreo y crecimiento bajo, al ras del medio de cultivo (Figura 1 a y e). Estas diferencias morfoculturales coinciden con las descripciones para ambas especies y representan el primer criterio de separación entre ellas (Abad et al., 2023).

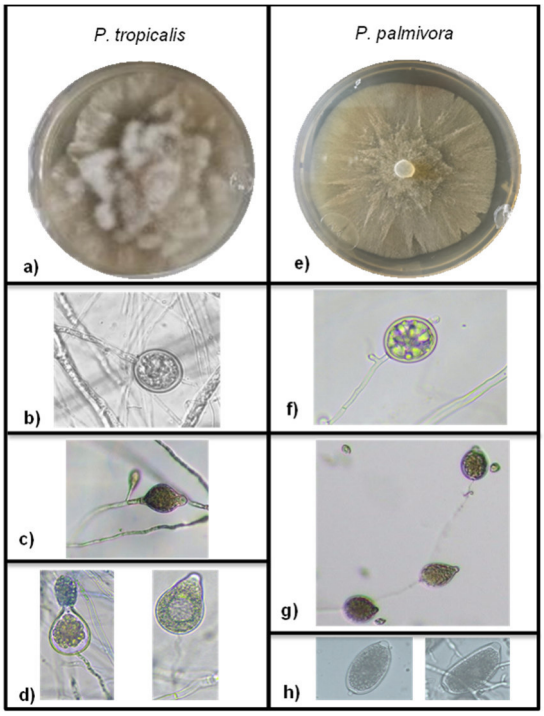


Figura 1. Morfología de la colonia de las cepas de *Phytophthora* en V8 y estructuras asexuales de *P. tropicalis* y *P. palmivora*. *P. tropicalis*. a) morfología de colonia (algodonosa), b) clamidosporas, c-d: esporangios con pedicelo largo de formas variables; *P. palmivora*: e) morfología de colonia (circular y baja), f) clamidosporas, g-h) esporangios con pedicelo corto dispuestos en simpodio simple.
En las características microscópicas, *P. tropicalis* presentó esporangios papilados, caducos, con pedicelo largo y formas variables, incluyendo ovoides, obovoides, elipsoidales y ligeramente distorsionadas (Figura 1 c-d). En contraste, *P. palmivora* presentó esporangios papilados, caducos, principalmente ovoides a elipsoidales, dispuestos en simpodio simple y con pedicelo corto (Figura 1

g-h). Ambas especies produjeron clamidosporas terminales e intercalares, globosas a subglobosas (Figura 1 b y f).

La presencia de esporangios caducos con pedicelo largo es un carácter importante para diferenciar *P. tropicalis* de *P. palmivora*, debido a que en esta última los esporangios se disponen en simpodio simple y presentan pedicelo corto (Erwin y Ribeiro, 1996; Abad et al., 2023). Ambas especies produjeron clamidosporas terminales e intercalares, globosas a subglobosas, por lo que esta característica debe interpretarse en conjunto con la morfología de colonia y la longitud del pedicelo (Aragaki y Uchida, 2001; Abad et al., 2023).

Conclusiones

Phytophthora tropicalis y *P. palmivora*, agentes causales de la mancha negra del cacao en Tabasco y norte de Chiapas, se pueden diferenciar fácilmente de forma morfológica revisando: 1) el patrón de crecimiento de la colonia, en V8, 2) la producción de esporangios en simpodio simple, y 3) la longitud del pedicelo.

Referencias bibliográficas

Abad, Z. G.; Burgess, T. I.; Redford, A. J.; Bienapfl, J. C.; Srivastava, S.; Mathew, R.; Jennings, K. 2023. IDphy: An international online resource for molecular and morphological identification of *Phytophthora*. Plant Disease 107: 987–998. https://doi.org/10.1094/PDIS-02-22-0448-FE.

Aragaki, M.; Uchida, J. Y. 2001. Morphological distinctions between *Phytophthora capsici* and *P. tropicalis* sp. nov. Mycologia 93: 137–145. https://doi.org/10.2307/3761611.

Erwin, D. C.; Ribeiro, O. K. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, USA. 562 p.

Ploetz, R. C. 2016. The impact of diseases on cacao production: a global overview. In: Bailey, B. A.; Meinhardt, L. W. (eds.). Cacao diseases: a history of old enemies and new encounters. Springer, Cham. pp. 33–59. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_2.

Yzquierdo-Alvarez, M. E.; Ortiz-García, C. F.; Rincón-Ramírez, J. A.; Aceves-Navarro, L. A.; Ramos-Hernández, E.; Palma-Cancino, P. J.; López-Buenfil, J. A. 2026. Multilocus evidence of *Phytophthora palmivora* and *P. tropicalis* as causal agents of cacao black pod disease in southern Mexico. Tropical Plant Pathology. En prensa.

EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE FOSFITO (Phi) SOBRE °BRIX EN VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR

Jazmin Lavin-Castañeda[1]*, Fernando Carlos Gómez-Merino[2], Libia Iris Trejo-Téllez[2] y Juan Valente Hidalgo-Contreras[1]

[1] Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94953. [2] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56264.
*Autor para correspondencia: lavin.jazmin@colpos.mx

Palabras clave*: Bioestimulación, calidad agroindustrial, sólidos solubles, saccharum spp., variedad.*

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es uno de los cultivos agrícolas más importantes a nivel mundial debido a su elevada capacidad fotosintética y a su capacidad para acumular sacarosa en el tallo, característica que sustenta su importancia para la producción de azúcar y otros productos agroindustriales (Solis-Palacios *et al*., 2021). El fosfito (Phi), análogo reducido del fosfato (Pi), ha despertado interés como bioestimulante inorgánico debido a su capacidad para favorecer el crecimiento, la productividad y la respuesta fisiológica de los cultivos frente a diferentes condiciones de estrés, siempre que exista un adecuado suministro de fosfato disponible para la planta (Trejo-Téllez *et al*., 2024). Asimismo, su eficacia depende de factores como la variedad, la dosis aplicada, las prácticas de manejo y el estado nutricional de fósforo de la planta (Gómez-Merino *et al*., 2022). Aunque el fosfito ha sido ampliamente estudiado como bioestimulante en diversos cultivos, la información sobre su efecto en la acumulación de sólidos solubles (°Brix) en variedades avanzadas de caña de azúcar bajo condiciones de campo aún es limitada. Generar este conocimiento contribuirá al desarrollo de estrategias de manejo orientadas a mejorar la acumulación de °Brix. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos aplicaciones foliares de fosfito sobre el contenido de °Brix en el tercio medio del tallo de 36 variedades avanzadas de caña de azúcar y la variedad comercial CP 72-2086.

Materiales y métodos

El estudio se realizó durante el ciclo de resoca correspondiente a la zafra 2019–2020 en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, en el municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Se evaluaron 37 variedades de caña de azúcar, integradas por 36 variedades avanzados y la variedad comercial CP 72-2086. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 × 37 (tratamientos × variedades), con tres repeticiones por combinación, en parcelas de 10 m de longitud, establecidas en cordón doble con 1.5 m entre surcos y dos metros de distancia entre parcelas.

Se evaluaron tres tratamientos foliares: i) agua de garrafón (testigo); ii) agua con el coadyuvante surfactante Inex®-A (Cosmocel®, México); y iii) 40 mM de ácido fosforoso (H_3PO_3, Sigma-Aldrich®) complementado con el mismo surfactante. En la primera aplicación se emplearon 40 mL de surfactante por 20 L de solución y, en la segunda, 25 mL, manteniendo constante la concentración de Phi. Las aplicaciones se realizaron vía foliar mediante aspersión manual con mochilas de 20 L, en horario matutino antes de la salida del sol, a los 10 meses después de la siembra y nuevamente 75 días después. A los 16 meses de edad se determinó el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en el tercio medio del tallo, utilizando tres tallos molederos seleccionados al azar por cada combinación tratamiento–variedad. El jugo se obtuvo mediante extracción del jugo con un punzometro y el contenido de °Brix se determinó utilizando un refractómetro de mano ATAGO MASTER-53T (ATAGO Co., Ltd., Tokio, Japón). Los datos del contenido de °Brix del tercio medio fueron analizados mediante un modelo lineal general considerando como efectos fijos el tratamiento

y la variedad. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey (α = 0.05). Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se verificaron mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente. Adicionalmente, se elaboraron mapas de calor para visualizar la variabilidad entre variedades y tratamientos. Todos los análisis se realizaron en R versión 4.4.2 (R Core Team, 2024).

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró que el tratamiento y la variedad afectaron significativamente el contenido de sólidos solubles (°Brix) del tercio medio del tallo (Cuadro 1). El tratamiento presentó un efecto significativo ($F = 3.13$; $p = 0.0453$), mientras que la variedad mostró un efecto altamente significativo ($F = 6.36$; $p < 0.0001$), evidenciando una amplia variabilidad genética en la acumulación de sólidos solubles entre los materiales evaluados. Con base en estos resultados, se realizó la comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para identificar las diferencias entre tratamientos.

Los resultados obtenidos coinciden con Abu-Ellail et al. (2021), quienes reportaron diferencias significativas en el contenido de °Brix entre variedades de caña de azúcar y entre condiciones de evaluación.

Cuadro 1. Análisis de varianza del contenido de sólidos solubles (°Brix) del tercio medio del tallo de caña de azúcar.

Fuente de variación	gl	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	2	26.96	13.48	3.13	0.0453 *
Variedad	36	987.30	27.43	6.36	<0.0001 ***
Error	294	1267.15	4.31	—	—
Total	332	2281.41	—	—	—

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$.
gl = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; F = estadístico F de Fisher; p = nivel de significancia asociado a la prueba F.

Comparación de medias entre tratamientos.

El efecto de los tratamientos sobre el contenido de °Brix mediante la prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1). La aplicación de 40 mM de fosfito (Phi) registró el mayor contenido promedio de sólidos solubles (23.42 °Brix), mientras que el tratamiento con agua más surfactante presentó el menor promedio (22.73 °Brix).

El tratamiento con agua mostró un comportamiento intermedio (23.02 °Brix), sin diferencias estadísticas respecto a los otros tratamientos. En conjunto, estos resultados indican que la aplicación de fosfito favoreció la acumulación de °Brix respecto al tratamiento con agua más surfactante.

El mayor contenido de °Brix observado con fosfito sugiere un efecto bioestimulante sobre la acumulación de sólidos solubles. Este resultado es congruente con Gómez-Merino et al. (2022), quienes señalan que el fosfito puede actuar como bioestimulante inorgánico cuando se aplica en dosis y momentos adecuados.

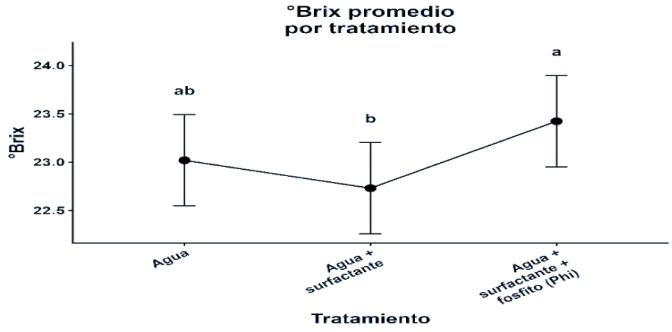


Figura 1. Contenido de sólidos solubles (°Brix) en el tercio medio del tallo de caña de azúcar en respuesta a tres tratamientos: agua, agua + surfactante y agua + surfactante + fosfito (Phi, 40 mM). Las barras representan el intervalo de confianza al 95 %. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey (α = 0.05).

Variabilidad del contenido de °Brix entre variedades. El contenido promedio de sólidos solubles (°Brix) mostró una amplia variación entre las variedades evaluadas (Figura 2), con valores comprendidos entre 19.22 y 27.50 °Brix, lo que coincide con el efecto altamente significativo detectado para el factor variedad en el análisis de varianza. Las variedades Mex 09-212 (27.50 °Brix), Mex 09-333 (25.83 °Brix), Mex 09-99 (25.56 °Brix), Mex 09-95 (25.11 °Brix) y Mex 09-217 (25.00 °Brix) presentaron los mayores contenidos de °Brix**.** En contraste, las variedades Mex 09-222 (19.22 °Brix), Mex 09-223 (20.44 °Brix), Mex 09-62 (20.78 °Brix), Mex 09-273 (20.78 °Brix) y Mex 09-290 (21.00 °Brix) presentaron los menores contenidos de °Brix**.** La variabilidad observada en el contenido de °Brix entre variedades coincide con Khan et al. (2021), quienes encontraron diferencias significativas entre variedades de caña de azúcar en el contenido de azúcar medido en °Brix.

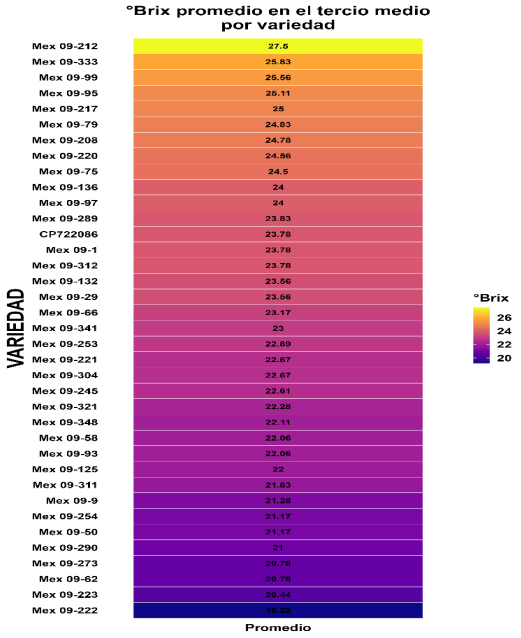


Figura 2. Contenido promedio de sólidos solubles (°Brix) en el tercio medio del tallo de 37 variedades de caña de azúcar. El mapa de calor muestra la variación del contenido promedio de °Brix entre variedades, donde los colores oscuros representan menores concentraciones de sólidos solubles y los colores claros mayores concentraciones.

Estos resultados evidencian una importante variabilidad entre variedades, lo que sugiere una influencia del componente genético en la acumulación de sólidos solubles (°Brix) en el tercio medio del tallo.

Respuesta diferencial de las variedades a los tratamientos

El mapa de calor mostró una respuesta diferencial de las variedades a los tratamientos evaluados (Figura 3). Entre las variedades evaluadas, Mex 09-221 incrementó su contenido de °Brix de 19.83 con agua a 25.33 °Brix con la aplicación de fosfito. De manera similar, Mex 09-220 aumentó de 22.83 a 25.67 °Brix, mientras que Mex 09-93 pasó de 19.83 con agua + surfactante a 24.17 °Brix con fosfito. En contraste, la variedad Mex 09-62 disminuyó de 22.67 a 17.67 °Brix, y Mex 09-222 presentó 23.67, 14.67 y 19.33 °Brix con agua, agua + surfactante y fosfito, respectivamente. Por su parte, Mex 09-

212 mantuvo contenidos elevados y estables en los tres tratamientos (27.50, 27.33 y 27.67 °Brix). La respuesta al fosfito fue dependiente de la variedad, ya que algunas variedades incrementaron su contenido de °Brix, mientras que otras presentaron cambios reducidos o disminuciones. Este comportamiento coincide con Sajid et al. (2023), quienes reportaron respuestas contrastantes entre variedades de caña de azúcar, y con Gómez-Merino et al. (2022), quienes señalan que la eficacia del fosfito depende de la interacción entre variedad, ambiente, prácticas de manejo y fuente de fosfito.

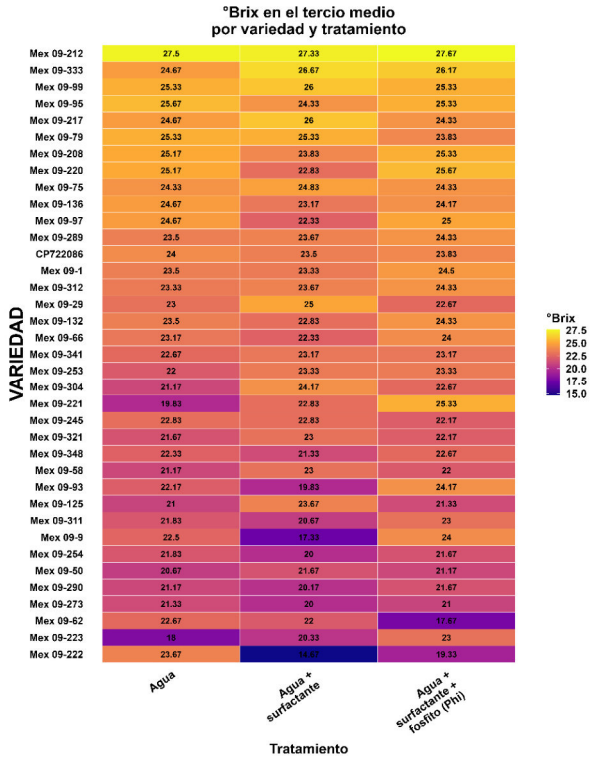


Figura 3. Contenido de sólidos solubles (°Brix) en el tercio medio del tallo de 37 variedades de caña de azúcar evaluadas bajo tres tratamientos: agua, agua + surfactante y agua + surfactante + fosfito (Phi, 40 mM). La escala de color representa el contenido de °Brix registrado en cada combinación variedad × tratamiento; los tonos oscuros indican menor contenido de °Brix y los tonos claros mayor contenido de °Brix.

Estos resultados evidencian que la respuesta al fosfito fue variable entre variedades, lo que sugiere que el efecto del bioestimulante depende de la variedad evaluada.

Conclusiones

La aplicación foliar de fosfito (40 mM) incrementó el contenido de °Brix del tercio medio del tallo respecto al tratamiento con agua + surfactante. Las variedades evaluadas presentaron diferencias significativas en la acumulación de °Brix, reflejando una amplia variabilidad entre variedades. La respuesta al fosfito fue dependiente de la variedad, ya que algunos materiales incrementaron su contenido de °Brix, mientras que otros presentaron cambios reducidos o disminuciones, evidenciando una respuesta diferencial entre variedades. Los resultados indican que el fosfito constituye una alternativa para favorecer el contenido de °Brix en variedades con alta capacidad de respuesta.

Referencias bibliográficas

Abu-Ellail, F. F. B., El-Taib, A. B. A., and Hefny, Y. A. M. (2021). Stability analysis and performance of promising sugarcane varieties for yield and quality traits. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 12(3), 623–636. https://doi.org/10.37992/2021.1203.088.

Gómez-Merino, F. C., Gómez-Trejo, L. F., Ruvalcaba-Ramírez, R., and Trejo-Téllez, L. I. (2022). Application of phosphite as a biostimulant in agriculture. En New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Sustainable Agriculture: Revisiting Green Chemicals (pp. 135–153). *Elsevier*. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85581-5.00002-1.

Khan, A., Wang, Z., Chen, Z., Bu, J., Adnan, M., and Zhang, M. (2021). Investigation of soil nutrients and associated rhizobacterial communities in different sugarcane genotypes in relation to sugar content. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 59. https://doi.org/10.1186/s40538-021-00244-5.

Sajid, M., Amjid, M., Munir, H., Ahmad, M., Zulfiqar, U., Ali, M. F., Abul Farah, M., Ahmed, M. A. A., and Artyszak, A. (2023). Comparative analysis of growth and physiological responses of sugarcane elite genotypes to water stress and sandy loam soils. *Plants*, 12(15), 2759. https://doi.org/10.3390/plants12152759.

Trejo-Téllez, L. I., Carbajal-Vázquez, V. H., Lavín-Castañeda, J., and Gómez-Merino, F. C. (2024). Phosphite as a sustainable and versatile alternative for biostimulation, biocontrol, and weed management in modern agriculture. *Processes*, 12(12), 2764. https://doi.org/10.3390/pr12122764.

LA APLICACIÓN FOLIAR DE FOSFITO AFECTA DIFERENCIALMENTE LAS CONCENTRACIONES DE CALCIO, MAGNESIO Y COBRE EN CAÑA DE AZÚCAR

Jazmin Lavin-Castañeda[1]*, Fernando Carlos Gómez-Merino[2] y Libia Iris Trejo-Téllez[2]

[1] Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94953. [2] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56264.
*Autor para correspondencia: lavin.jazmin@colpos.mx

Palabras clave: *Poaceae, Saccharum, bioestimulación inorgánica, nutrición mineral.*

Introducción

El fosfito (Phi) es una forma reducida del fósforo estructuralmente similar al fosfato (Pi), pero difiere de éste en su estado de oxidación y comportamiento metabólico dentro de la planta. Aunque puede ser absorbido eficientemente por hojas y raíces y transportarse a través del xilema y floema, el fosfito no puede sustituir al fosfato en la mayoría de las reacciones bioquímicas dependientes de fósforo, por lo que no constituye una fuente nutrimental directa de este elemento (Havlin y Schlegel, 2021; Li et al., 2025). No obstante, su elevada movilidad y estabilidad han favorecido su uso agrícola como bioestimulante y agente para el manejo de enfermedades, debido a los diversos efectos fisiológicos que puede inducir cuando se aplica en concentraciones adecuadas. Actualmente, el fosfito se utiliza en numerosos cultivos por su capacidad para modular procesos relacionados con el crecimiento, la respuesta al estrés y el estado nutrimental de las plantas. Sin embargo, la magnitud de estos efectos depende de múltiples factores, entre ellos la especie, el genotipo, el estado fisiológico de la planta, la dosis aplicada y las condiciones de cultivo. Diversos estudios han señalado que las respuestas favorables suelen observarse a bajas concentraciones, mientras que dosis elevadas pueden interferir con procesos relacionados con el metabolismo del fósforo y modificar la respuesta fisiológica de la planta (Havlin y Schlegel, 2021; Li et al., 2025).

En caña de azúcar, la información disponible sobre el efecto del fosfito en la nutrición mineral continúa siendo limitada, particularmente en materiales genéticos de nueva generación. Asimismo, se conoce poco acerca de cómo la aplicación de fosfito modifica la distribución de nutrimentos entre diferentes órganos de la planta y si dicha respuesta depende del genotipo. Esta información resulta relevante debido a que calcio (Ca), magnesio (Mg) y cobre (Cu) desempeñan funciones esenciales en procesos estructurales, fotosintéticos, enzimáticos y de señalización, por lo que variaciones en su concentración pueden reflejar cambios en el estado fisiológico de la planta.

La nutrición mineral constituye uno de los factores que más influyen en el crecimiento, desarrollo y productividad de la caña de azúcar, debido a que los nutrimentos participan en procesos metabólicos y fisiológicos esenciales. Sin embargo, la información sobre la dinámica de macro y micronutrimentos en este cultivo continúa siendo limitada, particularmente bajo el uso de bioestimulantes y en diferentes genotipos, lo que evidencia la necesidad de generar mayor conocimiento en esta área (Silva y Cruz, 2021).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de fosfito sobre la concentración de calcio, magnesio y cobre en hoja, vaina y raíz de dos variedades comerciales (CP 72-2086 y Mex 69-290), ampliamente utilizadas en el sector cañero mexicano, y una variedad de nueva generación (Mex 09-312), con el propósito de determinar si la respuesta nutrimental depende del órgano evaluado, la dosis aplicada y el genotipo.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, ubicado en el municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Se evaluaron tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp.): dos comerciales (CP 72-2086 y Mex 69-290) y una variedad de nueva generación

(Mex 09-312). Las plantas se establecieron bajo condiciones de invernadero en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 × 5 (variedad × dosis de fosfito), con cinco tratamientos foliares de fosfito (0, 50, 100, 150 y 200 mM) y siete repeticiones por tratamiento. Las aplicaciones iniciaron a los 30 días después de la siembra y se realizaron siete aspersiones foliares a intervalos de 10 días. Al finalizar el experimento, las plantas se separaron en hoja, vaina y raíz. Las muestras se secaron a 70 °C durante 48 h, se molieron y se sometieron a digestión ácida. Las concentraciones de calcio (Ca), magnesio (Mg) y cobre (Cu) se determinaron mediante espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES; Agilent 725-ES, Santa Bárbara, California, EE. UU.), de acuerdo con la metodología descrita por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999). Los datos se analizaron mediante un diseño factorial 3 × 3 × 5 (variedad × órgano × dosis). La significancia de los efectos principales y sus interacciones se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA). Cuando la interacción variedad × órgano × dosis fue significativa ($p \leq 0.05$), las comparaciones entre dosis se realizaron mediante la prueba de Dunnett utilizando el tratamiento 0 mM como testigo. Todos los análisis se realizaron en R versión 4.4.2 (R Core Team, 2024),

Resultados y discusión

La concentración de Ca respondió diferencialmente al fosfito en función de la variedad, el órgano y la dosis aplicada (Figura 1). En la variedad comercial CP 72-2086, el mayor efecto se observó en hoja, donde la concentración disminuyó de 5.42 a 2.70 g kg^{-1} con 200 mM de fosfito (50 % respecto al testigo), mientras que en raíz se redujo de 4.61 a 2.61 g kg^{-1} (43 %). En contraste, la variedad comercial Mex 69-290 presentó una respuesta intermedia, alcanzando en hoja su mayor concentración con 150 mM (4.09 g kg^{-1}), mientras que Mex 09-312, variedad de nueva generación, mantuvo concentraciones de Ca más estables e incluso incrementó el Ca en hoja de 3.93 a 4.26 g kg^{-1} (8 %) y en vaina de 3.58 a 4.10 g kg^{-1} (15 %) con 150 mM. Estos resultados indican que la respuesta del Ca al fosfito dependió del genotipo y de la dosis aplicada, siendo Mex 09-312 la variedad que conservó una distribución más estable de este nutrimento frente al incremento de la concentración de fosfito. De acuerdo con Li et al. (2025), el fosfito puede modificar procesos relacionados con la homeostasis y redistribución de nutrimentos; sin embargo, los resultados del presente estudio no permiten atribuir estos cambios a una mayor absorción de Ca. Asimismo, Havlin y Schlegel (2021) señalan que la respuesta al fosfito está influenciada por el genotipo, el estado fisiológico y la concentración aplicada, lo que coincide con el comportamiento diferencial observado entre las dos variedades comerciales y la variedad de nueva generación evaluadas.

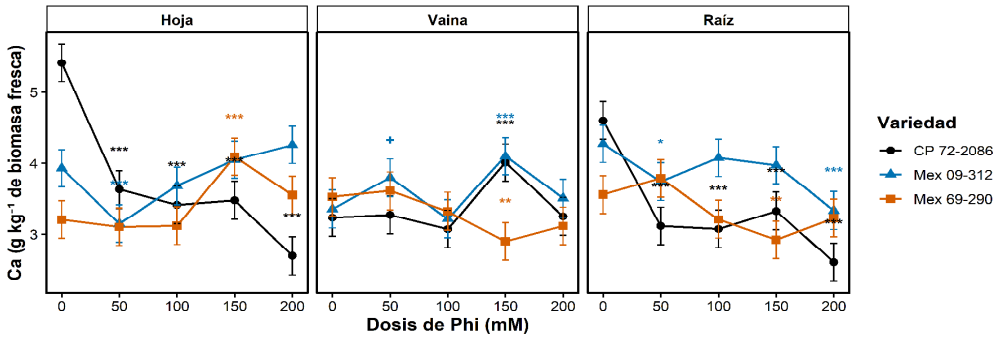


Figura 1. Concentración de Calcio (Ca) en hoja, vaina y raíz de tres variedades de caña de azúcar cultivadas en condiciones de invernadero y tratadas con diferentes dosis de fosfito (0, 50, 100, 150 y 200 mM). Los símbolos indican diferencias respecto al testigo (0 mM) según la prueba de Dunnett (+ $p \leq 0.10$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$).

La respuesta del Mg al fosfito dependió de la variedad, el órgano y la dosis aplicada (Figura 2). La mayor respuesta se observó en la variedad de nueva generación Mex 09-312, particularmente en vaina, donde la concentración aumentó de 2.96 a 4.11 g kg^{-1} con 50 mM y se mantuvo en 4.12 g

kg⁻¹ con 150 mM. En hoja, esta misma variedad alcanzó su mayor concentración con 200 mM (2.52 g kg⁻¹), mientras que en raíz presentó un incremento con 150 mM (1.90 g kg⁻¹) respecto al testigo (1.48 g kg⁻¹). En contraste, CP 72-2086 mostró una disminución del Mg tanto en hoja (1.54 a 1.37 g kg⁻¹) como en raíz (1.44 a 1.06 g kg⁻¹) al incrementar la dosis de fosfito, mientras que Mex 69-290 presentó una respuesta intermedia, caracterizada por un incremento en hoja con 150 mM (2.10 g kg⁻¹) y una disminución progresiva en vaina hasta 1.94 g kg⁻¹ con 200 mM. En conjunto, estos resultados indican que la respuesta del Mg al fosfito fue dependiente del genotipo y del órgano evaluado. Considerando que el Mg desempeña un papel central en la fotosíntesis y en la activación enzimática, las variaciones observadas podrían reflejar ajustes en la homeostasis nutrimental inducidos por el fosfito, como lo señalan Li et al. (2025), aunque el presente estudio no permite atribuir estos cambios a una mayor absorción del nutrimento.

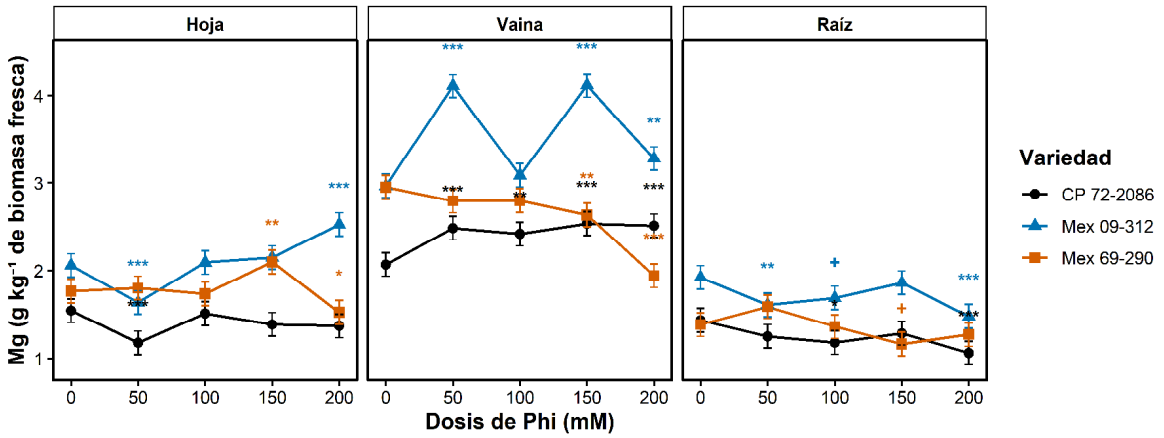


Figura 2. Concentración de Magnesio (Mg) en hoja, vaina y raíz de tres variedades de caña de azúcar cultivadas en condiciones de invernadero y tratadas con diferentes dosis de fosfito (0, 50, 100, 150 y 200 mM). Los símbolos indican diferencias respecto al testigo (0 mM) según la prueba de Dunnett (+ $p \leq 0.10$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$).

La respuesta del Cu al fosfito dependió de la variedad y del órgano evaluado (Figura 3). En hoja, las concentraciones permanecieron relativamente estables en las tres variedades. En vaina, la mayor respuesta se observó en la variedad de nueva generación Mex 09-312, donde la concentración de Cu aumentó de 4.58 a 15.80 mg kg⁻¹ con 50 mM, mientras que Mex 69-290 presentó un incremento moderado (3.38 a 5.24 mg kg⁻¹) y CP 72-2086 disminuyó de 4.81 a 3.02 mg kg⁻¹ con 100 mM. En raíz, las variedades comerciales redujeron la concentración de Cu conforme aumentó la dosis de fosfito, alcanzando 7.65 mg kg⁻¹ en CP 72-2086 y 8.63 mg kg⁻¹ en Mex 69-290, mientras que Mex 09-312 incrementó su concentración hasta 17.60 mg kg⁻¹ con 50 mM. Además de participar en la autorregulación y en el transporte fotosintético de electrones, el Cu presenta una movilidad relativamente limitada dentro de la planta. En caña de azúcar se ha observado que incrementos en la concentración radicular de este nutrimento no siempre se acompañan de una mayor translocación hacia la parte aérea (Silva y Cruz, 2021). En este contexto, la respuesta observada en la vaina de Mex 09-312 sugiere que la aplicación de fosfito pudo estar asociada con cambios en la regulación o redistribución interna del Cu. No obstante, debido a que en este estudio no se cuantificó el fosfito ni se evaluaron los procesos de transporte, estos resultados deben interpretarse como cambios en la concentración estructural del nutrimento y no como evidencia directa de una mayor absorción o translocación. Este comportamiento coincide con lo señalado por Li et al. (2025), quienes indican que el fosfito puede modificar la dinámica nutrimental de manera dependiente del genotipo.

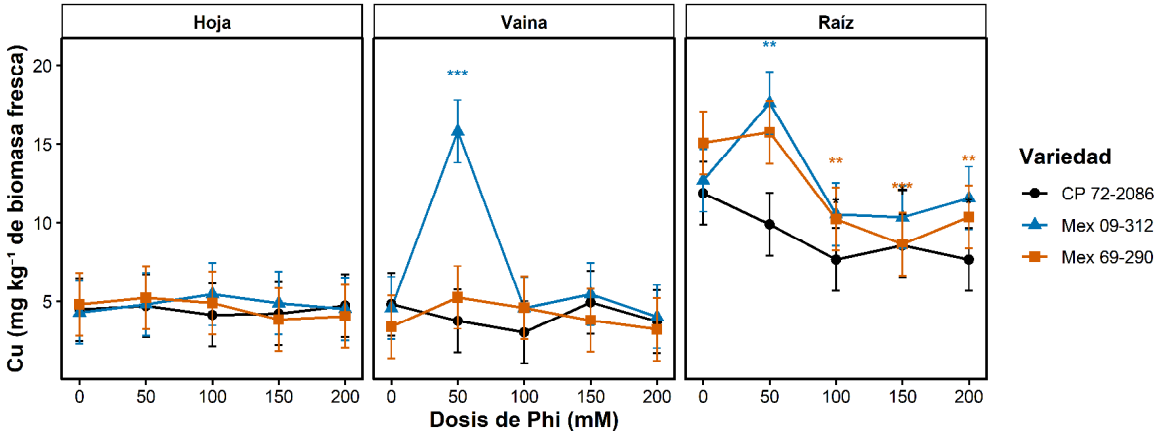


Figura 3. Concentración de Cobre (Cu) en hoja, vaina y raíz de tres variedades de caña de azúcar cultivadas en condiciones de invernadero y tratadas con diferentes dosis de fosfito (0, 50, 100, 150 y 200 mM). Los símbolos indican diferencias respecto al testigo (0 mM) según la prueba de Dunnett (+ $p \leq 0.10$; * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$).

Los cambios observados en Ca y Mg podrían relacionarse con la interacción del fosfito con procesos de absorción y transporte nutrimental, ya que se ha señalado que este compuesto puede modificar procesos relacionados con la homeostasis, transporte y redistribución de nutrimentos minerales.
Los resultados obtenidos muestran que la respuesta al fosfito dependió de la dosis aplicada, ya que las concentraciones intermedias promovieron cambios más favorables en comparación con las dosis más elevadas. Este comportamiento coincide con lo descrito por Havlin y Schlegel (2021), quienes señalan que la respuesta de las plantas al fosfito es altamente variable y depende de múltiples factores, entre ellos la concentración aplicada, el estado nutrimental y las características fisiológicas del cultivo. En este contexto, las diferencias observadas entre tratamientos sugieren una respuesta fisiológica dependiente de la dosis más que un efecto uniforme del fosfito sobre la planta.

Conclusiones

La aplicación foliar de fosfito modificó la concentración de Ca, Mg y Cu en hoja, vaina y raíz de caña de azúcar, con respuestas dependientes del genotipo, del órgano y de la dosis aplicada. Las respuestas más favorables se observaron principalmente con 50–150 mM, destacando Mex 09-312 por incrementar hasta 38.9 % la concentración de Mg en vaina y 245.1 % la de Cu en vaina, mientras que el mayor incremento de Ca (27.6 %) se registró en hoja de Mex 69-290 con 150 mM. En contraste, la dosis de 200 mM ocasionó reducciones de hasta 50.2 % en Ca y 34.1 % en Mg en las variedades comerciales, evidenciando que dosis elevadas pueden afectar negativamente el estado nutrimental. Estos resultados indican que la eficacia del fosfito como bioestimulante depende de la dosis aplicada y del material genético, por lo que su uso debe ajustarse de manera específica para cada variedad.
El Mg y el Cu son absorbidos principalmente por la raíz; sin embargo, difieren en su movilidad dentro de la planta. Mientras que el Mg presenta una elevada redistribución vía floema, el Cu posee una movilidad más restringida, por lo que las diferencias observadas en su concentración radicular podrían reflejar cambios en los procesos de transporte nutrimental inducidos por el fosfito, más que un incremento directo en su absorción.

Referencias bibliográficas

Alcántar González, G. and Sandoval Villa, M., (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal: guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Chapingo, México, Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo. 156 p.

Havlin, J. L., and Schlegel, A.J. (2021). Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide. Soil Systems, 5(3), 52. https://doi.org/10.3390/soilsystems5030052.

Li, Z., Kong, X., Zhang, Z., Tang, F., Wang, M., Zhao, Y., and Shi, F. (2025). The functional mechanisms of phosphite and its applications in crop plants. Frontiers in plant science, 16, 1538596. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1538596.

Silva, L. D. R., Carvalho, A. J., Sousa, A. B., Castro Júnior, W. L. C., and Santos, L. N. S. (2021). Micronutrient nutrition in sugarcane: A brief review. Scientia Agraria Paranaensis, 20(4), 214–218. https://doi.org/10.18188/sap.v20i3.28188.

IDONEIDAD CLIMÁTICA ACTUAL Y FUTURA PARA EL CULTIVO DE *Mangifera indica* L. EN MÉXICO BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Lucas Alejandro Fadda[1]*, Sergio Salgado-Velázquez[2], Elizabeth León-García[3], Héctor Cabrera-Mireles[1] y Jorge Gustavo Rodríguez-Escobar[1].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Cotaxtla, km 34.5, Carretera Veracruz-Córdoba, 94270 Veracruz, México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Huimanguillo, km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, 86400 Tabasco, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental La Posta, km 22.5 Carretera Veracruz-Córdoba, 94277 Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: fadda.lucas@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Agricultura tropical, distribución potencial, mango, modelado.*

Introducción

El cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) constituye uno de los frutales tropicales de mayor importancia económica a nivel mundial debido a su amplia distribución, elevado valor comercial y creciente demanda en los mercados nacionales e internacionales. México se ubica entre los principales productores y exportadores de esta fruta, concentrando importantes superficies cultivadas en regiones tropicales y subtropicales del país, donde el clima determina en gran medida el establecimiento, crecimiento y productividad del cultivo.
El desarrollo del mango depende estrechamente de las condiciones ambientales, particularmente de la temperatura y la precipitación, las cuales regulan procesos fisiológicos como la brotación, la floración, el cuajado de frutos y su desarrollo. En consecuencia, variaciones en estos factores pueden modificar la aptitud climática de las regiones productoras y afectar el potencial de establecimiento y rendimiento del cultivo.
Las modificaciones proyectadas en los patrones de temperatura y precipitación derivadas del cambio climático podrían alterar la distribución de las áreas ambientalmente favorables para el cultivo, afectando la productividad y la planificación agrícola. En este contexto, los modelos de nicho ecológico (ENM) y distribución de especies (SDM) constituyen herramientas útiles para estimar la idoneidad climática actual y proyectar sus posibles cambios bajo escenarios futuros (Fadda *et al*., 2026). Entre estos enfoques, los algoritmos basados en el espacio ambiental, como los elipsoides de volumen mínimo implementados en ntbox, permiten caracterizar las condiciones ambientales asociadas a registros de presencia, lo cual resulta adecuado para caracterizar especies de interés con información espacial disponible (Osorio-Olvera *et al*., 2020).
El objetivo del presente trabajo fue evaluar los cambios en la idoneidad climática del cultivo de mango (*Mangifera indica*) en México bajo escenarios climáticos actuales y futuros, mediante modelos de idoneidad climática basados en el algoritmo de elipsoides de volumen mínimo implementado en el paquete ntbox.

Materiales y métodos

Se recopilaron registros geográficos de *Mangifera indica* provenientes de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF) e iNaturalist. Los registros fueron sometidos a un proceso de depuración que incluyó la eliminación de duplicados, coordenadas erróneas, registros sin información geográfica y observaciones localizadas en ambientes incompatibles con la distribución del cultivo. Posteriormente, se aplicó un filtrado espacial utilizando el paquete spThin en R (R Development Core Team, 2020), conservando un único registro por píxel de resolución climática (~1 km) para reducir el

sesgo de muestreo y minimizar la autocorrelación espacial. El área de calibración (M) se definió como el territorio continental de México. Debido a que el mango es un cultivo ampliamente introducido y manejado en el país desde hace varios siglos, esta delimitación representa una aproximación razonable al área accesible para el cultivo (Barve *et al*., 2011), al incluir el espacio geográfico donde ha sido cultivado bajo las condiciones ambientales presentes en México. Esta delimitación permitió caracterizar la relación entre la presencia del cultivo y el gradiente climático nacional, manteniendo la escala espacial de inferencia acorde con el objetivo de evaluar cambios en la idoneidad climática del mango dentro del país.

Los modelos de idoneidad climática para las condiciones actuales y futuras fueron construidos mediante el algoritmo de elipsoides de volumen mínimo implementado en el paquete ntbox en R (Osorio-Olvera *et al*., 2020), utilizando variables bioclimáticas CHELSA correspondientes a los periodos 1970–2000 y 2040–2070 (SSP3-7.0; escenario de emisiones altas), respectivamente, con una resolución espacial de 30 segundos (aproximadamente 1 km²; Karger *et al*., 2019). Antes del modelado se realizó un análisis de colinealidad entre variables mediante correlación de Pearson, utilizando como criterio de exclusión valores de $|r| \geq 0.85$, con el objetivo de eliminar predictores altamente correlacionados. Para la calibración se emplearon 10 000 puntos de fondo y una partición aleatoria de los registros, utilizando 70 % de los datos para entrenamiento y 30 % para validación.

Para cada periodo temporal, el modelo final se obtuvo mediante la integración de los dos modelos con mayor consistencia, seleccionados con base en la significancia de la prueba de ROC parcial (95%; 1000 iteraciones con 50% de los datos para bootstrap), una tasa de omisión ≤ 0.05, la prevalencia ambiental y la estabilidad de la predicción. Posteriormente, los modelos seleccionados fueron combinados mediante álgebra de mapas en ArcGIS para generar mapas consenso de idoneidad climática correspondientes a las condiciones actuales y futuras.

Los cambios en la idoneidad climática fueron estimados mediante álgebra de mapas, aplicando una resta entre el modelo consenso actual y el modelo consenso futuro (Actual − Futuro). Valores inferiores a −0.15 indicaron incrementos en la idoneidad climática bajo escenarios futuros, mientras que valores superiores a 0.15 representaron disminuciones en la idoneidad climática. Los valores comprendidos entre −0.15 y 0.15 correspondieron a cambios menores en la idoneidad ambiental.

Adicionalmente, se generó un mapa independiente de estabilidad climática funcional mediante una operación condicional de álgebra de mapas. Este análisis tuvo como objetivo identificar áreas donde las condiciones climáticas favorables permanecen entre ambos periodos, evitando la clasificación como estables de aquellas zonas donde una baja variación entre escenarios responde únicamente a valores reducidos o nulos de idoneidad ambiental. Para ello, se consideraron únicamente aquellas áreas con valores de idoneidad ≥ 0.25 tanto en el escenario actual como en el futuro. Este procedimiento permitió identificar zonas donde el mango mantiene condiciones climáticas adecuadas bajo escenarios futuros.

Resultados y discusión

Los modelos consenso identificaron como principales áreas de alta idoneidad climática las regiones tropicales del Pacífico, Golfo de México y Península de Yucatán, coincidiendo espacialmente con las principales zonas productoras del país (Figura 1). Esta distribución mostró una alta concordancia con las principales entidades productoras de mango reportadas para 2024 (SIAP; https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/), particularmente en Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Veracruz. Esta correspondencia aporta evidencia de la consistencia espacial del modelo para representar regiones con condiciones climáticas favorables para el cultivo.

Bajo el escenario climático futuro se observaron modificaciones en la distribución espacial de la idoneidad ambiental, evidenciando respuestas heterogéneas frente al cambio climático. Estos resultados sugieren que el cambio climático no implicaría únicamente pérdida de áreas favorables, sino también modificaciones espaciales en la distribución potencial del cultivo.

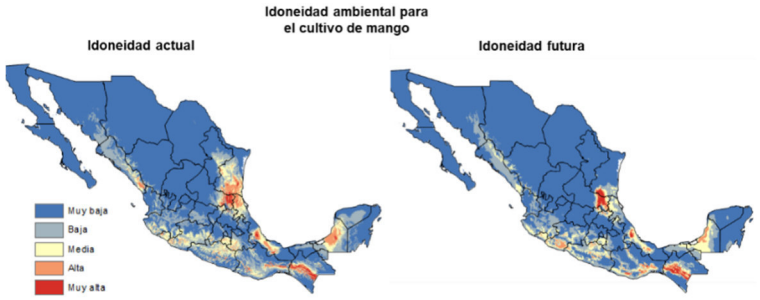


Figura 1. Idoneidad climática actual y futura, para el cultivo de mango en México.

El análisis de diferencias entre escenarios mostró áreas con incremento y disminución de la idoneidad climática, indicando que los efectos proyectados no serían uniformes a escala nacional. Se identificaron 261 614 km² con incremento de la idoneidad climática, mientras que 480 287 km² presentaron disminución de la idoneidad ambiental (Cuadro 1). Estos resultados sugieren que algunas regiones podrían presentar condiciones climáticas potencialmente más favorables para el cultivo, mientras que otras experimentarían una reducción de su aptitud climática bajo escenarios futuros (Figura 2).

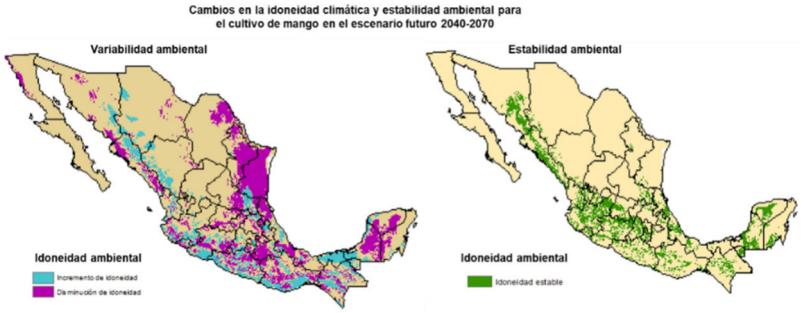


Figura 2. Cambios proyectados en la idoneidad climática y estabilidad climática funcional para el mango en México bajo el escenario 2040–2070.

De manera independiente, el análisis de estabilidad climática funcional permitió identificar 326 484 km² donde las condiciones climáticas favorables se mantienen entre el periodo actual y el escenario futuro (Figura 2). Estas áreas representan regiones donde la idoneidad climática del cultivo presenta mayor persistencia bajo escenarios futuros, constituyendo zonas de interés para estrategias de adaptación y planificación agrícola.

Cuadro 1. Cambios espaciales proyectados en la idoneidad climática para *Mangifera indica* en México.

Categoría	**Área (km²)**
Incremento de la idoneidad climática	261 614
Estabilidad climática funcional	326 484
Disminución de la idoneidad climática	480 287

Los resultados obtenidos proporcionan una primera aproximación espacial sobre cómo el cambio climático podría modificar la distribución de las áreas ambientalmente favorables para el cultivo de mango en México. La identificación de regiones con incremento, disminución y persistencia de la idoneidad climática constituye una herramienta útil para orientar la evaluación y selección de materiales genéticos con características agronómicas sobresalientes bajo diferentes escenarios

ambientales. En este sentido, la integración de la información climática con la caracterización agronómica y poscosecha de nuevas variedades permitirá identificar materiales con mayor potencial de adaptación a los distintos agroecosistemas del país. Asimismo, estos resultados pueden contribuir al diseño de estrategias de manejo, establecimiento de nuevas zonas productivas y planificación del cultivo frente a escenarios futuros de cambio climático.

Conclusiones

Los modelos de distribución permitieron identificar las áreas con mayor idoneidad climática para el cultivo de mango en México y estimar sus posibles modificaciones bajo escenarios futuros de cambio climático. Aunque se proyectan regiones con disminución de la idoneidad climática, una superficie importante mantendría condiciones ambientales favorables para el cultivo. La integración de modelos consenso y el análisis de estabilidad climática funcional permitió identificar regiones donde las condiciones climáticas presentan mayor persistencia, proporcionando información útil para la planeación agrícola, la evaluación de riesgos y el diseño de estrategias de adaptación frente al cambio climático. La incorporación de estos enfoques espaciales dentro de programas de innovación varietal representa una estrategia para fortalecer la selección de materiales de mango con mayor potencial de adaptación, considerando la interacción entre genotipo, ambiente y cambio climático.

Agradecimientos y fuente financiadora

Este trabajo fue financiado por el proyecto “Caracterización poscosecha de nuevas variedades de mango de diferentes agroecosistemas de México con características agronómicas sobresalientes resilientes al cambio climático”, aprobado en el marco de la Convocatoria INIFAP 2024, con número de proyecto 12391936918.

Referencias bibliográficas

GBIF.org (13 July 2026) GBIF Occurrence Download https://doi.org/10.15468/dl.nhrwe2.

Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Peterson, A. T., Soberón, J., & Villalobos, F. (2011). The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, *222*(11), 1810–1819. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.02.011.

Fadda, L. A., Lasa-covarrubias, R., Osorio-olvera, L., & Murúa, M. G. (2026). *Applications of ecological niche and species distribution models in agricultural , livestock , and forestry systems : A comprehensive review*. *231*. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104542.

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R.W. Zimmermann, N. E., Linder, P., & Kessler, M. (2019). Climatologies at high resolution for the earth’s land surface areas. *Scientific Data*, *4*. https://doi.org/10.1594/WDCC/CHELSA.

Osorio-Olvera, L., Lira-Noriega, A., Soberón, J., Peterson, A. T., Falconi, M., Contreras-Díaz, R. G., Martínez-Meyer, E., Barve, V., & Barve, N. (2020). ntbox: An r package with graphical user interface for modelling and evaluating multidimensional ecological niches. *Methods in Ecology and Evolution*, *11*. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13452.

ESTUDIO DE ADOPCIÓN DE TRES TECNOLOGÍAS ESTABLECIDAS EN SISTEMAS DE AGRICULTURA EN PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN AGRICULTORES DEL ESTADO DE CHIAPAS.

Eileen Salinas-Cruz[1]*, Carlos Alberto Martínez-Márquez[2], Gerardo Colin-Garcia[1], Osias Ruiz-Álvarez[1], Alma Vargas-de la Mora[1] y Walter López-Báez[1]

[1]CECECH, [2]El Palmar INIFAP.
*Autor para correspondencia: salinas.eileen@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Adopción, tecnología, maíz.*

Introducción

La importancia de medir la adopción de innovaciones o tecnologías a productores es garantizar una implementación exitosa e identificar áreas de mejora en sus sistemas de producción. El objetivo de establecer un mecanismo de medición para establecer el nivel de adopción permitirá por un lado establecer si los procesos que se siguieron para implementación fueron los adecuados y, por otro lado, si existe mejoras en los sistemas de producción, lo cual podría llevar a disminuir problemas y obtener ganancias.
Algunos autores refieren a que la tecnología afecta positivamente a la productividad y a la competitividad, lo cual implica la importancia de medir la adopción ya que podría impulsar el ritmo de crecimiento económico (Rosas- Leutenegger y Villasana – López, 2022), y no solo el aspecto de indicadores económicos, también el compromiso con la sostenibilidad, el adoptar tecnologías suma importancia ya que no solamente debe de determinarse en el proceso de producción si no el abordar temas como el cambio climático
Se analiza la adopción con los productores participantes en la parte agrícola y en la parte de ganadería, en ambos casos se analizan tres innovaciones en agricultura (subsoleo, aplicación de cal dolomítica y cultivos de cobertura).

Materiales y métodos

Para el proceso del estudio de adopción se elaboró una encuesta en ella se establecen los criterios que definirán el grado de adopción de las diferentes innovaciones implementadas en el desarrollo del proyecto.
En la parte agrícola se determinaron como tecnologías o innovaciones el subsuelo, la aplicación de cal dolomítica y el uso de cultivos de cobertura.
La información se recabo en campo a los productores participantes dentro del proyecto, con una muestra en agricultura de 17 encuestas, se elaboró una base de datos la cual permitió analizar la información obtenida en campo.

Resultados y discusión

Adopción de tecnología agrícola. El 82.3% de los encuestados manifestó interés en participar con alguna tecnología, el 11.7% señaló no estar interesado y el 5.8% no respondió. Entre las tecnologías más mencionadas destacan el cultivo de cobertura, la cal dolomítica, los sistemas agroforestales y aquellas orientadas a la mejora del suelo y la compatibilidad con el medio ambiente.
El 70.5% indicó haber utilizado previamente alguna tecnología o estrategia distinta a las propuestas en el proyecto, tales como: uso de agroquímicos, tratamiento de semillas, abonos orgánicos, fertilizantes, bioles, siembra de plantas, curvas a nivel y composta. El tiempo que llevan utilizando estas prácticas varía de 1 a 18 años, mientras que el 29.4% no reportó el uso de otras tecnologías.
El 88.2% identificó problemas para el buen desarrollo de las tecnologías, entre los que se incluyen: falta de conocimiento, control de malezas agresivas, escasez de lluvias, plagas, tamaño reducido de los terrenos, insuficiencia de tiempo para prácticas (subsoleo), falta de agua, aparición de huitlacoche, características del terreno, limitaciones económicas, ausencia de capacitación,

dificultades para adoptar nuevas prácticas (ej. dejar la quema), falta de seguimiento por temor a que no funcionen, y el hecho de que el terreno no sea de su propiedad. El 11.7% no reportó limitantes.
El subsoleo fue la tecnología mejor valorada, con una media de 4.82 y una desviación estándar de 0.39, lo que indica alta percepción de importancia y baja dispersión (Cuadro 1). Sin embargo, el análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas entre las tres tecnologías evaluadas (p = 0.3679, Cuadro 2), lo que sugiere que, en general, todas son consideradas importantes (Figura 1).

Cuadro 3 análisis descriptivo agrícolas.

Tecnología	Media	Mediana	DesvEst
Subsoleo	4.82	5	0.393
Cal Dolomítica	4.59	5	0.712
Cultivo Cobertura	4.76	5	0.437

Cuadro 4 prueba de Friedman.

chi-squared	df	p-value
2	2	0.3679

.

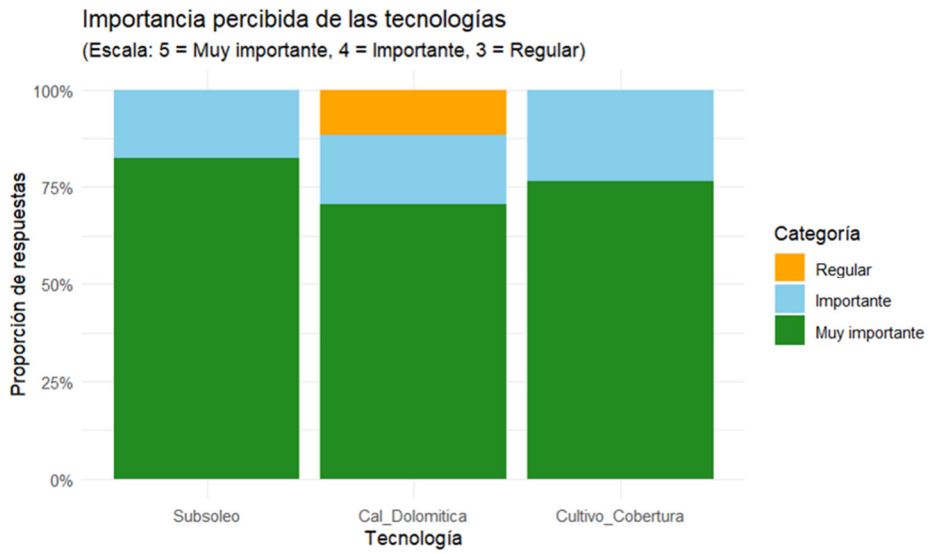


Figura 2. Importancia de las tecnologías (agrícola).

El análisis de ranking reveló que el subsoleo fue la opción más preferida, siendo colocado en primer lugar por el 76% de los encuestados. La cal dolomítica y el cultivo de cobertura se distribuyeron entre segundo y tercer lugar con resultados muy similares (Cuadro 3). Asimismo, el análisis de medias y medianas confirma que el subsoleo se percibe como la primera opción, seguido por el cultivo de cobertura y, en último lugar, la cal dolomítica (Cuadro 4). Lo cual sugiere que los encuestados sí lograron diferenciar entre las tecnologías al momento de priorizarlas.

Cuadro 5 Ranking de mención (agrícola).

Tecnología	1° lugar	2° lugar	3° lugar
Subsoleo	13	2	2
Cal Dolomítica	2	7	8
Cultivo Cobertura	2	8	7

Cuadro 6 Media y mediana del ranking (agrícola).

	Media	Mediana
Subsoleo	1.35	1
Cal_Dolomítica	2.35	2
Cultivo_Cobertura	2.29	2

Conclusiones

Existe alto interés en la adopción de nuevas tecnologías, reflejado en más del 80% de los encuestados dispuestos a participar en iniciativas de innovación. Sin embargo, existen limitantes estructurales y contextuales que dificultan el aprovechamiento pleno de las tecnologías. Destacan la falta de conocimiento técnico, escasez de lluvias, presencia de plagas, limitaciones económicas y tenencia de la tierra, falta de seguimiento por temor a que no funcionen entre otros. El subsoleo fue la práctica mejor valorada y posicionada, seguido del cultivo de cobertura y la cal dolomítica. Los productores establecen prioridades prácticas al momento de elegir qué tecnologías implementar.
La adopción tecnológica en la región es viable y cuenta con una base social favorable, pero requiere estrategias diferenciadas para superar limitantes específicas de cada sector productivo. La consolidación del proyecto deberá orientarse a fortalecer capacidades locales, asegurar recursos complementarios y fomentar la innovación adaptada a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de la Frailesca y otras regiones de Chiapas.

Agradecimientos: a The Nature Conservancy por el financiamiento para la realización del proyecto.

Referencias bibliográficas

Pérez- Fernández, A., Caamal - Cauich, I., Pat – Fernández, VG., Martinez – Luis, D. y Reza – Santiago, J. 2019. Influencia de adopción de tecnologías y la mano de obra en ka eficiencia productiva en el sector agrícola de México, 1979 – 2014. Revista Acta Universitaria, vol. 29: 1 – 15.

Rosas – Leutenegger, M y Villasana – López, P. 2022. Adopción de tecnologías en sistemas de producción agroalimentario: una revisión de literatura. Revista RIVAR, vol. 9 (26): 177 -190

Rajnish Rakholia, Mitul Prajapati, Manan Shah y Ja tin derkumar R. Saini. 2024. Adopción de tecnologías emergentes para la agricultura sostenible en la india: un estudio piloto. Revista de investigación agrícola y alimentaria. Volumen 17: 1-9.

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE CAFÉ (*COFFEA ARABICA* L.) EN LA ZONA CAFETALERA DEL ESTADO DE COLIMA, MÉXICO.

Nayeli Sarahí Quiñones-Islas[1]*, Gabriela Ramírez-Ojeda[2], Sergio Santiago Herrera-Gómez[1], Raquel Roque-Ruvalcaba[3], Oscar Martín Antúnez-Ocampo[4], Juan Francisco Caballero-Pérez[5] y Rosalío López-Morgado[6]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Tecomán. Km 35 Carretera Colima-Manzanillo, C.P. 28100, Tecomán, Colima, México. [2]INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Km 8 Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, C.P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. [3]INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Km. 6 Carretera Internacional México – Nogales entronque Santiago Ixcuintla, Nayarit. México. [4]INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Iguala. Carr. Iguala-Tuxpan, km 2.5. CP. 40000. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. [5]INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Km 38 Carretera Tapachula-Cacahoatán, C.P. 30780, Tuxtla Chico, Chiapas, México. [6]INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Km 34.5 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94270, Medellín de Bravo, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: quinones.nayeli@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Calidad, postcosecha, nutricional, beneficiado café*

Introducción

Después del petróleo, el café es el producto básico con mayor transacción internacional en el mundo (FAO, 2014); y la segunda bebida más consumida en el mundo después del agua, se estima que a nivel mundial se consumen 2,250 millones de tazas al día. Un mexicano consume alrededor de 1.6 Kg de café al año y los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca destacan como principales productores con el 90 % de la producción nacional.

La producción de café de calidad ha recibido recientemente la atención, debido a que ésta se encuentra definida por su perfil de sabor, cuerpo y acidez en taza y su diferenciación (Borrella *et al.*, 2015). Sin embargo, números factores afectan su calidad, incluída las condiciones climáticas, madurez plena a cosecha, procesamiento del grano (fermentación, lavado, secado, almacenamiento, tostado y preparación de bebida), manejo agrícola y atributos genéticos de los cultivares (IICA y CIATEJ, 2016). Por lo que la resiliencia del cultivo en un entorno cambiante es determinante para su productividad, así como la preservacion de la calidad, que es igualmente crucial para la sostenibilidad económica (Ponte, 2002).

En México, el café (*Coffea arabica* L.) es considerado como uno de los cultivos de mayor importancia económica y social, ya que involucra a más de 500 mil productores, en su mayoría pequeños productores e integrantes de comunidades indígenas localizadas en las zonas montañosas del centro y sureste del país. En estas regiones, la producción y comercialización del grano de café constituye una de las principales fuentes de ingresos y un elemento fundamental para el sustento de las familias productoras (Gasperín-García *et al*. 2023).

En el estado de Colima, la cafeticultura constituye una actividad agrícola de importancia económica, social y ambiental, principalmente en los municipios de Comala, Minatitlán y Cuauhtémoc, donde las condiciones de altitud, clima y precipitación favorecen la producción de *Coffea arabica* L. El cultivo se desarrolla predominantemente en sistemas agroforestales empleando prácticas agroecológicas manejados por pequeños productores, los cuales contribuyen a la conservación del suelo, la biodiversidad y los recursos hídricos. No obstante, la productividad del cultivo enfrenta limitantes asociadas al envejecimiento de las plantaciones, la incidencia de enfermedades como la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y los efectos de la variabilidad climática, lo que hace necesario evaluar variedades con mayor productividad, calidad y adaptación a las condiciones agroecológicas de la región.

En este contexto, la evaluación de variedades resistentes es fundamental para identificar materiales con alto potencial productivo y atributos de calidad adaptados a las condiciones agroecológicas de las zonas cafetaleras del estado de Colima. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de los granos de café de la variedad Oro Azteca, cultivada en el municipio de Comala, Colima, mediante análisis químico proximal.

Materiales y métodos

Las muestras se recolectaron en la localidad de agosto, municipio de Comala, Colima, México, ubicada a 1000 m de altitud (19.3972° N, 103.7310° O) en la finca Rancho de Agosto de productor cafetalero. Se seleccionaron aleatoriamente 5 árboles de café de la variedad Oro Azteca, se recolectaron 6 kilogramos de café en estado de madurez cereza. Las cerezas de café fueron procesadas de dos formas: 1. Beneficio seco (BS), las cerezas se deshidrataron al sol hasta obtener frutos secos con humedad del 10-12%, las cáscaras fueron retiradas para obtener los granos de café verde; 2. Beneficio humedo (BH), las cerezas fueron sumergidas en agua para la eliminación de de impurezas y frutos inmaduros mediante selección manual por flotación, posteriormente se separo la pulpa del fruto mecánicamente en despulpadora para despues ser sometidas a un proceso de fermentación natural durante 24 horas, lavado y secado hasta obtener 10% humedad, las cáscaras fueron retiradas para obtener el café verde para su posterior análisis en laboratorio.
El análisis químico proximal se realizo en el laboratorio de Calidad Postcosecha del Campo Experimental Tecomán del Centro de Investigación Regional Pacífico Centro – INIFAP. Siguiendo la metodología internacional reportada por la Asociación Americana de Químicos de Cereales (AACC) y la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC). Los metodos empleados fueron humedad (AACC 44-15.02, AOAC 925.10), cenizas (AACC 08-01.01, AOAC 923.03), grasa (AACC 30-25.01, AOAC 920.39), azucar (AOAC 932.12), fibra (AOAC 978.10), proteína (AACC 46-16.01, AOAC 978.04) y contenido de carbohidratos se calculó restando la suma de los porcentajes de humedad, lípidos, proteínas y cenizas del 100%.
Los valores de humedad, cenizas, grasa, proteína, lípidos y carbohidratos obtenidos en las muestras BH y BS se expresaron como el promedio de tres réplicas y su desviación estándar (DE). Cada variable se analizó mediante un ANOVA simple y una prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0.05$) utilizando el software estadístico SAS System for Windows 9.1.

Resultados y discusión

Los resultados registrados en el Cuadro 1 y Cuadro 2, muestran el análisis de varianza que evidencio que el tipo de beneficio afectó significativamente la composición proximal del café verde para todas las variables evaluadas, excepto el contenido de humedad. La humedad no presentó diferencias significativas entre el beneficio seco y el beneficio húmedo ($F = 2.47$; $p = 0.19$), lo que indica que ambos procesos alcanzaron niveles de secado similares y adecuados para el almacenamiento del café.

Cuadro 1. Composición química proximal del café de la variedad Oro Azteca obtenido mediante los procesos de beneficio seco (BS) y beneficio húmedo (BH).

Variable	%Humedad	%Cenizas	%Grasa	%Azúcar	%Proteína	%Fibra	%Carbohidratos
BS	8.59±0.12a	6.42±0.06ª	13.49±0.63a	5.64±0.10a	13.97±0.21a	19.22±0.64a	38.31±0.88b
BH	8.76±0.14a	5.89±0.08b	10.27±0.38b	4.87±0.12b	12.24±0.23b	17.60±0.83b	45.24±0.28a

Los valores fueron reportados como la media ± desviación estándar (n=3). Medias con letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Cuadro 2. ANOVA de un factor (Beneficio: seco vs húmedo).

Variable	F	p-valor	Diferencia significativa
Humedad	2.47	0.19	No
Cenizas	91.15	<0.001	Sí
Grasa	54.52	<0.001	Sí
Azúcar	61.23	<0.001	Sí
Proteína	83.90	<0.001	Sí
Fibra	7.67	0.049	Sí
Carbohidratos	164.80	<0.001	Sí

En contraste, el contenido de cenizas, grasa, azúcares, proteína, fibra y carbohidratos presentó diferencias altamente significativas ($p < 0.05$). El café obtenido mediante beneficio seco mostró contenidos significativamente mayores de cenizas, grasa, azúcares, proteína y fibra que el café procesado mediante beneficio húmedo. Por el contrario, el beneficio húmedo presentó un contenido significativamente mayor de carbohidratos calculados por diferencia, lo cual es consistente con la reducción relativa de otros componentes bromatológicos. Las desviaciones estándar fueron bajas en todas las variables, lo que indica una buena repetibilidad entre las tres réplicas y una adecuada precisión analítica.

Conclusiones

Se logro determinar la influencia del método de procesamiento postcosecha sobre la composición química proximal del café verde (*Coffea arabica* L.) variedad Oro Azteca cultivado en la zona cafetalera de Comala, Colima, México. Los resultados demostraron que el tipo de beneficio modifica significativamente las características bromatológicas del grano, particularmente los contenidos de cenizas, grasa, azúcares, proteína, fibra y carbohidratos, mientras que el contenido de humedad no presentó diferencias estadísticas, indicando que ambos procesos de secado permitieron alcanzar niveles adecuados para la conservación y almacenamiento del café verde.

El café obtenido mediante beneficio seco presentó mayores contenidos de cenizas (6.42 %), grasa (13.49 %), azúcares (5.64 %), proteína (13.97 %) y fibra (19.22 %), en comparación con el beneficio húmedo. Estos resultados sugieren que el secado del fruto completo favorece la retención de algunos compuestos químicos del grano, posiblemente debido a una menor pérdida de componentes solubles durante las etapas de procesamiento. Por otra parte, el café procesado mediante beneficio húmedo mostró un mayor contenido de carbohidratos (45.24 %), asociado principalmente a la variación relativa de los demás componentes determinados por diferencia.

La baja variabilidad observada entre las réplicas confirma la precisión y reproducibilidad de los análisis realizados, además de evidenciar que la variedad Oro Azteca presenta características químicas estables bajo las condiciones agroecológicas evaluadas. En conjunto, los resultados indican que el método de beneficio es un factor determinante en la composición química del café verde y puede influir en atributos relacionados con la calidad y el potencial de diferenciación del producto.

Estos hallazgos aportan información relevante para la caracterización de materiales cultivados en la región cafetalera de Colima y representan una base técnica para la selección de prácticas de beneficio orientadas a mejorar la calidad del grano, generar valor agregado y fortalecer la competitividad del café producido por pequeños productores del estado.

Agradecimientos y fuente financiadora

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por las facilidades otorgadas, el apoyo técnico y experimental proporcionado para el desarrollo de la presente investigación. Asimismo, agradecen el

financiamiento otorgado mediante Recursos Fiscales al proyecto “Evaluación del cultivo del café ante el cambio climático: su productividad y calidad en variedades mejoradas en tres regiones de México”.

Referencias bibliográficas

Borrella, I., Mataix, C., y Carrasco-Gallego, R. (2015). Smallholder farmers in the speciality coffee industry: opportunities, constraints and the businesses that are making it possible. *IDS bulletin*, *46*(3), 29-44.

Food and Agricultural Organization (FAO). (2014). Africa Food and Agriculture: FAO Statistical Yearbook 2014. Accra, Ghana: FAO and United Nations Regional Office for Africa.

Gasperín-García, E. M., Platas-Rosado, D. E., Zetina-Córdoba, P., & Vilaboa-Arroniz, J. (2023). Quality of life of coffee growers in the high mountains of Veracruz, Mexico. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1).

IICA / CIATEJ. (2016). La Situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe. Guillermo Canet Brenes, Carlos Soto Víquez, Patricia Ocampo Thomason, Javier Rivera Ramírez, Alejandra Navarro Hurtado, Guadalupe M. Guatemala Morales, Socorro Villanueva Rodríguez. San José: C.R. 148 p. ISBN: 978-92-9248-651-8.

Ponte, S. (2002). The latte revolution'? Regulation, markets and consumption in the global coffee chain. *World development*, *30* (7), 1099-1122.

ESPECIES DE MOSCA PINTA *(Aeneolamia spp.)* EN HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

Ángel Isai De La Cruz Molina[1], Dante Sumano López[2]*, Sergio Salgado Velázquez[2], Gloria Ivette Bolio López[1], José Abel Broca Badal[1], Ángel David Avalos Hernández[1] y Luís Fernando Luna Aguilar[1].

[1]Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco. CP. 86500. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Km 1. Carretera Huimanguillo-Cárdenas, C.P. 86400. Huimanguillo, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: sumano.dante@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Mosca pinta, salivazo, caña de azúcar, plaga.*

Introducción

La caña de azúcar constituye un importante cultivo a nivel internacional, siendo el azúcar el principal producto de exportación, países como Brasil, India y China son los principales productores de azúcar a nivel mundial. México ocupa el sexto lugar en este listado en la producción de caña de azúcar, con una superficie establecida de 843,048.28 ha, obteniendo 53,051,361.68 toneladas de azúcar a nivel nacional, lo que lo hace un cultivo de importancia agrícola y económica en el país. La obtención de subproductos dentro de la industria cañera ha permitido el desarrollo de economías locales y nacionales. En el estado de Tabasco la superficie utilizada para esta actividad es de 41,590.00 ha, obteniendo una producción de 2,174,826.84 toneladas (SIAP, 2024). Sin embargo, la presencia de problemas fitosanitarios puede disminuir el rendimiento del cultivo considerablemente, principalmente plagas en estas, se destaca el salivazo o mosca pinta *(Aeneolamia spp.).*
Este insecto pertenece al orden *Hemíptera*, familia *Cercopidae*. Presenta una metamorfosis hemimetábola, huevo, ninfa y adulto, donde los principales daños los causan los dos últimos estadios. Su ciclo biológico completo consta de un promedio de 50 días (sin diapausa), se alimenta al introducir su estilete en la pared celular extrayendo la savia del xilema, simultáneamente, introduce toxinas las cuales causan clorosis y posteriormente necrosis en las hojas, afectando el proceso fotosintético y por lo tanto la producción de sacarosa. El objetivo de este trabajo fue identificar las especies de mosca pinta (*Aeneolamia spp*.) presentes en las zonas de producción de caña de azúcar en Huimanguillo, Tabasco, México.

Materiales y métodos

Los muestreos se realizaron durante los meses de Junio y Julio de 2026 en cuatro sitios diferentes distribuidos en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México donde se presenta un clima cálido húmedo con ambulantes lluvias en verano temperaturas medias anuales que oscilan entre 26 y 28 °C y condiciones favorables para la actividad agrícola con predominio de acrisoles, vertisoles y cambisoles además de otros suelos de origen aluvial que favorecen el desarrollo del cultivo de caña de azúcar (Ramírez-García *et al.,* 2023).
Los sitios de muestreo fueron plantaciones de diferentes variedades de caña de azúcar, en las cuales en promedio tienen de 3 a 13 resocas con edades de 3 a 5 meses al momento del muestreo. Dentro de la plantación se llevó a cabo un muestreo completamente al azar dejando filas externas para reducir el efecto orilla. La colecta de los especímenes adultos se realizó mediante la técnica de captura directa utilizando una red entomológica. Para los estadios ninfales se utilizaron frascos de boca ancha, además de contenedores para el resguardo y transporte de las muestras, Se utilizó este método para evitar daños en la estructura de los insectos y permitir su correcta observación. Posteriormente los ejemplares se trasladaron al INIFAP Campo Experimental Huimanguillo, donde fueron examinados bajo un estereoscopio marca Swift (modelo 740197), para la identificación de especies se utilizaron claves dicotómicas (Armendariz *et al.,* 2022), se tomaron los datos

climatológicos al momento de la captura como temperatura y humedad relativa, utilizando un higrómetro digital marca STEREN (modelo TER-150). Los suelos encontrados se corroboraron mediante coordenadas y el uso de los mapas de suelos generados de la zona. (Palma *et al.,* 2007), se describe en la Figura 1.

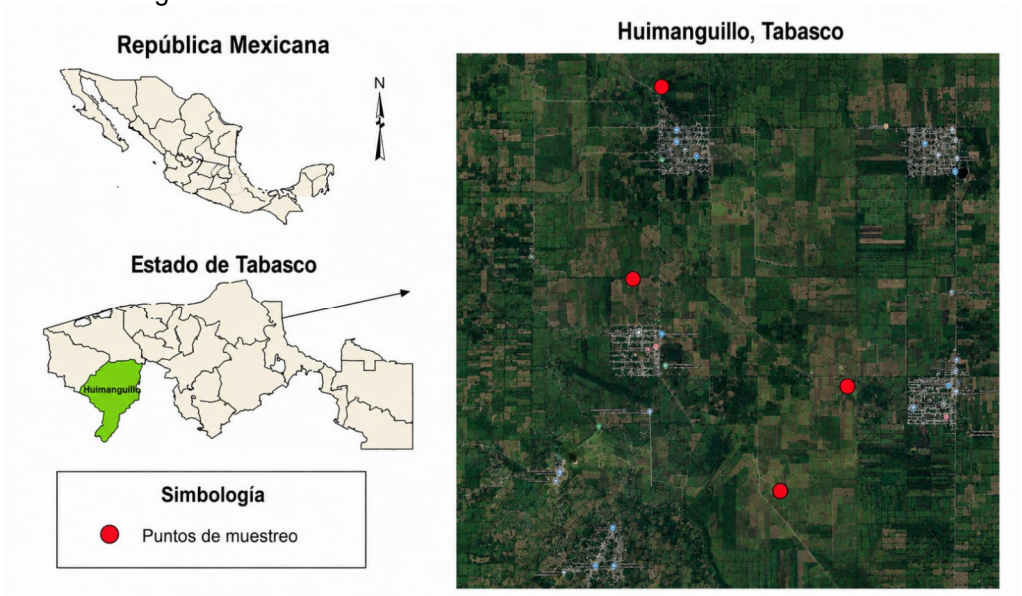
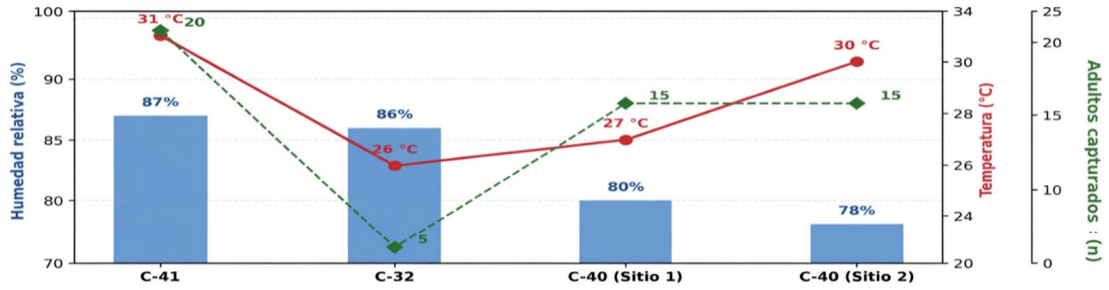


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo y captura de ejemplares en la zona productora de caña de azúcar en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México.

Resultados y discusión

Se realizaron seis muestreos en cuatro plantaciones de caña de azúcar en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México, predominando dos variedades de caña de azúcar, con dos tipos de suelos, temperatura y humedad relativa, se describen en la Figura 2.



	C-41	C-32	C-40 (Sitio 1)	C-40 (Sitio 2)
Temperatura (°C)	31 °C	26 °C	27 °C	30 °C
Humedad relativa (%)	87%	86%	80%	78%
Tipo de suelo	Cambisol	Cambisol	Vertisol	Vertisol
Variedad de caña	MEX-06-039-CPCT	MEX-05-223-CPCT	MEX-05-223-CPCT	MEX-05-223-CPCT

Figura 2. Sitios de muestreo y condiciones encontradas durante las capturas de especies, en plantaciones de caña de azúcar en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México.

De los muestreos realizados se encontraron dos especies del género *Aeneolamia,* las cuales corresponden a *Aeneolamia contigua* (Walker, 1851) y *Aeneolamia albofasciata* (Lallemand, 1929)

siendo la diferencia entre estas especies que en el caso de *A. contigua* presenta franjas color amarillo naranja-rojizo sobre las tegminas, además de una en forma de V rodeando el pronoto, mientras que en *A. albofaciata* estas franjas presentan colores blancos y sin la franja en forma de V sobre el pronoto, el rasgo más distintivo es la diferencia de sus placas genitales (Figura 3).



Figura 3. Vista ventral de las placas genitales de especímenes machos del género *Aeneolamia, correspondientes a las especies* en plantaciones de caña de azúcar en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México*:* a) *A. contigua W.,* b) *A. albofasciata L.*



Figura 4. a) Masa de espuma salival secretada por las ninfas, b) Ninfa expuesta sobre residuo de caña de azúcar, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Para el caso de los estadios ninfales, el 60% de las cepas encontradas presentaron infestación de salivazo. Asimismo, se registró una mayor densidad poblacional con la presencia de hasta 8 masas de espuma salival por cepa con 1 a 7 ninfas dentro de ella y un promedio de 4 adultos por tallo, dándonos un total de 20 adultos por cepa, con la mayor incidencia de las especies en el C-40 y C-41 Huimanguillo, Tabasco, México. Lo cual puede causar pérdidas significativas en el proceso de producción y rendimiento de la caña. Los estudios de pérdidas de CENGICAÑA-CAÑAMIP, indican que el período crítico ocurre en promedio en los 6 a 8 meses de edad del cultivo, puesto que el coeficiente de pérdida puede alcanzar un valor de 5.13 kilogramos de azúcar por tonelada métrica, por cada adulto por tallo (Galindo, 2024). La presencia de estas especies puede tener una correlación con la vegetación circundante, pues cuentan con gran variedad de hospederos. Siendo esto último

importante debido a que el manejo y control de estas especies solo se limita a las plantaciones de caña de azúcar, disminuyendo su efectividad.

Conclusiones

El estudio permitió confirmar la presencia de dos especies de moscas pintas asociadas al cultivo de caña de azúcar en Huimanguillo, Tabasco, México, *Aeneolamia contigua* y *Aeneolamia albofasciata,* los resultados obtenidos aportan información sobre la composición de especies presentes en la zona y contribuyen una base para futuros estudios relacionados con la distribución y manejo de esta plaga.

Agradecimientos

A los técnicos de campo del Ingenio Benito Juárez, por su apoyo durante las visitas a los diferentes puntos de muestreo.

Referencias bibliografícas

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP. (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: Caña de azúcar, superficie sembrada y producción*. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Sostenible. Fecha de consulta: 26 de Julio de 2026. https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap.

Ramírez-García A. R., Guerrero-Peña A., Zavala-Cruz J., García-López E., Sánchez-Hernández R., y Rincón-Ramírez J. A. (2023). Evaluación de la calidad de suelo de Tabasco, México, con métodos convencionales, espectroscopia de infrarrojo cercano y quimiometría. *Terra Latinoamericana*, *41, 1-12.* https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1616.

Armendariz-Toledano, F., López-Posada, M. A., Thompson, V., Romero-Nápoles, J., Utrera-Vélez, Y., López-Cordoba J., P., y Castro-Valderrama, U. (2022). Overview of spittlebugs of the family Cercopidae (Hemiptera: Auchenorrhyncha) from Mexico, with keys to genera and species. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *93,1-41*. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.4030.

Palma-López D. J., Cisneros Domínguez, J., Moreno Cáliz, E., y Rincón-Ramírez, J., A. (2007*). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable.* Colegio de Posgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. (1a ed., 195p.).

Galindo Martínez, H., R. (2024). Evaluación de insecticidas químicos para el control de *Aeneolamia postica* “chinche salivosa”, en *Saccharum officinarum L., Poaceae*, “caña de azúcar”, finca La Bendición, Nueva Concepción, Escuintla. [Trabajo de graduación, Ingeniería en Agronomía Tropical, Centro Universitario de Suroccidente, Universidad de San Carlos de Guatemala].

PRESENCIA Y DAÑO DE LA PALOMILLA *Acharia pauper* (DYAR) (LEPIDOPTERA: LIMACODIDAE) EN *THEOBROMA CACAO* L. EN TABASCO, MÉXICO

Miguel Ángel Ramírez-Guillermo[1*], Jorge Quiroz-Valiente[1], Lorenzo Granados-Zurita[1], Manuel Barrón Arredondo[1], Isabel Cristina Acosta-Balcazar[2] e Izamar López-Domínguez[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Km 1. Carretera Huimanguillo-Cárdenas, C.P. 86400, Huimanguillo Tabasco, México; [2]Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco. CP. 86500. [3]Profesionista Independiente-Profesionista del sector.
*Autor para correspondencia: ramirez.miguel@inifap.gpb.mx

Palabras clave: *Hojas esqueletizadas, urticante, malestar dérmico, trópico.*

Introducción

El cultivo de cacao *Theobroma cacao* L. es un agroecosistema de importancia económica, social y cultural en el estado de Tabasco, en donde se tienen 34, 263.5 ha que produjeron 17, 904.2 toneladas durante el ciclo 2026 (SIAP, 2026). En dicho estado el cultivo es afectado por plagas de insectos que causan daños en hojas, flores, frutos, ramas y tallos; entre ellas se encuentre el salivazo (*Clastoptera laenata*), pulgón negro *Aphis* (*Toxoptera*) *aurantii*, lagarta (*Hemeroblemma* spp), trips (*Selenothrips rubrocinctus*), mosca blanca (*Lecanoideus floccissimus*), barrenador (*Xyleborus* spp.) y cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*); el pájaro carpintero (*Melanerpes aurifrons*) y la ardilla (*Sciurus* spp) (Sánchez-Soto, 1995; Cortéz-Madrigal et al. 2008; Geronimo et al. 2013; Hernández-Gómez et al. 2015; Hernández-Lara et al. 2020). Entre las enfermedades que afecta al cultivo se encuentran la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la mancha negra (*Phytophthora*) (Hernández-Gómez et al. 2015).
En el orden Lepidoptera, los adultos para la oviposición seleccionan diferentes plantas hospederas, las larvas al emerger se alimentan de la lámina foliar del hospedante o de otras partes, en el estado de Tabasco
se ha reportado daños en frutos jóvenes por larva de *Hemeroblemma* spp. (Erebidae) (Ortíz-Pérez y Sánchez-Soto, 2017). Durante el periodo diciembre 2024 a febrero 2025 se presentaron larvas de Lepidoptera llamados localmente gusano “pica pica” o “borreguillo”, afectando el follaje de cacao, frutales y maderables en el Campo Experimental Huimanguillo (CEHUI) INIFAP, en el estado de Tabasco. Los reportes indican afectaciones dérmicas en personas al tener contacto con la larva. El objetivo del presente estudio fue identificar taxonómicamente dichas larvas y describir los daños observados en cacao; adicionalmente se menciona su presencia en otras especies vegetales en Tabasco.

Materiales y métodos

El CEHUI se localiza en las coordenadas 17° 51´ 05.9´´ N y 93° 23´ 46.0´´ W, una elevación de 28 msnm, presenta suelo Fluvisol éutrico, de textura franco arcilloso-arenoso, pH de 5.8, el clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), precipitación promedio anual de 2032-2500 mm y temperatura promedio anual de 27°C siendo la máxima 36°C y la mínima 18°C. Las plantas afectadas por las larvas pertenecen a un Banco de Germoplasma que se encuentra bajo sombra de cocohite (*Gliricidia sepium*). El 09 de enero del 2025 se colectaron ocho larvas del clon UF373; con el mayor cuidado para evitar alguna afectación de la piel, seguidamente se colocaron en frascos de vidrio con hojas frescas, que se trasladaron al laboratorio en donde diariamente se limpió y alimento las larvas hasta la emergencia del adulto. Las larvas fueron fotografiadas; con el apoyo de literatura especializada se ubicó la familia a la que corresponde, en cuanto emergió el adulto se complementó la identificación (Dyar, 1927; Beker y Miller, 1988; Tejeda-Reyes et al., 2025; Iowa State University, 2026). Se realizó una búsqueda exhaustiva sobre la presencia de *Acharia pauper* en México.

Resultados y discusión

De las ocho larvas colectadas cinco no sobrevivieron, una presentó parasitismo al cargar 11 huevos sobre su dorso y solo dos llegaron a la etapa adulta, contando con una envergadura total de 39 mm, grosor del tórax 0.5 mm y largo del cuerpo 15 mm. Taxonómicamente corresponde a *Acharia pauper* (Dyar) (Lepidoptera: Limacodidae); los daños observados en plantas de cacao, fue la esqueletización de la hoja por la pérdida de la lámina foliar (Figura 1a), por el consumo voraz y la alta densidad de larvas en las hojas, se observaron de una hasta nueve larvas en sus diferentes estadios (Figura 1b, c). La pérdida da la lámina foliar limita la fotosíntesis de la planta e inicia al recuperar nuevas hojas. Las larvas presentaron una coloración verde-amarillo, con una línea verde obscuro en el dorso, en ambos costados puntos de color verde obscuro (Figura 1d). En la parte lateral del cuerpo presenta una fila de tubérculos de color naranja ápice obscuro y espinas de tamaño variable (Figura 1e). La cápsula cefálica se encuentra protegida por el primer segmento torácico (Figura 1c, f). El ala anterior del adulto es de color café oscuro y el ala posterior café claro (Figura 1g, h).

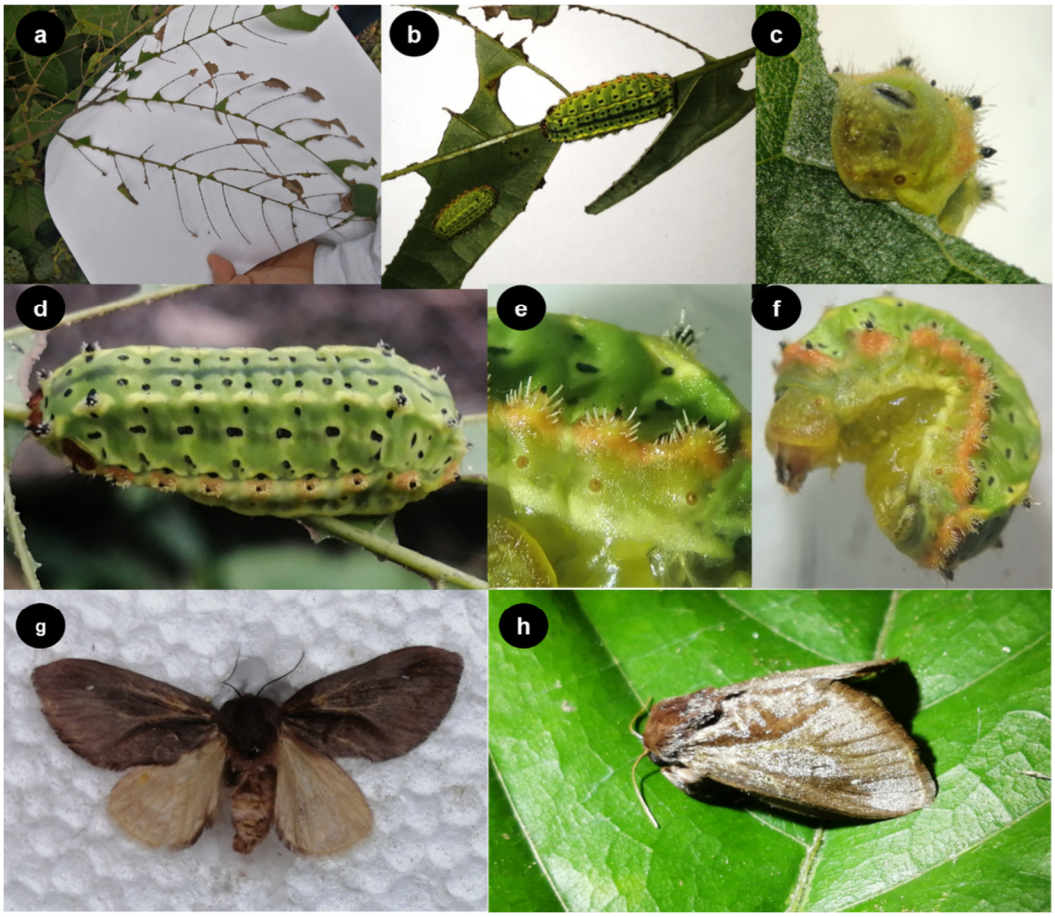


Figura 1. *Acharia pauper*. a) hojas esqueletizadas, b) larvas, c) larva devorando, d) larva madura, e) tubérculos, f) cápsula cefálica, g, h) adulto.

En comunicación con diversos productores, reportaron la presencia de una alta densidad de larvas afectando a diversos árboles de traspatio de igual manera indicaron que el contacto con la larva causa ardor y comezón del área en contacto (Cuadro 1). Los productores mencionaron que el contacto accidental con las larvas produjo ardor y comezón. Estas observaciones son compatibles

con el carácter urticante descrito para las larvas Limacodidae; sin embargo, en este estudio no se caracterizaron los compuestos responsables ni se realizó evaluación clínica. Medios de comunicaciones y redes sociales indicaron las afectaciones en diversos árboles y las molestias en las personas (cuadro 1).
Se desconoce la causa por la cual la densidad de larvas se incrementó durante el periodo antes indicado.

Cuadro 1. Afectaciones causadas por larvas de *acharia pauper*.

Localidad y Municipio	Plantas afectadas
CEHUI-Huimanguillo	*Theobroma cacao*, *Gliricidia sepium*, *Cassia grandis*
Ranchería Ostitán, Huimanguillo[a]	*Citrus* spp., *Spondias mombin*, *Spondias purpurea*, *Cedrela odorata*, *Byrsonima crassifolia*, *Cnidoscolus aconitifolius*.
Macultepec. Centro[a, b]	*C. odorata*
Ranchería Paraíso, Macuspana[a]	*T. cacao*, *Hevea brasiliensis*, *Cocos nucifera*, *Citrus* spp.
Quintin Arauz, Paraíso[a, b]	*Citrus* spp., *C. odorata*
Cupilco, Comalcalco[c]	*T. cacao*, *B. crassifolia*
Zapotal, Cárdenas[c]	*C. odorata*
Soyataco, Chacalapa, Nicolás Bravo, Benito Juárez, Jalpa de Méndez[d]	*T. cacao*, *C. odorata*

Nota: [a]Comunicación personal, [b]Notitrece Tabasco (20/12/2024), XHVX La grande de Tabasco (05/03/2025), [d]Tabasco Hoy (10/03/2025).

De acuerdo con la revisión de la literatura disponible, no se encontraron reportes previos de *Acharia pauper* (Dyar) alimentándose y causando daño foliar en *Theobroma cacao* L. en México, por lo que las observaciones realizadas en Tabasco pueden considerarse, hasta donde alcanza la información consultada, como el primer registro de esta asociación insecto–hospedero en el país. La especie no es nueva para México; de hecho, *A. pauper* fue descrita originalmente a partir de material procedente de Tabasco (Dyar, 1919). Más recientemente, Tejeda-Reyes et al. (2025) documentaron un brote de *A. pauper* causando defoliación en cedro rojo (*Cedrela odorata*) en Veracruz, además de afectaciones dérmicas por contacto con las larvas. Estos antecedentes respaldan la relevancia del registro y sugieren que *A. pauper* puede utilizar diferentes especies arbóreas como hospederas en el sureste de México.

Conclusiones

Se documenta la presencia de *Acharia pauper* alimentándose y ocasionando esqueletización del follaje de *Theobroma cacao L.* en Tabasco, México.

Agradecimientos

Se agradece a los productores F. Pérez Z. del municipio de Macuspana, E. Alejando A. de Paraíso, Y. Maus R. de Centro y C. Domínguez de Huimanguillo, por la información proporcionada.

Referencias bibliográficas

Barrios, K., M. Mazón, M. Chacón, L. D. Otero y J. Gaviria. 2012. Comunidad de lepidópteros asociados a *Theobroma cacao* L. en dos agroecosistemas con diferente manejo de sombra (Mérida, Venezuela). Ecotrópicos 25(2):49-60.

Becker, V. O. y Miller, S. E. 1988. The identity of Sphinx brunnus Cramer and the taxonomic position of Acharia Huebner (Lepidoptera: Limacodidae). *The Journal of Research on the Lepidoptera* 26(1-4), 219–224. https://doi.org/10.5962/p.266716.

Dyar, H. G. 1919. Descriptions of new Lepidoptera from Mexico. Proceedings U. S. National Museum, 54 (2239): 335-372.

Dyar, H. G. 1927. New species of American *Lepidoptera* of the families *Limacodidae* and *Dalceridae*. J. Washington academy of sciences, 17 (21): 544-551.

Iowa State University. 2026. *Bugguide*. Disponible en: https://bugguide.net/index.php?q=search&keys=Acharia.

Sánchez S, S. y H. Cortéz M. 2000. Daños causados por *Hemeroblemma mexicana* (Guenee) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo de cacao en Tabasco, Mexico. Agrotrópica 12(3): 143 -146. 2000.

Tejeda-Reyes, M. A., J. Días-Nájera, E. López-Bautista y J. Ruíz-Ramírez. 2025. Inusual Brote de *Acharia pauper* sobre Cedrela odorata: un problema para los pobladores de Acayucan, Veracruz, México. S*outhwestern Entomologist* 50(2), 403-407. https://doi.org/10.3958/059.050.0202

SELECCIÓN DE GENOTIPOS COMPATIBLES DE CACAO, COMO ESTRATEGIA PARA INCREMENTAR RENDIMIENTO DE GRANO

[1]Elda María Suarez-Sánchez y Alfonso Azpeitia-Morales[2*]
[1] SADER, Boulevard del Centro no. 202 Fracc. Prados de Villahermosa, C.P. 86030 Villahermosa, Tabasco, [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Huimanguillo. Km 1. Carretera Huimanguillo-Cárdenas, C.P. 86400, Huimanguillo Tabasco, México., Tabasco
*Autor para correspondencia: azpeitia.alfonso@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Theobroma cacao L., producción, fruto.*

Introducción

A nivel mundial, el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) se extiende en más de 11 millones de hectáreas. En México se desarrolla en una superficie de 53,014.06 hectáreas, produciendo 28,105.84 toneladas en el año 2024 (SIAP, 2025). En Tabasco existen 34,263.50 ha, donde se producen 18,751.06 t, y en Chiapas hay 17,925.10 ha que producen 10,279.41t (SIAP, 2025).
Las plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México se encuentran establecidas con genotipos del tipo amelonado (70 %), calabacillo (26 %) y criollo (4 %), los cuales se propagan por semilla (Azpeitia, 2020). Las plantaciones en Tabasco presentan una alta heterogeneidad genética debido al método de propagación por semilla. Actualmente en el estado de Tabasco, las plantaciones de cacao rebasan los 90 años, sin embargo, a pesar de los esfuerzos gubernamentales de renovar y/o establecer nuevas plantaciones, su proceso para lograr este objetivo es limitado debido a que se sigue utilizando la semillas como método para establecer y /o renovar las plantaciones, lo que genera variación genética cuyo resultado se refleja en una calidad heterogénea, en rendimiento de grano, susceptibilidad a enfermedades así como su calidad organoléptica. Por lo tanto, es importante en la actualidad de disponer de un método para el mejoramiento genético de plantaciones, por medio de híbridos conocidos por su rendimiento y resistencia a enfermedades, otra de las estrategias es la selección de híbridos compatibles para incrementar rendimiento y resistencia a enfermedades.
En el árbol del cacao, sus flores son hermafrodita, es decir, es pentámera, de ovario súpero. Está conformada su estructura floral por 5 sépalos, 5 pétalos; su androceo está constituido por 10 filamentos de los cuales 5 son viables o fértiles (estambres) y los otros 5 son infértiles (estaminoides); el gineceo (pistilo) está constituido por un ovario con 5 lóculos fusionado a partir de la base donde se encuentra cada uno, pueden encontrarse unos 5 a 15 óvulos, esto va dependiendo del genotipo. En el cacao, la incompatibilidad es uno de los factores que afecta la productividad. La incompatibilidad en la interacción entre el genoma de la planta donadora de polen (n) y el genoma del pistilo (n). El citoplasma asociado con los gametos masculinos y femeninos, estos contienen un precursor de incompatibilidad en el alelo dominante S antes de las meiosis (control esporofítico). El fenómeno de incompatibilidad se presenta en dos sistemas: heteromorfo y homomórfico. En el primer caso se impide la fecundación por incompatibilidad morfológica entre las estructuras sexuales femeninas y masculinas. En el segundo, en el sistema homomórfico se impide la fecundación por razones genéticas y morfológicas, este sistema a su vez, dependiendo del mecanismo de la reacción, puede ser: gametofítico y esporofítico (González 2018). El fuerte control genético que ejercen los sistemas de incompatibilidad sexual, restringe grandemente la recombinación con los padres y las cruzas con otros miembros de la progenie. De esta manera la polinización cruzada aumenta la capacidad de sobrevivencia y reproducción, y contribuye así a la diversidad genética de la siguiente generación. Con base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue: seleccionar híbridos F1 compatibles de cacao para alto rendimiento de grano seco y resistencia a enfermedades.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló a partir de septiembre a de 2025 a marzo de 2026 en el banco de germoplasma del campo experimental Huimanguillo. Fue analizada una población de

aproximadamente 100 árboles establecidos durante el año 2011 en el banco de germoplasma, estos árboles son producto de diversos cruzamientos realizados durante el año 2010, con el objetivo de seleccionar genotipos híbridos compatibles. Los genotipos utilizados como progenitores masculinos fueron: ICS 95, PA 169 y UF 273. Los progenitores femeninos fueron: Olmeca, Chak, e INIFAP C1. A su vez estos progenitores fueron utilizados como progenitores masculinos en cruzas recíproca. De 11 cruces realizadas fueron obtenidas 28 familias y se seleccionaron 323 plantas. Los resultados fueron analizados con base a su valor medio.

Proceso de selección. Para la selección de los mejores individuos, fue utilizado el método de selección individual. En este proceso, la selección de árboles de cacao compatibles F1 en producción de acuerdo a las siguientes variables: 1) árboles con más de 20 mazorcas, 2) arboles con frutos con resistencia a moniliasis y mancha negra, 3) número de semillas/fruto, 4) peso seco de la semilla/fruto. Con base a estos parámetros se determinó el índice de mazorca (es el número de frutos necesarios para obtener un kilogramo de cacao seco) y su rendimiento potencial por ha considerando una plantación de 1111 árboles, Cabe indicar que cada árbol seleccionado es único y es parte del proceso de mejoramiento genético. Los arboles sobresalientes pasaran a una etapa posterior de clonación para establecer parcelas de evaluación con productores.

Resultados y discusión

Fueron seleccionados seis cruces y se incluyó un testigo denominado ICS 95. En el Cuadro 1 se presentan las variables medidas en los cruces seleccionados. Todos ellos mostraron resistencia en campo a moniliasis y mancha negra en un 100%. Los cruces sobresalientes con más de 40 mazorcas fueron: CXXFAH20 (Chak x PA169), Olmeca x PA 169, VIIIFA 15 (Olmeca x ICS95), VI (Olmeca x Uf273/Rojo) XX21(Chak x PA169). Estos genotipos fueron similares al genotipo ICS 95, el cual es un genotipo considerado como compatible. En cuanto el número de semillas, los valores medios de las variedades sobresalientes fueron muy similares, osciló entre 37 y 39 semillas, muy parecido al genotipo ISC 95 considerado como testigo (Cuadro 1).

Los genotipos evaluados con mejor índice de mazorca fueron: XX 21(Chak x PA169) con 18 mazorcas, VI (Olmeca x UF273/Rojo), 19 mazorcas CXXFAH20 (Chak x PA169), superando al genotipo testigo ICS 95 con un índice de mazorca de 22.7. En referencia a su potencial de rendimiento, el genotipo VI (Olmeca x UF 273/Rojo) presento un potencial de 2.3 ton/ha^{-1}, el cruce CXXFAH20 (Chak x PA169), mostró un potencial de 2.29 ton/ha^{-1} y el genotipo XX21(Chak x PA169) presentó un rendimiento potencial de 2.2 ton/ha^{-1}. Estos potenciales de rendimiento son muy similares y mejoran el rendimiento potencial del genotipo ICS 95 el cual puede alcanzar 1 ton/ha^{-1}. En la actualidad, la media nacional de rendimiento de grano seco es de 550 kg ha (SIAP, 2025), con las tres variedades seleccionadas se puede incrementar rendimientos hasta 4 veces más, lo que hace que estos híbridos entren en un proceso de clonación por injerto para realizar parcelas de evaluación y validación con productores. Bajo este método de selección han sido previamente seleccionados los híbridos F1 denominados como Chak, Canek, Olmeca. Tabscoob, Caehui, K´in, Chibolón, y Kekew.

El INIFAP por más de 35 años ha venido realizando investigación en el cultivo de cacao. Esta investigación se ha enfocado principalmente al desarrollo de genotipos para resistencia a mancha negra (*Phytophthora* spp.) y moniliasis (*Moniliophthora roreri*), enfermedades fungosas que afectan hasta un 60% el rendimiento de grano seco. Desde 1990 hasta el año 2013 fueron generados híbridos para resistencia estas enfermedades fungosas. Para los años 2019 fueron obtenidos los títulos de obtentor de los genotipos de cacao Olmeca, Chak, Canek, Chibolón, Kekew, K´in, Caehui y Tabscoob (Gaceta SNICS, 2019), todos ellos con resistencia a mancha negra y moniliasis entre el 80% a 95% (Azpeitia, 2024). Este nuevo grupo de híbridos F1 seleccionados por su autocompatibilidad y resistencia a moniliasis y mancha negra podrán incorporarse como nuevas variedades para el uso de productores, una vez que sean sometidos a un proceso de evaluación y validación directamente con productores.

Cruce o planta	No. De frutos /planta	Color del fruto	Forma de fruto	Forma del Ápice	Forma de la base	No. De semillas	Peso fresco (gr)	Peso seco (gr)	Índice de mazorca	Rendimiento potencial ton/ha
CXXFAH 20 (Chak x PA169)	40	Amarillo	Amelonado	Mamilado	Intermedio	37	122.16	51.66	19.4	2.29
CXXFAH 15 (Chak x PA169)	20	Amarillo	Angoleta	Atenuado	Fuerte	40	154.5	38.83	25.75	0.849
Olmeca x PA 169	40	Amarillo	Amelonado	Caudado	Suave	40.5	134.6	45 134.6	22 45	1.99
CVIIIFA15 (Olmeca x ICS95)	20	Amarillo	Amelonado	Obtuso	Suave	40	88	30.4	32	0.675
VI (Olmeca x Uf273/Rojo)	40	Rojo	Amelonado	obtuso	Suave	36	104	52	19	2.3
XX21(Chak x PA169)	40	Amarillo	Angoleta	Caudado	Fuerte	39	112	56	18	2.2
Testigo ICS 95	40	Rojo-naranja	Angoleta	Atenuado	Ausente	39	86.66	44	22.7	1.008

Cuadro 1. Variables evaluadas con genotipos híbridos F1 de cacao en proceso de selección.

Estos genotipos en la actualidad se encuentran cultivados por los productores a una escala moderada y sus rendimientos superan la media nacional de 550 kg de cacao seco/ha hasta cerca de las 2 toneladas/ha.

Conclusiones

Con base al proceso de selección por planta de genotipo hibrido F1 de cacao fue posible encontrar genotipos compatibles y que pueden superar en rendimiento al genotipo compatible ICS 95. Estos genotipos pueden superar hasta en cuatro veces el rendimiento. Los genotipos híbridos compatibles seleccionados fueron: VI (Olmeca x UF 273/Rojo) presentó un potencial de 2.3 ton/ha^{-1}, el cruce CXXFAH20 (Chak x PA169), mostró un potencial de 2.29 ton/ha^{-1} y el genotipo XX21(Chak x PA169) presentó un rendimiento potencial de 2.2 ton/ha^{-1}. Esta selección de híbridos compatibles son candidatos a iniciar su proceso de evaluación y validación en campo con productores.

Agradecimientos

A fondos fiscales del inifap a través del proyecto: Mantenimiento y conservación del banco de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao* L.) del campo experimental Huimanguillo.

Referencias bibliográficas

Azpeitia Morales A. 2020. Olmeca: híbrido de cacao para alto rendimiento. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas, 11(8): 1999-2003.
Azpeitia Morales A. 2024. Cacao. HortScience, 59 (8) 1234-1235.

Mendoza, C. (2015). Compatibilidad genética de 64 clones élites de cacao (Theobroma cacao l.) Tipos nacional y trinitario. (Tesis de pregrado). Recuperado de http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/985.

SIAP. 2025. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado en línea 24-08-2026.

Servicio de inspección y certificación de semillas (SNICS). 2026. Gaceta oficial de los Derechos de Obtentor en línea: https://datastudio.google.com/reporting/d00350bc-3705-414a-bf36-da97e7aa071f/page/itBWB.

CALIDAD DEL FRUTO DE TRES VARIEDADES DE CAFÉ, CULTIVADAS EN DOS ALTITUDES EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO

Oscar Martín Antúnez-Ocampo[1*], Carlos Daniel Francisco-Manzano[2], Nayeli Sarahi Quiñones-Islas[3], Gabriela Ramírez-Ojeda[4], José Luis Solís-Bonilla[5] y Martín Solís-Martínez[2]

[1]INIFAP-Campo Experimental Iguala. Iguala de la Independencia, Guerrero. México. CP. 40000. [2]CSAEGRO, Iguala de la Independencia, Guerrero. México. CP. 40000. [3]INIFAP-Campo Experimental Tecomán, Tecomán, Colima. México. CP. 28930. [4]Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Jalisco. México. CP. 47714. [5]INIFAP-Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México. CP. 30870.
*Autor para correspondencia: antunez.oscar@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Altitud, variedades, fruto, grano, dulzura.*

Introducción

En México, el cafeto (*Coffea arabica* L.) destaca como uno de los cultivos industriales de mayor relevancia económica, sociocultural y ambiental. Su producción abarca 761 mil hectáreas distribuidas en 12 estados de la región centro-sur: Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz. La trascendencia de esta actividad radica en su valor estratégico para las comunidades indígenas y campesinas de las zonas montañosas del centro y sureste, quienes dependen de la comercialización del grano como su principal fuente de ingresos y subsistencia (FIRA, 2016). En el estado de Guerrero, especialmente en la región Montaña predomina la población indígena (Me'phaa y Ñu Savi) dedicada a la agricultura de subsistencia o pequeña escala, principalmente de maíz (sistema milpa) y café. Debido al uso limitado de tecnología, el manejo de los cafetales carece de una planeación estructurada, aplicación de insumos de mantenimiento y control fitosanitario eficiente. Pese a ello, en el municipio de Iliatenco, el cultivo de café representa el motor comercial y la principal fuente de ingresos para los habitantes Me'phaa. Esta producción se realiza en monocultivo o en sistemas agroforestales diversificados, registrándose en estos últimos hasta 19 especies de árboles (González, 2016).
Entre los factores clave que influyen en la productividad y la calidad del café destacan la especie, la variedad cultivada y las condiciones del entorno. Asimismo, variables como el estado de madurez del fruto y la precisión en los procedimientos de cosecha, que resultan determinantes para el perfil final del grano. La altitud influye en la composición bioquímica, la calidad física y organoléptica del café en taza (Barrera *et al*. 2019, Guevara-Sánchez *et al*. 2019); es por ello que, un café cultivado a mayor altitud suele exhibir un perfil de sabor más complejo y un nivel de acidez más alto; además, la maduración de las cerezas de café es más lenta en temperaturas más frías lo que permite un desarrollo más matizado de azúcares y ácidos orgánicos, lo que mejora la complejidad del sabor (Hu.*et al*., 2024) Las condiciones ambientales predominantes en elevaciones más altas, incluidas temperaturas más frías, mayor radiación UV y patrones de lluvia variables, juegan un papel significativo en la determinación del crecimiento y la calidad del café arábica.
Varios estudios han reportado influencias de la altitud (Bertrand *et al*., 2006; Avelino *et al*., 2007) en la calidad del café. En particular, se ha observado que las altitudes más elevadas y la sombra en altitudes más bajas mejoran los atributos físicos y de calidad en taza de los granos, lo cual se ha atribuido principalmente a los climas fríos (Decazy *et al*., 2003; Bertrand *et al*., 2012). Se ha sugerido que las temperaturas más bajas prolongan el período de maduración de las bayas de café, lo que a su vez conduce a una mayor acumulación de precursores aromáticos (Vaast *et al*., 2006). Considerando la sensibilidad de los ecosistemas terrestres al cambio climático, esto sugiere que la altitud y el tipo de variedad podrían adquirir mayor importancia para la producción de café de especialidad o de alta calidad en el futuro en comparación con la actualidad. En este contexto, la presente investigación se planteó el objetivo de evaluar el efecto de la altitud y la variedad en los aspectos morfológicos y químicos de frutos de cafeto cultivados en Iliatenco, estado de Guerrero.

Materiales y métodos

Recolección de muestras. Los frutos se cosecharon en dos etapas; la primera, se realizó en noviembre de 2023 en la comunidad de San Isidro (1327 msnm) donde se cosecharon cerezos provenientes de plantas de variedades de Typica, Caturra y Oro Azteca. La segunda recolecta fue en diciembre de 2023, en la comunidad de Cruztomáhuac (1479 msnm), donde se obtuvieron frutos de estas tres variedades antes mencionadas. En cada recolecta de cerezo se hicieron tres muestras compuestas por variedad, donde cada una estuvo conformada por tres plantas (500 g planta^{-1}), generando en total nueve submuestras en cada variedad. Una vez obtenidas las muestras de cada variedad con sus respectivas repeticiones, se almacenaron en bolsas de polietileno de 20 x 30 cm y se etiquetaron con sus respectivos datos (variedad y altitud cosechada).
Factor en estudio y diseño experimental. La investigación contempló dos factores en estudio; el primero, la variedad (V) del cafeto, cuyos niveles fueron Typica, Caturra, Oro Azteca, y el segundo factor fue la altitud (A; msnm) de recolecta del fruto de cafeto con dos alturas: 1327 y 1479 msnm, respectivamente. Los tratamientos resultaron de la combinación de los niveles de cada factor. Para el análisis morfológico y de calidad de los frutos y grano de las variedades en cada altitud, se utilizó el diseño completamente al azar, con tres repeticiones.
Variables en estudio. Se seleccionaron al azar 15 frutos en cada muestra compuesta por cada variedad en cada altura, y al final se obtuvo un promedio en cada muestra compuesta. Las variables que se determinaron en los frutos fueron el diámetro polar y ecuatorial, peso de fresco, ºBrix y pH; mientras que, en el grano se registró el peso seco, diámetro ecuatorial y polar. El tamaño del fruto y grano se hizo con un vernier marca Truper®; mientras que, peso se registró con una báscula digital marca MESVIER®. En el jugo del fruto, los ºBrix se midieron con un refractómetro de bolsillo marca ATAGO® modelo 7102, para el pH y CE se utilizaron los medidores de bolsillo marca HANNA® modelo HI981030 y modelo HI9833.
Los análisis de los parámetros morfológicos y químicos de los frutos y granos de café se hicieron en los laboratorios de Zootecnia y Química Ambiental del Centro de Estudios Profesionales, del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO); ubicado a una altura de 640 msnm, en el tramo carretero km 14.5, Iguala-Cocula, estado de Guerrero, cuyas coordenadas geográficas son 18° 15’ 52” LN y 99° 38’ 52’’ LO.
Análisis estadístico. Los datos obtenidos en cada variable se organizaron en una hoja de Excel 2019 para ser analizados por medio de análisis de varianza (ANOVAS, $\alpha \leq 0.05$) y prueba de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), con el programa estadístico SAS, Institute.

Resultados y discusión

El diámetro polar (DP) y el peso seco (PS) del fruto no fueron afectados significativamente ($\alpha < 0.05$) por los factores principales en estudio (altitud y variedad) ni por su interacción A × V. El DP osciló de 1.48 a 1.53 cm entre altitudes y de 1.49 a 1.53 cm entre variedades; mientras que, el PS entre variedades fue de 0.43 a 0.47 g y de 0.45 g en altitudes. Efecto contario se observó en el diámetro ecuatorial (DE), ºBrix y pH, variables que fueron afectadas estadísticamente por la altitud de la plantación; así como, el peso fresco (PF) que fue alterado por el tipo de variedad. El DE varió de 1.11 a 1.29 cm entre altitudes, teniendo el valor más alto con 1327 msnm; mientras que, en variedades osciló de 1.13 a 1.26 cm. Cabe señalar que, la variedad Oro Azteca presentó los frutos con el valor numérico más alto (1.26 cm). El pH del jugo osciló 4.90 a 6.42 entre altitudes, sobresaliendo estadísticamente los frutos provenientes de 1327 msnm, y entre variedades fue 5.52 a 5.75. En el caso de la dulzura del fruto, los más sobresalientes fueron los cosechados en 1479 msnm (22.06 ºBrix), este parámetro entre variedades osciló entre 20.22 y 21.02 ºBrix. Además, destacó la combinación de 1479 msnm con la variedad Oro Azteca (22.93 ºBrix). Por otro lado, el peso fresco del fruto fue mayor en las variedades Caturra (1.87 g) y Oro Azteca (2.07 g). En el grano, únicamente el peso seco mostro significancia por efecto de la altitud, teniendo granos más pesados a una altitud de 1479 msnm (0.20 g). En el caso de las variables relacionadas al tamaño del grano (DE y DP) estas no mostraron significancia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Significancia estadística de los factores en estudio y medias en los parámetros de la calidad de frutos de café.

Factor	DEF (cm)	DPF (cm)	PFF (g)	ºBrix	pH	PSG (g)	DEG (cm)	DPG (cm)
Altitud (msnm)	*	ns	ns	*	*	*	ns	ns
1327	1.29 a	1.54 a	1.78 a	18.99 b	6.42 a	0.16 b	0.98 a	1.04 a
1479	1.11 b	1.48 a	1.80 a	22.06 a	4.90 b	0.20 a	0.97 a	1.02 a
Variedad	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
Typica	1.13 a	1.53 a	1.43 b	20.22 a	5.72 a	0.17 a	0.93 a	1.07 a
Caturra	1.22 a	1.51 a	1.87 a	20.33 a	5.75 a	0.19 a	0.97 a	1.02 a
Oro Azteca	1.26 a	1.49 a	2.07 a	21.02 a	5.52 a	0.19 a	1.02 a	1.02 a

ns = no significativo $\alpha > 0.05$. * = significativo $\alpha \leq 0.05$. DEF = diámetro ecuatorial del fruto. DPF = diámetro polar del fruto. PFF = peso fresco del fruto. PSG = peso seco del grano. DEG = diámetro ecuatorial del grano. DPG = diámetro polar del grano. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos en la investigación por la altitud de la plantación se relacionan con lo reportado por Martínez (2018), con cuatro variedades de café y dos altitudes (900 y 1300 msnm), quien no encontró diferencia significativa en el peso fresco del fruto por efecto de la altitud Este autor también señaló que la altitud influye en la temperatura, la humedad y la radiación solar, factores que impactan en el crecimiento y desarrollo del fruto de café. Por otro lado, García *et al*. (2018), en cuatro variedades de café (Typica, Gueisa, Sarchimor y Oro Azteca) cultivadas en dos altitudes (1400 y 1700 m), observó que altitudes altas favorecieron el contenido de azúcar o ºBrix del jugo de los frutos, al presentar valores más altos. Lo anterior, representa un sabor más dulce y un cuerpo más denso del café en taza. Estos resultados coinciden con lo encontrado en la presente investigación a una altitud de 1479 msnm.

En el caso del grano, su peso va a depender del tipo y duración del secado (Segura, 2017). Además, los cambios en tamaño se relacionan con las condiciones climáticas de la plantación del cafeto originadas por su ubicación o altura. Ya que, a mayores altitudes; las temperaturas son más bajas, la radiación solar es menor y la humedad relativa es menor constante. Estas condiciones influyen en la velocidad de crecimiento, el tamaño y la densidad del grano. Es por ello, que cafés cultivados a altitudes superiores de 1500 m, suelen presentar frutos y granos más densos y con mayor concentración de azúcares, parámetros que contribuyen a garantizar producto de calidad en taza (García *et al*., 2018).

Conclusiones

Con base en los objetivos y los resultados obtenidos de las variables respuesta, se concluye lo siguiente: que la variedad influye en el peso fresco de fruto, destacando Caturra y Oro Azteca; mientras que, el diámetro ecuatorial como el pH y dulzura del fruto son alterados por la altitud de la plantación, teniendo frutos más dulces en altitud alta. En cuanto al grano, el peso es influenciado principalmente la altitud, siendo mayor en zonas más altas.

Referencias bibliográficas

Barrera B. Ó. M., Gutiérrez G. N. y Orozco-Blanco D. 2019 Caracterización y diferenciación de cafés, a partir de espectroscopía infrarroja. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 22(1): e1158.

García G. J. F., Elizarraraz G.M., Sosa M. E., Gómez S. J. A. y Cerón G. A. 2018. Caracterización colorimétrica y propiedades fisicoquímicas en bebidas a base de café soluble. Revista de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 4: 907-913.

González G. H. A. y Hernández S. J. R. 2016. Zonificación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. Investigaciones Geográficas 90: 105-118. https://doi.org/10.14350/rig.49329.

Guevara-Sánchez M., Bernales del Á. C. I., Saavedra-Ramírez J. y Owaki-López J. J. 2019. Efecto de la altitud en la calidad del café (*Coffea arabica* L.): comparación entre secado mecánico y tradicional. Scientia Agropecuaria 10(4): 505-510.

Hu R., Xu F., Chen X., Kuang Q., Xiao X. *et al*. 2024. The growing altitude influences the flavor precursors, sensory characteristics and cupping quality of the Pu'er coffee bean. Foods 13: 3842 doi: 10.3390/foods13233842

DIMENSIONES FÍSICAS Y ATRIBUTOS DE CALIDAD DE FRUTOS DE PIÑA MD-2 CON NUTRICIÓN ORGÁNICA Y MINERAL.

María Enriqueta López-Vázquez[1*] Rosa Laura Rebolledo-García[1], Andrés Rebolledo-Martínez[1], Nain Peralta-Antonio[1], Jeremías Nataren Velázquez[1], Laureano Rebolledo-Martínez[2] y Gerardo Montiel-Vicencio[1].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; La Esmeralda, Medellín de Bravo, Veracruz, México. C. P. 94284.
[2] Técnico independiente, Veracruz, Veracruz.
*Autor para correspondencia: lopez.enriqueta@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Ananas comosus, manejo agroecológico, impacto ambiental.*

Introducción

La demanda mundial de productos orgánicos se incrementa aceleradamente, debido principalmente a la preocupación e interés de la gente por ingerir alimentos sanos, obtenidos con tecnologías de bajo impacto ambiental. La piña en particular, tiene una alta demanda a nivel internacional y de ella se producen anualmente cerca de 30 millones de toneladas de fruta fresca, de las cuales México aporta alrededor de 1 290 000 toneladas, siendo el cuarto frutal tropical más consumido en nuestro país. Casi la totalidad de la producción mundial de esta fruta es con base a tecnologías convencionales y solo una mínima parte, se produce mediante métodos orgánicos. La gran competitividad en los mercados internacionales exige que la piña mexicana eleve sus estándares de calidad y a su vez disminuya los efectos adversos que su producción provoca al ambiente. Estos niveles de producción requieren altas dosis de fertilizantes nitrogenados y potásicos, que oscilan entre 520-700 kg ha^{-1} de N y 340-700 kg ha^{-1} de K, aunque pueden variar según el cultivar, densidad de plantación, condiciones de cultivo y otros factores (Rebolledo *et al.,* 2023); sin embargo, su uso excesivo puede deteriorar la fertilidad y alterar el microbioma del suelo. En este caso, las enmiendas orgánicas representan una alternativa para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y favorecer la salud edáfica. Se ha observado, que la sustitución de fertilizantes inorgánicos convencionales por fertilizantes orgánicos y de liberación lenta, constituye un método eficaz para lograr una producción sostenible de piña, logrando mantener rendimientos y calidad del fruto comparables con los obtenidos mediante la fertilización convencional (Cai, *et al.,* 2023). Aunque los sistemas de cultivo de piña con insumos amigables con el ambiente van aumentando, estos aún son escasos y poco documentados. Bajo este razonamiento, el objetivo de este trabajo fue determinar el rendimiento y la calidad de la fruta de piña MD-2 en condiciones de fertilización orgánica y mineral como alternativa para producir con insumos de bajo impacto ambiental.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación se estableció en un predio ubicado en la localidad de El Hatillo, municipio de La Antigua, Veracruz, México, localizado a 19°16′ 6.528″ de latitud norte y 96° 18′ 38.4834″ de longitud oeste, a una altitud de 37 m. El clima de la región corresponde al tipo Aw1(w)(i), cálido subhúmedo con lluvias en verano, caracterizado por una marcada estacionalidad de la precipitación, con un periodo seco de noviembre a mayo y una temporada de lluvias de junio a septiembre. La temperatura media anual es de 25 °C. Los suelos corresponden al tipo Regosol, de textura franco-arenosa, con baja capacidad de retención de nitrógeno y, en general, de nutrientes. El contenido de materia orgánica (MO) es de 1.5 %, el nitrógeno total (N) de 0.075 % y el potasio (K) de 68.6 mg kg^{-1}. El pH del suelo oscila entre 5.0 y 5.4. El 12 de septiembre de 2023 se estableció el experimento, utilizando hijuelos de piña MD-2 con un peso promedio de 600 g; la unidad experimental constó de dos camas de 10 m (24.2 m^2), con cuatro repeticiones en un diseño completamente al azar. El suelo fue cubierto con acolchado plástico, plantando a una densidad de 50,000 plantas ha^{-1} con un

distanciamiento entre plantas de 28 cm. Los tratamientos fueron: 1) orgánico con aporte del 10% de N y K mineral; 2) mineral 100% y, 3) testigo (sin fertilizar). Siete días antes de la plantación, se incorporó en el experimento la leguminosa *Crotalaria juncea*. El tratamiento orgánico incluyó la aplicación de bokashi (40 t ha^{-1}), cal dolomítica (1.5 t ha^{-1}), micorrizas (inmersión de hijuelos en solución de 30 g por litro de agua) y 1 kg de Crotalaria por m^2. El bokashi se elaboró utilizando gallinaza, estiércol vacuno, pasto pangola, tierra y arena, en proporción 2:2:2:1:1 (volumen/volumen). Los materiales se humedecieron con una mezcla de melaza y agua (melaza al 10%). Las características del bokashi fueron las siguientes: 19.52 % de materia orgánica, 11.32% de Carbono, pH de 6.61; N total 0.9%, 1.17 % P_2O_5, 0.84 % K_2O, 2.67 % CaO, 0.68 % MgO, 0.95 % Fe^{2+}, 0.03 % Zn^{2+}, 0.0 % Cu^{2+}, 0.05 Mn^{2+} y 0.03 % B^{2+}; antes de la plantación, los hijuelos se sumergieron en una solución de micorrizas (30 g/litro de agua). El tratamiento mineral consistió en la aplicación de 12- 5-12-4 g de NPKMg por planta utilizando como fuentes nutrimentales el fosfato diamónico, sulfato de amonio, cloruro de potasio y sulfato de magnesio. Se midieron el peso y longitud de fruto y corona, diámetro apical, medio y basal del fruto y de la médula, temperatura de la cáscara y pulpa (a las 13:00 h), sólidos solubles totales (° Brix) en la parte basal, media y apical del fruto, así como porcentaje de ácido cítrico (acidez titulable). La cosecha se realizó a principios de junio de 2025. Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) con el programa Sigma Plor V 12.

Resultados y discusión

El peso del fruto de la piña fue mayor en los tratamientos con fertilización orgánica y mineral en comparación con el testigo. En ambos tipos de fertilización, el peso promedio de los frutos fue de 2.1 kg, sin diferencias significativas entre las fuentes de fertilización (Figura 1). Resultados coincidentes obtuvieron de Brito *et al* (2022), quienes determinaron en una plantación de piña 'Perola', un peso promedio de fruto similar (1.5 kg) con fertilización mineral y orgánica.

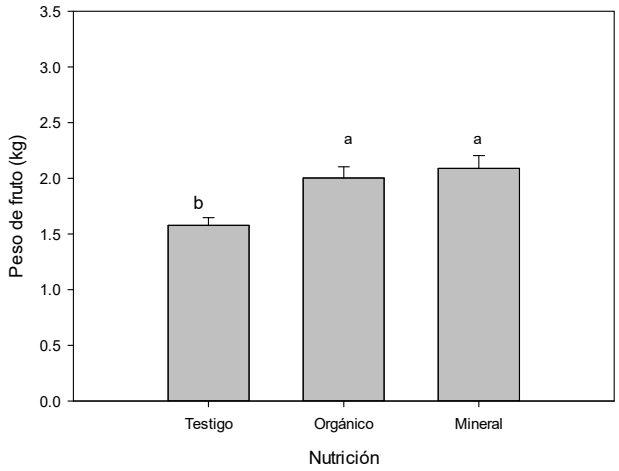


Figura 1. Peso de fruto de piña MD-2 con niveles de nutrición mineral y orgánico. Letras diferentes representan diferencia estadística significativa; barras ± error estándar.

La temperatura en la cáscara de la fruta fue significativamente menor en el tratamiento orgánico en comparación con el testigo y el mineral los que tuvieron las temperaturas más altas, pero iguales estadísticamente entre ambos ($p< 0.05$). En cuanto a la temperatura de la pulpa de la fruta, los tres tratamientos fueron estadísticamente iguales; en cambio, dentro de cada tratamiento, la temperatura de la cáscara fue significativamente mayor ($p< 0.05$) en comparación con la obtenida en la pulpa, con promedios de temperatura en cáscara de 35°C y en pulpa de 32°C (Figura 2). Estos valores altos de temperatura encontrados reflejan las condiciones en las que se encuentra la fruta cuando esta es cosechada en altas hora del día, lo cual puede implicar daños fisiológicos en la fruta, si no

existen condiciones de pre enfriamiento, escenarios que tienen algunas empacadoras de fruta en fresco. También se ha documentado que la temperatura puede influir en procesos fisiológicos y en atributos de calidad de la piña, particularmente en el desarrollo de color de la cáscara y en características de la pulpa, como la traslucidez en las etapas finales del desarrollo del fruto (Chen & Paull, 2001). Enfocándonos en estos tratamientos, se ha encontrado escasa información sobre la relación de estas variables con la fuente de fertilización nutrimental en piña, pero, sin duda, este trabajo aporta información sobre el comportamiento de la temperatura bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento.

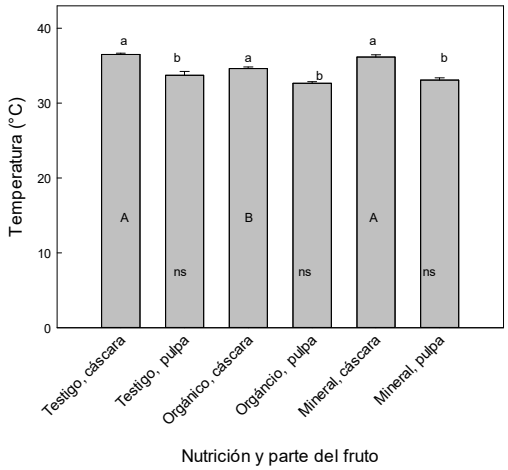


Figura 2. Temperatura de la cáscara y pulpa del fruto de la piña fertilizados con fuente orgánica y mineral. Letras mayúsculas diferentes difieren estadísticamente en la cáscara de la fruta en cada tratamiento de nutrición; letras minúsculas diferentes difieren estadísticamente entre partes de la planta dentro de cada uno de los tratamientos. ns, sin respuesta significativa en la pulpa de la fruta en cada uno de los tratamientos; barras ± error estándar.

En el Cuadro 1 se muestran las dimensiones del fruto. La longitud de la corona, el diámetro medio del fruto ($p< 0.05$) y diámetro inferior del fruto ($p= 0.074$) fueron mayores en los tratamientos de fertilización mineral y orgánico en comparación con el testigo. En los demás parámetros no se observaron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Cuadro 1. Dimensiones del fruto de piña MD-2 con fertilización mineral y orgánica.

Tratamiento	Peso de corona (g)	Longitud de fruto (cm)	Longitud de corona (cm)	Diámetro del fruto (cm)			Diámetro de la médula (cm)		
				Superior	Medio	Inferior	Superior	Medio	Inferior
Testigo	147	14.68	14.7 b	9.7	11.8 b	10.3	2.0	2.7	2.3
Orgánico	154	16.70	16.9 a	10.1	12.2 a	11.3	2.1	2.7	2.5
Mineral	138	16.78	18.3 a	10.1	12.8 a	11.8	2.0	2.7	2.5
P	0.529	0.399	0.003	0.590	0.032	0.074	0.895	0.494	0.271

Las variables de calidad de fruto como la concentración de sólidos solubles totales (° Brix) y el porcentaje de ácido cítrico fueron estadísticamente iguales en los tres tratamientos, con valores de 12.9 a 17.1 ° Brix y 0.22 a 0.25 %, respectivamente (Cuadro 2); lo que coincide con de Brito *et al.,* 2020 quienes no observaron diferencias entre los métodos de cultivo orgánico y convencional en lo que respecta a la calidad del fruto de la piña Perola. La Figura 3, muestra las diferencias en la concentración de sólidos solubles totales entre los niveles apical, medio y basal del fruto. En los tres tratamientos, los valores de ° Brix fueron mayores en la parte basal y menores en parte apical, lo

que es consistente con el grado de maduración del fruto de piña, que generalmente progresa de la región basal a la apical.

Cuadro 2. Concentración de sólidos solubles totales y porcentaje de ácido cítrico en piña con fertilización mineral y orgánica.

Tratamiento	Concentración de sólidos solubles totales del fruto (° Brix)			Ácido cítrico (%)
	Superior	Medio	Inferior	
Testigo	12.9	15.1	16.6	0.22
Orgánico	12.6	14.3	16.2	0.20
Mineral	14.4	15.6	17.1	0.18
P	0.158	0.163	0.369	0.163

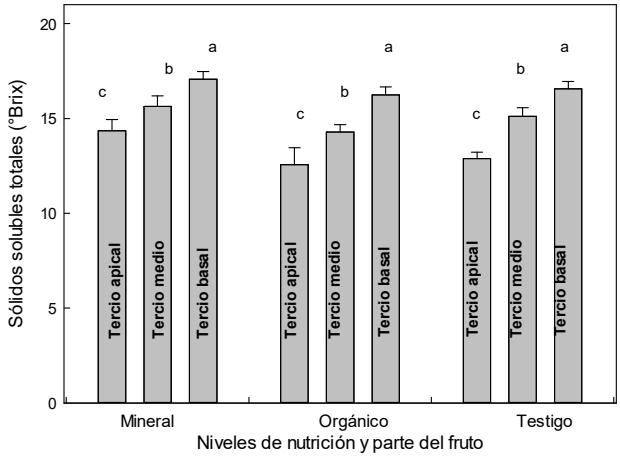


Figura 3. Concentración de sólidos solubles totales (° Brix) en los niveles apical, medio y basal del fruto de piña MD-2 con fertilización mineral y orgánica. Letras diferentes representan diferencia estadística significativa dentro de cada nivel de nutrición; barras ± error estándar.

Conclusiones

La fertilización orgánica logró el mismo tamaño de fruto que la fertilización mineral, sin haber encontrado diferencias en grados brix y acidez titulable. Se encontró mayor contenido de sólidos solubles totales en la parte basal del fruto. A partir de estos resultados, es posible producir piña con buen rendimiento y calidad utilizando insumos con bajo impacto ambiental.

Referencias bibliográficas

Cai, J., Cheng, W., Liang, Z., Li, C., Deng, Y., Yin, T., & Li, C. (2023). Organic and slow-release fertilizer substitution strategies improved the sustainability of pineapple production systems in the tropics. *Sustainability*, *15*(13), 10353.

Chen, C. C., & Paull, R. E. (2001). Fruit temperature and crown removal on the occurrence of pineapple fruit translucency. Scientia horticulturae, 88(2): 85-95.

De Brito, R. F. F., Martelleto, L. A. P., Martelleto, M. S., Araújo, R. P., Lino, W. S., & da Silva, E. H. (2020). Organic pineapple production using aerobic biofertilizers. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, 37(3), e26744, DOI: 10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26744

Dey, A., & Chaudhuri, P. S. (2014). Earthworm community structure of pineapple (*Ananas comosus*) plantations under monoculture and mixed culture in West Tripura, India. Tropical Ecology, *55*(1):1-17.

Rebolledo-Martínez, A.; Peralta-Antonio, N.; Rebolledo-García, R.L.; Becerril-Román, A.E.; Rebolledo-Martínez, L.; Jaén Contreras, *et al.* (2023). Nitrogen, phosphorus and potassium content in different organs of pineapple cultivars at different planting density. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 2023, 26, 081.

SOBREVIVENCIA, INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE WOOD POCKET EN TRES GENOTIPOS DE LIMON PERSA SOBRE TRES PORTAINJERTOS EN LA HUERTA, JALISCO

José Joaquín Velázquez-Monreal[1]*, Juan Eduardo Murillo_Hernández[1], Emiliano Loeza-Kuk[2], José Concepción García-Preciado[1] y Mario Antonio Vega-Loera[1].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRPAC. Campo Experimental Tecomán. Km 35. Carretera Colima-Manzanillo, C.P. 28100, Tecomán, Colima, México; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRSE. Campo Experimental Mocochá, Yucatán, México. CP. 97454.
*Autor para correspondencia: velazquez.joaquin@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Compatibilidad patrón-injerto, manchado sectorial, Citrus latifolia.*

Introducción

En la citricultura nacional el limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) es un frutal muy importante, siendo nuestro país el segundo productor a nivel mundial. En México en el año 2024 la superficie cubierta por este cítrico fue de 113,194 hectáreas, siendo los principales estados productores Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Jalisco y Yucatán con 52,857, 16,819, 7,236, 6,031 y 5,788 hectáreas, respectivamente (DGSIAP, 2023). El uso de portainjertos en la citricultura se hace con tres fines: a) Disminuir el periodo juvenil del árbol, para ello se injertan con yemas maduras de árboles en producción, b) Soportar condiciones desfavorables de suelo, clima y patógenos, c) Obtener un buen comportamiento de los árboles frutales (Castle *et al*., 1993). Para definir los portainjertos a utilizar con un cultivo cítrico en una región en específico se recomienda evaluarlos secuencialmente para ir descartando los materiales que no exhiban una buena adaptación al medio ambiente y/o muestren un comportamiento inadecuado (Ferguson *et al*., 1990). Una primera etapa será para determinar la compatibilidad o incompatibilidad patrón-injerto; en tanto que en una segunda fase se detecta la respuesta de tolerancia o susceptibilidad de los patrones a patógenos que se encuentran en el patrón o injerto; en tanto que en una tercera fase se identifican las condiciones del lugar que disminuyen el desarrollo de los cítricos (Curti *et al*., 2000). Cuando ya se han rechazado los patrones que no son adecuados para las características de sitio, se debe continuar con el que muestre las características más adecuadas como frutal (Ferguson *et al*., 1990). El cultivo de limón Persa tiene en común varios problemas con otros cítricos, pero sobresale por su especificidad el síndrome del Wood Pocket o manchado sectorial pues repercute directamente en la longevidad productiva de las huertas de este frutal, este problema es una fisiopatía pues no se ha asociado a algún factor biótico en función a su distribución aleatoria en la huerta (Dominguez-Monge *et al.,* 2025). La combinación de altas temperaturas (superiores a 40°C) durante el verano, parecen disparar la expresión del problema (Flores de la Rosa *et al.,* 2025). El objetivo de este trabajo fue evaluar en campo la sobrevivencia y desarrollo de Wood Pocket en tres genotipos de limón Persa sobre tres portainjertos en La Huerta, Jal

Materiales y métodos

El estudio se estableció en el Sitio Experimental Costa de Jalisco-INIFAP, localizado en el municipio de La Huerta, Jal., a 19° 31’ 15” latitud norte y 104° 32’ 00” longitud oeste, a una altitud de 298 msnm, con clima cálido y lluvias en verano y una temperatura media anual de 26.8 °C, el tipo de suelos predominantes son cambisoles y feozems. Los tratamientos fueron nueve y resultaron de la combinación de tres materiales de limón Persa y tres portainjertos: Macrofila (*Citrus macrophylla*), Volkameriana (*C. volkameriana*) y Bitters C-22 (*X Citroncirus sp.* Rutaceae). Los materiales de limón Persa fueron: limón Persa LPY [Procedente de la Estación Nacional de Epidemiología, Cuarentena y Saneamiento Vegetal (ENECuSaV)], limón Persa BG (material de la colección del Campo Experimental Tecomán) y Doble Persa (material procedente del Campo Experimental Ixtacuaco). A

continuación, se indican los tratamientos incluidos:1) Limón Persa LPY / Macrofila, 2) Limón Persa LPY / Volkameriana, 3) Limón Persa LPY / Bitters C-22, 4) Limón Persa BG / Macrofila, 5) Limón Persa BG / Volkameriana, 6) Limón Persa BG / Bitters C-22, 7) Limón Persa selección Doble Persa / Macrofila, 8) Limón Persa selección Doble Persa / Volkameriana y, 9) Limón Persa selección Doble Persa (Veracruz) / Bitters C-22. La plantación se hizo el 20 de diciembre de 2023 en un suelo franco con pH 7.0 con una distancia de 6.0 m entre hileras y 4.0 m entre plantas, equivalente a una densidad de 416 árboles ha^{-1}. Se formaron parcelas de una hilera con cinco plantas por tratamiento. El diseño experimental fue bloques completos al azar; se incluyeron cuatro repeticiones. El manejo del experimento incluyó riego, siendo en los meses de sequía mediante el sistema de goteo tres veces a la semana, en tanto que en verano se aprovecharon las lluvias y en caso de requerirse se suministró riego por goteo. Durante el periodo enero-junio de 2024 se hizo fertilización al suelo y luego en base al análisis de suelo se formuló la fertilización que se aplicó vía drench cada quince días. La poda inicial fue de despunte y deschupone y conforme las plantas se desarrollaron la poda también fue de formación. El control de maleza fue químico y mecánico. El registro de datos de sobrevivencia de plantas fue registrado a los 6, 13 y 27 meses después de la plantación. También se hicieron revisiones periódicas de las plantas para determinar la presencia de Wood Pocket. Para ello se registró la incidencia (porcentaje de plantas afectadas) y la severidad utilizando una escala arbitraria de 0 a 3, donde 0 = sano, 1 = Síntomas de Wood Pocket en hojas y/o fruto, 2 = Síntomas de Wood Pocket en hojas y/o fruto e inicio de muerte de ramas, 3 = Síntomas de Wood Pocket en hojas y/o fruto con muerte de ramas. En este caso los resultados que aquí se presentan son los obtenidos a los 31 meses después de la plantación. Los datos se sometieron a análisis de varianza y separación de medias mediante la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 5% utilizando el programa estadístico InfoStat versión actualizada 2020.

Resultados y discusión

El análisis de varianza de la variable sobrevivencia de plantas mostró que hubo diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro1). De ellos los más sobresalientes con 100% de sobrevivencia de planta fueron los que incluían a los tres materiales de limón Persa (Limón Persa LPY, limón Persa BG y Doble Persa) con el portainjerto Macrofila, el tratamiento limón Persa LPY/Volkameriana, además de Doble Persa/Bitters C-22 que tuvo una sobrevivencia de plantas de 98.3% durante el periodo evaluado. Los portainjertos Macrofila y Volkameriana han sido reportados como compatibles para limón Persa (Curti *et al*., 2000). La sobrevivencia de las plantas puede estar influenciada por factores bióticos y abióticos además del manejo del cultivo, el cual en este caso fue mismo para todo el experimento. Borroto y Borroto (1991) indican que la compatibilidad patrón-injerto ocurre cuando una planta presenta un buen desarrollo debido a la capacidad de unión entre el patrón y el injerto. En este caso hubo compatibilidad entre los tres portainjertos y los tres materiales de limón Persa, aunque la sobrevivencia en Limón Persa LPY / Bitters C-22 fue la menor (58.3%)

Cuadro 1. Separación de medias de la variable sobrevivencia de plantas de tres materiales de limón Persa sobre tres portainjertos en Sitio Experimental Costa de Jalisco.

Tratamamiento	Sobrevivencia de plantas (%)	
	Media	Tukey
Limón Persa BG / Macrofila	100.0	A
Limón Persa LPY / Macrofila	100.0	A
Limón Persa LPY / Volkameriana	100.0	A
Doble Persa / Macrofila	100.0	A
Doble Persa / Bitters	98.3	A
Doble Persa / Volkameriana	95.0	A B
Limón Persa BG / Bitters C-22	95.0	A B
Limón Persa BG / Volkameriana	90.0	B
Limon Persa LPY / Bitters C-22	58.3	C

También el análisis de varianza de la variable severidad de Wood Pocket detectó diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 2), al parecer influido por la susceptibilidad del

limón Persa al Wood Pocket ya que es un carácter ligado a la genética del mismo, ya que no afecta al portanjerto. En la prueba de separación de medias de Tukey se integraron dos grupos (Cuadro 2). Un grupo con los tratamientos que exhibieron menor incidencia y severidad de la fisiopatía. Los tres tratamientos con menor severidad de Wood Pocket fueron aquellos con Doble Persa, los cuales registraron menor incidencia del problema. Así los tratamientos de Doble Persa sobre Volkameriana, Macrofila y Bitters C-22 tuvieron una incidencia/severidad de Wood Pocket de 60%/0.95, 65%/0.95 y 94.7/1.53, respectivamente. Esto puede ser un indicativo que en Doble Persa se presentó un retraso en el desarrollo de Wood Pocket en comparación con limón Persa LPY y limón Persa BG, que integraron los seis tratamientos que presentaron una incidencia de Wood Pocket del 100%, estos tratamientos a su vez integraron un segundo grupo derivado de la prueba de Tukey en el análisis de la severidad de esa fisopatía que varió de 2.35 a 2.80. Los tratamientos de limón Persa LPY injertados sobre Macrofila, Bitters C-22 y Volkameriana mostraron una severidad de Wood Pocket de 2.35, 2.35 y 2.40, respectivamente. Mientras que el limón Persa BG, sobre Volkameriana fue de 2.50, en Bitters C-22 tuvo 2.55 y el máximo (2.80) fue sobre Macrofila. Como el portainjerto no es afectado por Wood Pocket, sino únicamente el limón Persa. De esta forma las yemas utilizadas para generar las plantas de Doble Persa procedían de plantas con menor afectación por Wood Pocket, no así la fuente de yemas de limón Persa LPY y limón Persa BG que tuvieron 100 % de incidencia y la mayor severidad, de tal manera que en algunos casos ya era posible detectar síntomas de la fisiopatía en las hojas en etapa de vivero durante la generación de las plantas. Por lo que se puede decir que como el Wood Pocket está ligado a la genética del limón Persa, lo que ocurrió fue la aparición de síntomas más pronto en las plantas de limón Persa LPY y de limón Persa BG, habiendo un retraso en las de Doble Persa.

Cuadro 2. Incidencia de Wood Pocket y separación de medias de la variable severidad de plantas de tres materiales de limón Persa sobre tres portainjertos en Sitio Experimental Costa de Jalisco.

Tratamamiento	Wood Pocket		Tukey (Severidad)
	Incidencia	Severidad	
Doble Persa / Volkameriana	60.0	0.95	A
Doble Persa / Macrofila	65.0	0.95	A
Doble Persa / Bitters C-22	94.7	1.53	A
Limon Persa LPY / Macrofila	100.0	2.35	B
Limon Persa LPY / Bitters C-22	100.0	2.35	B
Limon Persa LPY / Volkameriana	100.0	2.40	B
Limón Persa BG / Volkameriana	100.0	2.50	B
Limón Persa BG / Bitters C-22	100.0	2.55	B
Limón Persa BG / Macrofila	100.0	2.80	B

Conclusiones

Los tres genotipos limón Persa LPY, limón Persa BG y Doble Persa injertados en los patrones Macrofila, Volkameriana y Bitters C-22 se desarrollaron teniendo una sobrevivencia de 90 a 100%, excepto limón Persa LPY/Bitters C-22 con 58.3%, indicando una buena compatibilidad patrón-injerto. Además, limón Persa LPY y limón Persa BG tuvieron una incidencia de 100% y una severidad de 2.35 a 2.80 de Wood Pocket, en tanto que Doble Persa registró una incidencia de 60.0 a 94.7 y severidad de 0.95 a 1.53, indicando que en este último genotipo ocurrió un retraso en la expresión y desarrollo de Wood Pocket principalmente en los portainjertos Volkameriana y Macrofila, con incidencia/severidad de 60%/0.95 y 65%/0.95, respectivamente.

Referencias bibliográficas

Borroto N. C. y A. Borroto de la T. 1991. Citricultura Tropical.Tomo I y II. Ediciones ENPES. La Habana, Cuba.

Castle W. S., D. P. H. Tucker, A. H. Krezdom and C. O. Youtsey. 1993. Rootstocks for Florida citrus. IFAS. Univ. Fla.

Curti-Díaz S. A., X. Loredo-Salazar, U. Díaz-Zorrilla, J. A. Sandoval R. y J. Hernández H. 2000. Tecnologías para producir limón Persa. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco. Libro Técnico Núm. 8. Veracruz, México. 144 p.

Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP). 2023. https://nube.agricultura.gob.mx/cierreagricola/ (Fecha de consulta 21 de agosto de 2026).

Domínguez-Monge, S., Mendoza-García, J., Serena-González, A., Cabrera-Hernández, A., Curti-Díaz, S. and Flores-Sánchez, J. (2025) Symptomatological Characterization and Epidemiological Considerations of Persian Lime Death Syndrome in Commercial Orchards. *American Journal of Plant Sciences*, 16, 982-996. doi: 10.4236/ajps.2025.168066.

Ferguson L., N. Sakovich and M. Roose. 1990. California citrus rootstocks. Publication 21477. Div. Agric. And Nat. Resources. Univ. of California.

DAÑO FOLIAR CAUSADO POR Curculionidos EN LIMÓN PERSA (CITRUS LATIFOLIA TANAKA), EN HUIMANGUILLO, TABASCO.

Luis Fernando Luna Aguilar[1], José Abel Broca Badal[1], Ángel David Avalos Hernández[1], Ángel Isaí de la Cruz Molina[1], Aaron de Jesús Lezama Garcia[1], Dante Sumano López[2], Sergio Salgado Velázquez[2].

[1]Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco. CP. 86500. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Km 1. Carretera Huimanguillo-Cárdenas, C.P. 86400. Huimanguillo, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: sumano.dante@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Picudo, plaga, producción*

Introducción

El limón persa (*Citrus latifolia Tanaka)* constituye un cultivo de importancia agrícola en México y forma parte de la actividad citrícola orientada tanto al mercado nacional como a la exportación. La producción de cítricos se desarrolla en distintas regiones del país y su comportamiento productivo puede estar condicionado por factores ambientales, de manejo y fitosanitarios (Maya Ambía, 2017). Entre los organismos asociados a los cítricos se encuentran los curculiónidos, cuyos adultos pueden alimentarse directamente del follaje y producir cortes o perforaciones en las hojas, mientras que en algunas especies las larvas se desarrollan en el suelo y se alimentan de raíces (Gallego C. et al., 2012).

En la zona citrícola de Huimanguillo, Tabasco, Sumano-López et al. (2023a) identificaron curculiónidos asociados al limón persa: dos morfotipos de *Epicaerus spp., E. opulentus* y *C. subfasciatus*. Posteriormente, se realizaron las fluctuaciones poblaciones de las especies y se encontró que los los dos morfotipos de *Epicaerus,* quienes muestran una similitud morfológica alcanzaron abundancias mayores que *E. opulentus* y *C. subfasciatus* en algunos de los sitios evaluados, lo que señala la necesidad de conocer no solamente su presencia y abundancia, sino también la magnitud del daño que pueden ocasionar. Este antecedente proporciona la base taxonómica para abordar estudios posteriores sobre su biología, comportamiento y posible importancia fitosanitaria. La pérdida de tejido foliar es relevante porque las hojas participan en la captura de carbono y en otros procesos fisiológicos de la planta. En *C. latifolia* se han utilizado variables como la asimilación neta de carbono, la conductancia estomática y la transpiración para caracterizar la respuesta fisiológica de las hojas bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo (Sivager et al., 2021). Asimismo, estudios en limón persa han evaluado directamente variables de floración, producción y calidad de fruto, mostrando que el comportamiento productivo puede modificarse en función de las condiciones de manejo (Ambriz Cervantes et al., 2018). Estos antecedentes indican qué variables podrían emplearse en estudios posteriores para relacionar niveles de pérdida foliar con respuestas fisiológicas y productivas, pero no permiten atribuir los cambios observados en esos trabajos al daño causado por los curculiónidos del presente estudio.

Objetivo

Cuantificar el área foliar consumida por los curculiónidos asociados al limón persa (Citrus latifolia Tanaka) bajo condiciones de confinamiento en Huimanguillo, Tabasco.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en el Campo Experimental Huimanguillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Huimanguillo, Tabasco. El estudio se efectuó en una plantación de limón persa (Citrus latifolia Tanaka) de ocho años de edad, localizada en el ejido Encomendero, en la zona citrícola del municipio (17.78480° N, 93.52840° O).

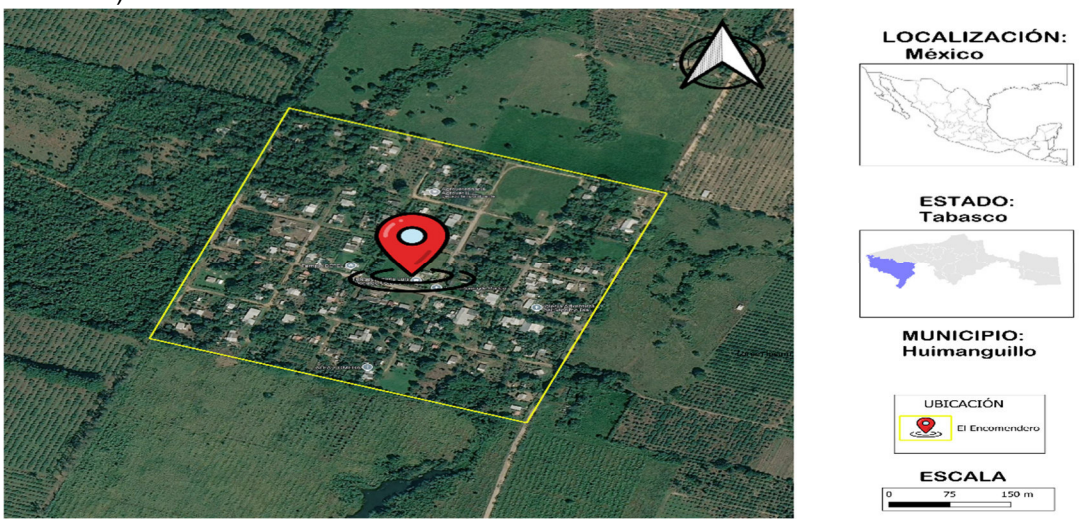


Figura 1. Ubicación del punto de recolección en El Encomendero, Municipio de Huimanguillo, Tabasco. Fuente: Elaboración propia mediante QGIS.

Colecta e identificación de los curculiónidos

Los ejemplares se recolectaron mediante el método de golpeo, utilizando un paraguas entomológico colocado debajo del follaje mientras se golpeaban las ramas para provocar la caída de los insectos presentes en la copa. Los ejemplares capturados se depositaron en recipientes de boca ancha y posteriormente se separaron de acuerdo con características externas de coloración y forma.

La identificación y clasificación morfológica de los ejemplares se realizó mediante comparación de caracteres externos y observación del dimorfismo sexual con un estereoscopio Swift, modelo 740197. Las categorías correspondieron a *Epicaerus sp*. (1), *Epicaerus sp.* (2), *Exophthalmus opulentus* y *Cleistolophus subfasciatus*, de acuerdo con los grupos registrados previamente para la zona por Sumano-López et al. (2023b).

Confinamiento y evaluación del daño foliar

Los curculiónidos se mantuvieron en recipientes plásticos de 20 L, previamente identificados y con ventilación. Para cada grupo se establecieron tres repeticiones, con 10 individuos por repetición y una proporción de 1:1 entre hembras y machos. Los insectos fueron alimentados diariamente con hojas y brotes nuevos de cítricos durante 60 días.

Las hojas que presentaron daño se retiraron cada 24 h, se midieron y se fotografiaron para determinar el área foliar consumida. Las imágenes se procesaron mediante ImageJ®, previamente calibrado con una regla milimétrica, y posteriormente mediante el paquete EBImage en R. Para

separar el tejido foliar del fondo, las imágenes se descompusieron en los canales rojo, verde y azul y se calculó el índice de exceso de verde, ExG = 2G − R − B. La segmentación se realizó mediante umbralización de Otsu y se aplicaron operaciones morfológicas de apertura y cierre para mejorar la definición del contorno.

Las zonas internas claras correspondientes a lesiones, reflejos o galerías se rellenaron digitalmente para evitar que fueran interpretadas como tejido consumido. En contraste, las mordeduras conectadas con el margen externo de la hoja se conservaron como área foliar consumida.

Registro de condiciones ambientales

Durante los 60 días de evaluación se registraron diariamente la temperatura ambiental y la humedad relativa mediante un higrómetro digital Steren TR-150. Las lecturas se realizaron a la misma hora cada día y se utilizaron para caracterizar las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló el confinamiento y la evaluación del consumo foliar.

Resultados y discusión

Condiciones ambientales durante el experimento

La temperatura ambiental presentó un promedio de 32.85 °C, con una desviación estándar de 3.65 °C y un intervalo de 26.5 a 44.3 °C. La humedad relativa presentó un promedio de 64.35 %, con una desviación estándar de 9.09 % y valores de 38 a 82 % (Tabla 1). Estos registros permiten documentar las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolló el confinamiento. No se realizó un análisis estadístico para establecer una relación causal entre temperatura, humedad y consumo foliar; por ello, las variables ambientales se interpretan únicamente como caracterización del periodo experimental.

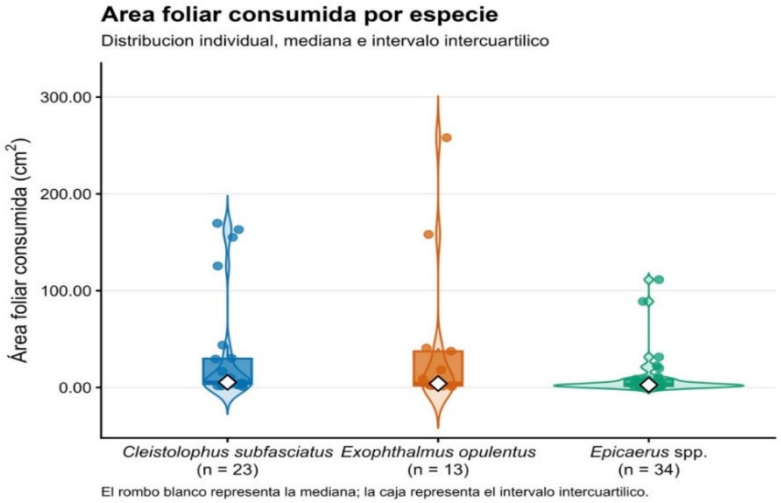
Cuadro 1. Condiciones ambientales registradas durante los 60 días de evaluación

Variable	Media	DE	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	32.85	3.65	26.5	44.3
Humedad relativa (%)	64.35	9.09	38	82

Daño foliar cuantificado

La cuantificación del área foliar consumida mostró diferencias en la distribución de las observaciones entre los tres grupos de análisis (Figura 2*). Exophthalmus opulentus* presentó los valores individuales más elevados, con observaciones que alcanzaron aproximadamente 260 cm². *Cleistolophus subfasciatus* presentó valores individuales que llegaron aproximadamente a 170 cm², mientras que *Epicaerus spp*. concentró la mayor parte de las observaciones en valores bajos, aunque también se registraron observaciones superiores a 100 cm². En la figura se muestran 23 observaciones *para C. subfasciatus,* 13 para *E. opulentus* y 34 para *Epicaerus spp.*

La distribución observada indica que el consumo foliar no fue uniforme entre los grupos evaluados. En particular, la presencia de valores altos en *E. opulentus* muestra que algunos eventos de alimentación produjeron una pérdida considerable de tejido en una sola hoja. Sin embargo, estos valores deben interpretarse como observaciones individuales de consumo bajo confinamiento y no como una estimación del daño promedio que ocurriría en una plantación comercial.



En el caso de *Epicaerus spp*., la agrupación de los dos morfotipos permitió analizar conjuntamente su comportamiento de consumo foliar, de acuerdo con el criterio establecido para este estudio. Esta decisión no modifica la clasificación morfológica realizada previamente, sino que responde exclusivamente al propósito de comparar el daño foliar del grupo. La elevada similitud morfológica de los dos morfotipos ya ha sido señalada en los estudios realizados en Huimanguillo (Sumano-López et al., 2023b).

Los resultados también deben interpretarse en relación con la abundancia registrada previamente en campo. Sumano-López et al. (2023a) encontraron que los morfotipos de Epicaerus podían alcanzar poblaciones mayores que *E. opulentus* y *C. subfasciatus* en algunos sitios de Huimanguillo. Por ello, el impacto de un grupo de curculiónidos no debe valorarse únicamente por el consumo de un individuo, sino también por su abundancia, permanencia en el cultivo y duración de la infestación. No obstante, el presente experimento fue diseñado para cuantificar el consumo foliar y no para estimar el daño acumulado a escala de árbol o de hectárea.

La literatura sobre defoliación en cítricos muestra que la pérdida de hojas puede generar respuestas diferentes dependiendo de la magnitud y el momento de la defoliación. Yuan et al. (2005) observaron que niveles moderados de defoliación no necesariamente redujeron el rendimiento en ciertos escenarios experimentales, mientras que niveles mayores y aplicados en determinados momentos sí modificaron el rendimiento en algunos cultivares de naranja. Esta evidencia es importante para interpretar los resultados del presente trabajo: el área foliar consumida constituye una medida objetiva del daño, pero por sí sola no permite establecer un umbral fisiológico o productivo para el limón persa.

En *C. latifolia* se han medido variables fisiológicas como la asimilación neta de carbono, la conductancia estomática y la transpiración, así como variables productivas como el rendimiento y la calidad de fruto en otros estudios (Sivager et al., 2021; Ambriz Cervantes et al., 2018). Por tanto, una continuación experimental del presente trabajo podría evaluar diferentes niveles de pérdida de área foliar y relacionarlos directamente con estas variables. Esto permitiría determinar si el daño observado en las hojas se traduce en cambios fisiológicos o productivos bajo condiciones de campo.

Figura 2. Área foliar consumida por los grupos de curculiónidos evaluados en hojas de limón persa *(Citrus latifolia Tanaka)* bajo condiciones de confinamiento en Huimanguillo, Tabasco.

Conclusión

La cuantificación del área foliar consumida permitió caracterizar el daño ocasionado por los curculiónidos asociados al limón persa bajo condiciones de confinamiento en Huimanguillo, Tabasco. Entre los grupos analizados, *Exophthalmus opulentus* presentó los valores individuales más elevados de área foliar consumida, mientras que *Epicaerus spp*., integrado operacionalmente por los dos morfotipos evaluados, concentró la mayor parte de las observaciones en valores bajos, aunque con variabilidad entre observaciones. Se recomienda que estudios posteriores relacionen diferentes niveles de pérdida de área foliar con fotosíntesis, conductancia estomática, crecimiento, floración, producción y calidad de fruto.

Agradecimientos

A los productores de limón persa de la zona citrícola de Huimanguillo, Tabasco, por permitir la realización de los muestreos en sus huertas. Se agradece también al personal del Campo Experimental Huimanguillo del INIFAP por el apoyo proporcionado durante las actividades de campo y laboratorio.

Referencias

Cano, D. M., Bustillo, A. E., Cárdenas, R., Orozco, L. (2002) Biología y enemigos nativos del picudo de los cítricos Compsus n. sp. (Coleoptera: Curculionidae). Revista Colombiana de Entomología, 28 (1), 43–52. https://doi.org/10.25100/socolen.v28i1.9627

Díaz, G. & Peñaloza, M. C. (2004) Así se maneja y controla el picudo de los cítricos Compsus sp.. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/18956

Maya A.C. (2017) Cítricos mexicanos en el mercado japonés: experiencias y oportunidades para Sinaloa. Análisis 6(16) 108-142. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-53082017000100107&lng=es&tlng=es.

Sumano-López, D., Sánchez-Soto, S., Bautista-Martínez, N., Ortiz-García, C. F., García-López, E., Sol-Sánchez, Ángel., Ramos-Hernandez, E. & Wallace-Jones, R. (2023a) Fluctuación Poblacional de Curculionidae Asociados a Limón Persa en Tabasco, México. Southwestern Entomologist 48(1), 213-220. https://doi.org/10.3958/059.048.0121

Sumano-López, D., Wallace-Jones, R., Sánchez-Soto, S., Bautista-Martínez, N., Ortiz-García, C. F., García-López, E., & Sol-Sánchez, Ángel. (2023b). Especies de picudos (Coleoptera: Curculionidae) asociados a limón persa en Tabasco, México. Acta Zoológica Mexicana (N.S.), 39(1), 1–11. https://doi.org/10.21829/azm.2023.3912604

ECONOMÍA CIRCULAR

SISTEMA SUSTENTABLE DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL CON TRES ESPECIES FORESTALES.

Sergio Alonso Hernández-Sánchez[1]*, Miriam Gallegos-González [1], Ismael Valencia-Hernández[1], Jedive Abarca-Córdova [1], José Javier Torres-Hernández[1], Isaías de Abraham Almeida[1], Manuel Damián Domínguez-Palma[1], Ángel Antonio Frías-Aguilar[1], René Omar Torres-García[1], Javier Ruíz-García[1] y Fernando Antonio De la Cruz-De la Cruz[2]

[1]Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca (ITZO), Prol. De Ignacio Zaragoza s/n, Villa Ocuiltzapotlán, Centro, Tab. CP 86270
[2]Prestador de Servicios Técnicos Forestales.
*Autor para correspondencia: sergio.hs@zolmeca.tecnm.mx

Palabras clave: *Carbonización, biomasa residual, sustentabilidad, pirólisis.*

Introducción

El principal producto forestal maderable en términos de volúmenes extraídos, es madera que se utiliza con fines de aserrío y celulosa, sin embargo, un bajo porcentaje es utilizado con fines energéticos. La mayoría de esta madera se utiliza directamente como leña o se transforma en carbón vegetal según patrones de uso y técnicas tradicionales. A diferencia del uso moderno o industrial de la madera para energía, se caracterizan por su heterogeneidad espacial, por concentrarse en el sector campesino y residencial, por el uso extendido de tecnologías locales, y por las prácticas y sistemas de extracción diversos. Contrario a la leña para uso residencial, la producción de carbón vegetal en países en desarrollo ha sido señalada con mayor frecuencia como una causa directa de degradación forestal (Chidumayo 1991, Ahrends et al. 2010).
Las entidades federativas, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), en el primer trimestre de 2025, con mayor número de Productores de Carbón Vegetal, fueron Sonora (1.28k), Tabasco (938) y Quintana Roo (842).
Este trabajo es resultado de un Proyecto Integrador, cuyo objetivo principal en el Tecnológico Nacional de México (TecNM) es articular los conocimientos teóricos y prácticos de diversas asignaturas cursadas en un mismo periodo. Su finalidad es que los estudiantes desarrollen competencias profesionales resolviendo problemas reales o necesidades específicas del sector productivo, tecnológico y social de su entorno. Fue así que, con la participación de estudiantes del 8º. Semestre de la carrera de Ingeniería Industrial, se diseñó un sistema de horno metálico para la producción de carbón vegetal, eficiente y de bajo costo para transformar la biomasa forestal, en carbón vegetal de calidad. Actualmente, gran parte de esta biomasa no se utiliza adecuadamente, representando una oportunidad desaprovechada, además, de promover el uso sustentable de los recursos forestales, fortaleciendo la economía local y contribuyendo al desarrollo rural sostenible.

Materiales y métodos

El proyecto se realizó en tres etapas, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca.
La primera etapa. Consistió en la construcción de un horno metálico, fabricado con tanques de metal, reutilizados, chimenea metálica, tubo de escape, como salida secundaria de gases.
La Segunda etapa. Abarcó la instalación del horno en la base de prueba, que se construyó con tarimas de madera, con la finalidad de fijar el horno metálico, así como tierra para el relleno del perímetro, cuyo objetivo es evitar la transferencia de calor excesiva al exterior, además de tener un mejor desempeño en el manejo.
La tercera etapa, Consistió en el registro de las cargas de leña seca inicial y del carbón obtenido, para determinar las siguientes variables:
Porcentaje de Rendimiento en Peso (% Rendimiento Másico). Es el indicador más preciso y confiable

a nivel industrial. Mide la cantidad de carbón comercializable obtenido en relación con la masa de madera seca utilizada como materia prima.
(V1) % Rendimiento Másico = (peso de carbón obtenido) / (peso de la madera seca inicial) x 100
Relación de Conversión Másica (Tasa de Conversión). Expresa la cantidad de kilogramos o toneladas de madera necesarios para producir una unidad equivalente de carbón (por ejemplo, una proporción de 5:1 indica que se requieren 5 kg de madera para generar 1 kg de carbón).
(V2) Relación de conversión másica = peso de madera seca inicial/peso de carbón obtenido
Rendimiento Volumétrico. Utilizado frecuentemente en operaciones de campo donde no se dispone de básculas industriales. Mide los metros cúbicos estéreos (m^3 st) de madera consumidos por cada tonelada de carbón producida.
(V3) Rendimiento volumétrico= (volumen del horno (m^3) / peso del carbón obtenido (kg) x 1000 kg
Las pruebas evaluadas fueron los siguientes:

- P1. Biomasa de Tinto (*Haematoxylum campechianum*)
- P2. Biomasa de Tocó *(Cocoloba barbadensis)*
- P3. Biomasa de Macuilís *(Tabebuia rosea)*



Figura 1. Carga de la cámara de combustión y encendido del horno metálico, instalado en el sector Productivo del ITZO.

Resultados y discusión

Los resultados del Cuadro 1, muestran que la biomasa de Tinto (P1) presentó el mayor rendimiento másico (35%) y el mayor tiempo de combustión (3 h), indicando una mayor eficiencia en la producción de carbón. Por su parte, Macuilís (P3) alcanzó el mayor rendimiento volumétrico (15.38 m^3 st), mientras que Tocó (P2) mostró valores intermedios.

Cuadro 1. Resultados comparativos de las variables de producción de carbón vegetal en tres especies arbóreas tropicales.

Tratamientos	Variables			
	% Rendimiento másico V1	Tasa de conversión V2	Rendimiento volumétrico (m^3 st) V3	Tiempo de combustión (h)
P1	35	3:1	6.6	4
P2	25	4:1	13.33	3
P3	21	4:1	15.38	3

La Figura 2 confirma que la biomasa de Tinto (P1) el mejor desempeño en la conversión 3:1 y aunque con un mayor tiempo de combustión, debido a que las especies con alta densidad básica (maderas duras como el Tinto) ofrecen mayores rendimientos en peso y carbones con mayor poder calorífico en comparación con las especies blandas.

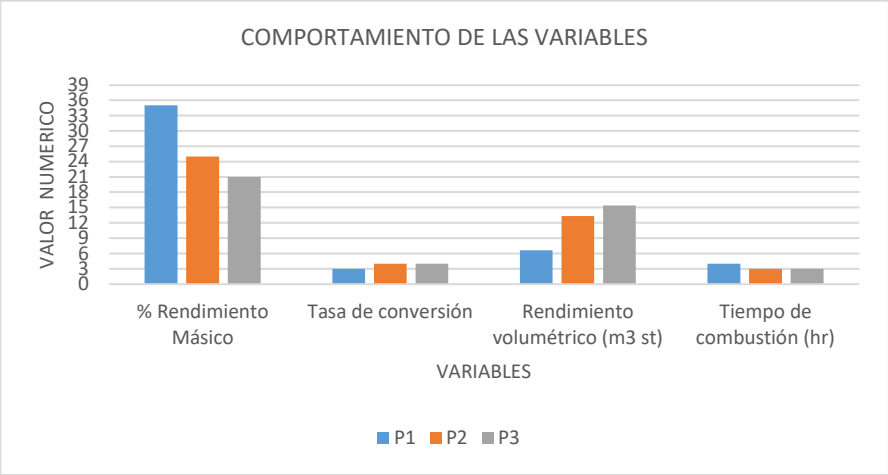


Figura 2. Comparación de indicadores de desempeño en la producción de carbón vegetal a partir de biomasa de Tinto, Tocó y Macuilís.

Tomando como referencia los rangos de eficiencia reportados por la FAO para los sistemas de carbonización, registrados en el Cuadro 2. Los resultados obtenidos indican que el tratamiento P1 (biomasa de Tinto) alcanzó una relación de conversión de 3:1, valores equivalentes a los obtenidos en retortas industriales de alta eficiencia. Por su parte, P2 (Tocó) y P3 (Macuilís) presentaron rendimientos de 25 % y 21 %, respectivamente, con una tasa de conversión de 4:1, ubicándose dentro del rango característico de los hornos de ladrillo. Aunque P3 registró el mayor rendimiento volumétrico (15.38 m³ st), P1 mostró el mejor desempeño global al combinar mayor rendimiento másico, menor consumo de biomasa por unidad de carbón producido y mayor tiempo de combustión, lo que sugiere una mejor calidad energética del carbón obtenido.

Cuadro 2. Clasificación de los rendimientos promedio de la conversión, según el sistema de Carbonización, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Método de Carbonización	Rendimiento Promedio (en Peso)	Relación Madera: Carbón
Hornos tradicionales (artesanales)	10% - 15%	10:1 hasta 7:1
Hornos semitecnificados (ladrillo/metal)	20% - 25%	4:1 hasta 5:1
Retortas industriales (alta tecnología)	30% - 35%	3:1



Figura 3. Carbón vegetal de tinto, extraído del horno metálico, después del proceso de combustión.

Conclusiones

La biomasa de Tinto (P1) presentó el mejor desempeño, con 35 % de rendimiento másico, conversión 3:1 y mayor tiempo de combustión, valores comparables a los de retortas industriales según la FAO. Tocó (P2) y Macuilís (P3) mostraron eficiencias propias de hornos de ladrillo. Estos resultados evidencian la eficiencia del horno metálico construido para este proyecto.

La temperatura óptima para maximizar el rendimiento de carbono fijo se sitúa entre los 400 °C y 500 °C. Temperaturas superiores incrementan la volatilización, reduciendo el peso total del carbón.

Con este proyecto integrador se logró el diseño y construcción de un sistema eficiente y de bajo costo para transformar la biomasa forestal subutilizada, en carbón vegetal de buena calidad. El prototipo fabricado es rentable, pues se pueden producir con un solo horno, de 600 a 900 kg de carbón vegetal al mes, dependiendo de la densidad de la especie vegetal.

Si el valor promedio a la fecha, es de $20.00 por kilo de carbón, usando el prototipo de horno metálico, se puede llegar a obtener con una producción mínima de 600 kg de carbón al mes, una ganancia de venta de $12,000.

La transferencia de tecnología que se logró con este sistema sustentable de producción de carbón vegetal, mediante un horno metálico, fortalecerá a los pequeños productores, con plantaciones forestales, al brindarles una alternativa productiva para aprovechar los residuos de poda, fomentará la organización comunitaria, la capacitación técnica y la generación de oportunidades locales, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las familias rurales y promoviendo el desarrollo regional, al permitir generar valor agregado a la biomasa forestal mediante la producción de carbón vegetal, creando una fuente adicional de ingresos, reduciendo desperdicios y optimizando recursos disponibles, impulsando la economía local y promoviendo un modelo productivo más rentable y sostenible, con el aprovechamiento responsable de los recursos forestales al transformar residuos en productos útiles, disminuyendo la quema a cielo abierto y la acumulación de desechos. Además, promoverá prácticas sustentables que contribuyan a la reducción del impacto ambiental y al manejo adecuado de la biomasa.

Referencias bibliográficas

Ahrends, A., Burgess, N. D., Milledge, S. A. H., Bulling, M. T., Fisher, B., Smart, J. C. R., Clarke, G. P., Mhoro, B. E., & Lewis, S. L. (2010). Predictable waves of sequential forest degradation and biodiversity loss spreading from an African city. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(33), 14556–14561.

Chidumayo, E. N. (1991). Woody biomass structure and utilisation for charcoal production in a Zambian miombo woodland. Bioresource Technology, 37(1), 43–52.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1983). Métodos simples para la fabricación de carbón vegetal (Estudio FAO: Montes N° 41). Roma, Italia: FAO.

Schenkel, Y., Bertaux, P., Vanwijnsberghe, S., & Carre, J. (1997). An evaluation of the charcoal production in practice. Biomass and Bioenergy, 13(3), 125-139.

Zaror, C. A., & Pyle, D. L. (1982). The kinetics of biomass pyrolysis in the presence of oxygen. Fuel, 61(12), 1215-1222.

ELABORACIÓN DE PELLETS A PARTIR DE CÁSCARA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) EN EL TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LA REGIÓN SIERRA

Manolo Sanchez-Pérez[1]*, Isaac Arias-Méndez[1] y Heberto Emmanuel Diaz-Diaz[1]

[1]Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra (ITSS), Carretera Teapa-Tacotalpa km 4.5, Ejido Francisco Javier Mina, C.P. 86801, Teapa, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: Manolosp7310@gmail.com

Palabras clave: *Biomasa lignocelulósica*, *valorización de residuos*, *densificación*, *biocombustible sólido*, *aprovechamiento energético.*

Introducción

La actividad cacaotera genera cantidades importantes de residuos provenientes principalmente de la mazorca, los cuales con frecuencia permanecen en las áreas de producción o son incorporados al suelo sin un aprovechamiento energético. La valorización de estos residuos representa una alternativa para transformar un subproducto agrícola en un material con potencial de uso como biocombustible sólido. La cáscara de cacao constituye una biomasa lignocelulósica que puede ser sometida a procesos de acondicionamiento, secado, reducción de tamaño y densificación para obtener materiales compactados.
Estudios previos han demostrado que la cáscara de mazorca de cacao posee potencial energético. Syamsiro et al. reportaron un poder calorífico superior de aproximadamente 17.0 MJ/kg para cáscara de cacao, mientras que investigaciones recientes sobre pellets de este residuo han mostrado que la humedad, la cantidad de aglutinante y las condiciones de compactación pueden modificar de manera importante las propiedades físicas y energéticas del producto. Estos antecedentes respaldan la necesidad de caracterizar experimentalmente el material disponible en la Región Sierra de Tabasco antes de establecer su viabilidad como combustible.
El presente proyecto se desarrollará en el Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra (ITSS), en Teapa, Tabasco, durante el periodo comprendido entre septiembre y diciembre de 2026, con una carga aproximada de 500 horas de residencia profesional. El objetivo general es elaborar y caracterizar pellets a partir de cáscara de cacao (Theobroma cacao L.) mediante el acondicionamiento, reducción de tamaño y densificación de la biomasa residual, para determinar sus principales propiedades físicas, fisicoquímicas y energéticas y evaluar su viabilidad técnica preliminar como biocombustible sólido.
Los objetivos específicos son: recolectar y acondicionar la cáscara mediante selección, limpieza, reducción de tamaño y secado; determinar humedad, materia seca, cenizas, densidad aparente y distribución del tamaño de partícula; comparar los resultados entre tratamientos experimentales e identificar la condición de elaboración con características más favorables; y (4) integrar y analizar los resultados para establecer una viabilidad técnica preliminar.

Materiales y métodos

Área de estudio y materia prima. El proyecto se realizará principalmente en los laboratorios y áreas disponibles del ITSS, ubicado en la carretera Teapa-Tacotalpa km 4.5, Ejido Francisco Javier Mina, Teapa, Tabasco. La materia prima será cáscara de mazorca de cacao procedente de una zona productora de la Región Sierra de Tabasco. Se registrarán procedencia, fecha de recolección, tipo o variedad cuando sea posible identificarla, estado de madurez, peso y condiciones de almacenamiento.
Acondicionamiento y caracterización de la biomasa. La cáscara será seleccionada y limpiada para retirar tierra, piedras y otros materiales extraños. Posteriormente se secará hasta alcanzar condiciones apropiadas para la molienda. La caracterización inicial comprenderá humedad, materia seca, cenizas, densidad aparente y granulometría. La humedad se determinará por diferencia de peso antes y después del secado; la materia seca se calculará a partir de dicho valor; las cenizas se

determinarán por calcinación cuando exista mufla disponible; la densidad aparente se obtendrá mediante la relación masa/volumen y la granulometría mediante tamizado.

Preparación y peletizado. La biomasa seca será molida y tamizada para obtener una distribución de tamaño de partícula uniforme. Se realizarán pruebas preliminares para determinar la humedad adecuada para la compactación. Cuando se utilice aglutinante, se registrará la proporción empleada. La biomasa acondicionada será introducida en el equipo de peletizado o sistema de compactación disponible en el ITSS. Se registrarán masa de biomasa, humedad, tamaño de partícula, cantidad de aglutinante, presión o condición de compactación cuando el equipo permita medirla, tiempo de compactación, diámetro y longitud del pellet y condiciones de secado.

Caracterización de los pellets. Después de la compactación, los pellets se secarán y estabilizarán a temperatura ambiente. Se determinarán humedad, densidad, diámetro, longitud, resistencia o durabilidad mecánica y contenido de cenizas. Cuando exista disponibilidad de bomba calorimétrica, se determinará el poder calorífico superior. Si alguna determinación especializada no puede realizarse en el ITSS, se recurrirá a un laboratorio externo o institución de investigación mediante colaboración o servicio analítico.

Diseño experimental y análisis estadístico. El anteproyecto establece que deberán compararse tratamientos y que, para mantener la viabilidad dentro de las 500 horas de residencia, se recomienda trabajar con pocos tratamientos bien controlados. Para cumplir con la guía de la Reunión Científica-Tecnológica, se propone como esquema de análisis un diseño completamente al azar con tres tratamientos de acondicionamiento definidos a partir de pruebas preliminares y tres repeticiones por tratamiento. Los niveles exactos de humedad y/o formulación deberán fijarse después de las pruebas preliminares y de acuerdo con el equipo disponible; por ello, no se presentan como resultados ni como valores definitivos del proyecto.

Los datos serán organizados en una base de datos y se calcularán media, desviación estándar y coeficiente de variación. Cuando el número de tratamientos y repeticiones permita un análisis paramétrico, se aplicará un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 5 %. En caso de detectar diferencias significativas, se aplicará una prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$). Antes del ANOVA se revisarán los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Si los supuestos no se cumplen, se considerará una alternativa no paramétrica acorde con la estructura final de los datos. Este esquema estadístico es una propuesta de trabajo y deberá ajustarse a la cantidad final de tratamientos y observaciones obtenidas.

Cuadro 1. Variables, métodos de determinación y uso previsto en el análisis experimental.

Variable	Método	Unidad	Uso en el análisis
Humedad	Diferencia de masa antes/después del secado	%	Variable de respuesta
Cenizas	Calcinación en mufla, si está disponible	%	Variable de respuesta
Densidad	Masa/volumen	g/cm³	Variable de respuesta
Granulometría	Tamizado	mm / % retenido	Variable de proceso
Durabilidad	Prueba mecánica disponible	%	Variable de respuesta
Poder calorífico	Bomba calorimétrica, si está disponible	MJ/kg	Variable energética

Resultados y discusión

El proyecto se encuentra planteado para ejecutarse de septiembre a diciembre de 2026; por lo tanto, en esta etapa no existen resultados experimentales propios que puedan reportarse como datos definitivos. En consecuencia, esta sección presenta los resultados esperados y su discusión con base en antecedentes publicados, sin atribuir dichos valores al material que será procesado en el ITSS.

Se espera que el acondicionamiento reduzca el contenido de humedad y facilite la reducción de tamaño y compactación de la biomasa. La literatura indica que la humedad del material influye en la densificación y en las propiedades finales del pellet. Un estudio reciente sobre pellets de cáscara de

mazorca de cacao encontró que humedad, cantidad de aglutinante y relación de compresión tuvieron efectos significativos sobre propiedades fisicoquímicas del producto (pH≤0.05). En ese trabajo se reportaron valores de poder calorífico superior entre 18.28 y 19.30 MJ/kg, aunque estos valores corresponden a otra materia prima, condiciones de proceso y origen, por lo que no deben considerarse como valores esperados obligatorios para el material de Tabasco.

De igual manera, investigaciones sobre cáscara de mazorca de cacao como fuente energética han reportado valores cercanos a 17 MJ/kg de poder calorífico superior y han señalado que el contenido de cenizas puede ser relativamente elevado respecto de otras biomasas. Esto hace necesario determinar experimentalmente la composición del material regional y considerar el contenido de cenizas como una variable relevante para la evaluación energética.

El resultado más importante del proyecto será la identificación de la condición experimental que presente un equilibrio favorable entre humedad, densidad, integridad mecánica, contenido de cenizas y poder calorífico, dentro de las posibilidades técnicas del ITSS. Los resultados obtenidos permitirán valorar de manera preliminar si la cáscara de cacao disponible en la Región Sierra puede transformarse en un combustible sólido densificado con características reproducibles.

Conclusiones

La cáscara de mazorca de cacao constituye un residuo agrícola susceptible de valorización mediante procesos de acondicionamiento y densificación. El proyecto permitirá caracterizar la materia prima y evaluar experimentalmente la elaboración de pellets bajo las condiciones disponibles en el Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra.

La determinación de humedad, cenizas, densidad, granulometría, durabilidad y poder calorífico permitirá establecer una valoración técnica preliminar del producto. La comparación estadística de los tratamientos permitirá identificar la condición experimental más favorable, siempre que el número final de observaciones permita realizar los análisis previstos.

Debido a que el proyecto aún se encuentra en fase de ejecución, las conclusiones definitivas sobre el desempeño energético de los pellets deberán establecerse únicamente después de obtener y analizar los resultados experimentales.

Referencias bibliográficas

Jekayinfa, S. O. y Enweremadu, C. C. (2026). Influence of processing parameters on the quality of cocoa pod husk biomass pellets. Biofuels, 17(2), 286–306. https://doi.org/10.1080/17597269.2025.2524905.

Syamsiro, M., Saptoadi, H., Tambunan, B. H. y Pambudi, N. A. (2012). A preliminary study on use of cocoa pod husk as a renewable source of energy in Indonesia. Energy for Sustainable Development, 16(1), 74–77. https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.10.005.

International Organization for Standardization. (2021). ISO 17225-2:2021. Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 2: Graded wood pellets.

Chinonso, O. et al. (2024). Physicochemical characterization of briquette fuel produced from cocoa pod husk: case of Cameroon. Results in Engineering.

Energy, Sustainability and Society. (2019). Quantification and characterization of cocoa pod husks for electricity generation in Uganda. Energy, Sustainability and Society, 9, 22.

FORESTERÍA Y SILVICULTURA

CRECIMIENTO E INCREMENTO DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. EN MICHOACÁN, MÉXICO

Jonathan Hernández-Ramos[1*], Xavier García-Cuevas[2], Enrique Buendía-Rodríguez[3], Casimiro Ordoñez-Prado[4], Bossuet Gastón Cortés-Sánchez[5] y Francisco Javier Ruiz Hernández[6]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Bajío, km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, C.P. 38010, Celaya, Guanajuato, México. [2]INIFAP-Campo Experimental Chetumal, km 25 Carretera Chetumal-Bacalar, C.P. 77930, Xul-ha, Quintana Roo, México. [3]INIFAP-Campo Experimental Valle de México, km 13,5, Carretera Los Reyes-Texcoco, Coatlinchán, CP 56250, Texcoco de Mora, Edo. de México, México. [4]INIFAP-Campo Experimental San Martinito, km. 56, [5]Carretera Federal México-Puebla, C.P. 74100, Santa Rita Tlahuapan, Puebla, México. 5INIFAP-Sitio Experimental Tlaxcala. Carr. Sta. Ana - Tlaxcala, Industrial, 90802 Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala, México. [6]Dirección Técnica Forestal-Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP). Mariano Matamoros 51, San Mateo, 60490 Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México.
*Autor para correspondencia: hernandez.jonathan@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Regresión cuantílica, turnos, silvicultura.*

Introducción

Pinus pseudostrobus Lindl. es una de las especies más ampliamente distribuidas en México y mayor importancia económica en las regiones forestales del occidente del país. Su aprovechamiento comercial demanda información biométrica confiable, especialmente de modelos que describan su dinámica de crecimiento e incremento a lo largo del tiempo (Diéguez-Aranda et al., 2009). El conocimiento del crecimiento en diámetro normal (*dn*, cm), altura dominante (*Ad*, m) y volumen fustal (*V*, m^3) es fundamental para la planificación del manejo forestal, así como la determinación del turno de corta óptimo.
La calidad de estación es el indicador que representa la capacidad productiva de un lugar está dada principalmente por el suelo, clima y topografía. Esta capacidad es expresada generalmente por el índice de sitio. Una alternativa para discriminar las distintas calidades de sitio es a través de la regresión cuantílica. Esta técnica permite generar rectas de regresión y evaluar su efecto a cualquier porción dada de una variable respuesta, definida por su distribución de probabilidad, lo que resulta en una descripción más detallada del fenómeno de estudio (Nava-Nava y Antúnez, 2018). Lo anterior, provee información para determinar el turno de corta que es uno de los aspectos más críticos en la gestión forestal. Tradicionalmente, el turno técnico se establece cuando el incremento corriente anual (ICA) iguala el incremento medio anual (IMA), mientras que, el turno financiero considera factores económicos como las tasas de interés y los costos de producción. Sin embargo, ambos enfoques no consideran la heterogeneidad de la productividad del sitio, lo que puede llevar a decisiones inadecuadas. La regresión cuantílica permite abordar esta limitación al generar curvas de crecimiento específicas para diferentes niveles de productividad (Longfei et al., 2021). A pesar de los descrito previamente, existen pocos estudios que hayan evaluado el crecimiento de esta especie utilizando técnicas de regresión cuantílica en México. El objetivo del presente estudio fue ajustar mediante regresión cuantílica modelos de crecimiento para *Pinus pseudostrobus* en Michoacán, México para determinar el turnos y madurez financiera por cuantil para variables dasométricas.

Materiales y métodos

La base de datos se conformó por 465 árboles dominantes y codominantes por su dominancia vertical dentro del rodal de *Pinus pseudostrobus* procedentes de 60 sitios de muestreo. Las variables medidas y estimadas fueron *dn*, *Ad*, volumen (*V*, m^3) y edad (*E*, años). Se evaluaron cuatro modelos de crecimiento no lineales de estructura sigmoidal: Schumacher, Weibull, Korf y Chapman-Richards. El ajuste se realizó mediante regresión cuantílica (Q10, Q50 y Q90) empleando el paquete

estadístico Rstudio 2025.09.1 Build 401®. La selección del mejor modelo se basó en el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del cuadrado medio del error (RCME), el logaritmo de verosimilitud (LogLik) y los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) y el sesgo. El ICA y el IMA se derivaron a partir del modelo seleccionado. El turno técnico se definió en el punto de intersección ICA = IMA y el financiero de acuerdo con tasas de actualización de mercado (*i*: 2-8%).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los estadísticos de ajuste de los cuatro modelos para *dn* y *Ad*. En ambas variables, el modelo de Chapman-Richards presentó el menor sesgo y los valores más favorables de AIC y BIC, siendo seleccionado como el más adecuado para representar el crecimiento de la especie.

Cuadro 1. Estadísticos de ajuste y precisión de los modelos de crecimiento evaluados.

Modelo / Estadístico	R^2	RCME	Sesgo	Sesgo Q50	LogLik	AIC	BIC
Diámetro normal (*dn*, cm)							
Schumacher	0.7654	8.8257	0.2347	0.6161	-1672.4	3348.8	3357.1
Weibull	0.7753	8.6618	0.2508	0.6582	-1663.7	3333.4	3345.8
Korf	0.7751	8.6465	0.2220	0.5827	-1662.9	3331.8	3344.2
Chapman-Richards	0.7754	8.6536	0.1616	0.4241	-1663.3	3332.5	3345.0
Altura dominante (*Ad*, m)							
Schumacher	0.7601	4.6583	0.4425	1.8430	-1375.3	2754.6	2762.8
Weibull	0.7654	4.5961	0.4011	1.6705	-1369.0	2744.0	2756.5
Korf	0.7615	4.6333	0.4478	1.8649	-1372.8	2751.5	2764.0
Chapman-Richards	0.7662	4.5893	0.3936	1.6394	-1368.3	2742.7	2755.1

Donde: R^2: Coeficiente de determinación. RCME: Raíz del cuadrado medio del error. Q50: Cuantil 50. LogLik: logaritmo de verosimilitud. AIC y BIC: criterios de información Akaike y Bayesiano, respectivamente.

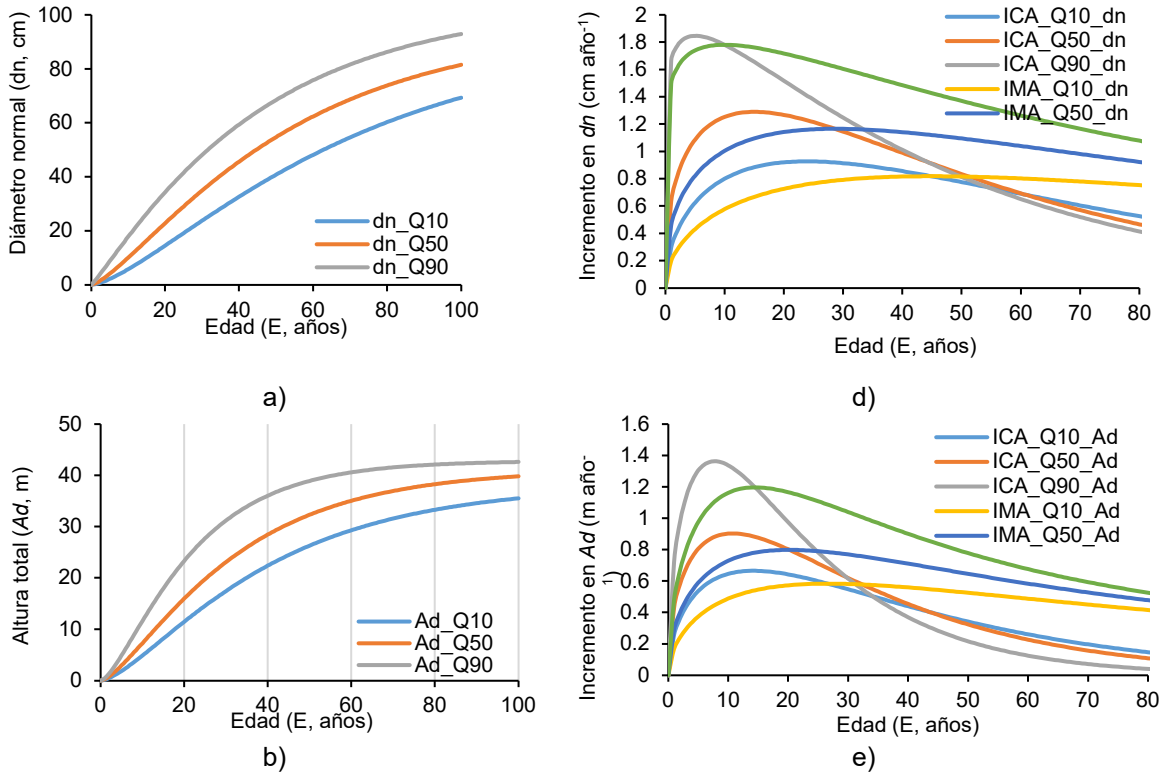
Los parámetros del modelo de Chapman-Richards ajustado por cuantil se presentan en el Cuadro 2. Todos los parámetros resultaron estadísticamente significativos ($p < 0.05$), lo que confirma la validez de los ajustes en los tres cuantiles evaluados.

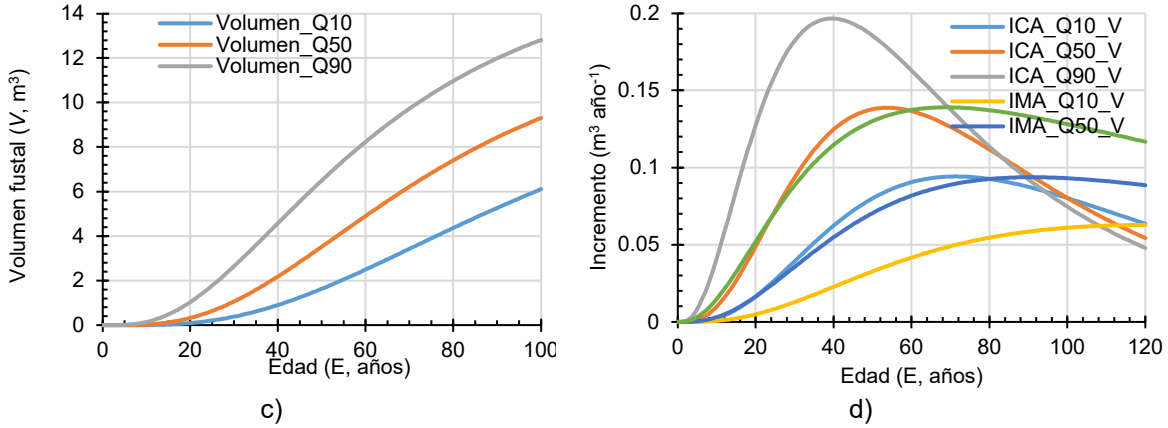
Cuadro 2. Valor de los parámetros por cuantil del modelo de Chapman-Richards para *Pinus pseudostrobus*.

Cuantil (Q)	Parámetro	Valor	Error estándar	Valor t	Valor p
Q50	β_2	0.0174	0.0065	2.6586	0.0081
	β_3	1.5148	0.2112	7.1722	<0.0001
	β_1	95.6595	14.3963	6.6447	<0.0001
	β_2	0.0222	0.0059	3.7658	0.0002

	β_3	1.3976	0.1401	9.9769	<0.0001
Q90	β_1	104.2319	19.3577	5.3845	<0.0001
	β_2	0.0234	0.0101	2.3195	0.0208
	β_3	1.1259	0.2077	5.4213	<0.0001
Altura dominante (*Ad*, m)					
Q10	β_1	38.2046	3.5636	10.7208	<0.0001
	β_2	0.0308	0.0074	4.1614	<0.0001
	β_3	1.5498	0.2586	5.9937	<0.0001
Q50	β_1	41.1779	1.7689	23.2782	<0.0001
	β_2	0.0381	0.0054	7.1198	<0.0001
	β_3	1.5063	0.1636	9.2067	<0.0001
Q90	β_1	42.8496	1.9042	22.5029	<0.0001
	β_2	0.0561	0.0093	6.0326	<0.0001
	β_3	1.5433	0.2212	6.9777	<0.0001

Las tendencias de crecimiento e incremento de las tres variables dasométricas por cuantil se ilustran en la Figura 1. Se observa que los árboles de sitios más productivos (Q90) alcanzan los valores máximos de ICA a edades más tempranas y con tasas de crecimiento considerablemente mayores que los de sitios menos productivos (Q10). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Diéguez-Aranda et al. (2009) para *Pinus sylvestris* L. en España.





c) d)

Figura 1. Tendencias de crecimiento e incremento por variable para *Pinus pseudostrobus*.

El turno técnico (ICA = IMA), varió entre cuantiles y variables (Cuadro 3). Para el *V*, que es la variable más empleada para determina el turno para su cosecha, osciló entre 69 años (Q90: sitios de mayor productividad) y 119 años (Q10: sitio de menor productividad). Por su parte, los sitios con productividad media (Q50) presentaron un turno a los 91 años, reflejando las diferencias en productividad. Estos valores son coherentes con los turnos reportados para la especie en otras regiones de México (Tamarit-Urias et al., 2014). Lo anterior, concuerda con otros estudios que demuestran que el rendimiento en volumen varía por condiciones de la calidad del sitio, y los rodales pueden tener diferentes trayectorias de rendimiento para las diferentes variables del crecimiento y rendimiento (Mensah et al., 2022).

La variabilidad en los turnos técnicos entre cuantiles tiene implicaciones significativas para la planificación de la gestión forestal. En los sitios de alta productividad (Q90), el turno técnico para volumen de 69 años permite rotaciones más cortas y, por lo tanto, una mayor frecuencia de cortas, lo que podría incrementar el valor presente de los rodales. Por el contrario, en sitios de baja productividad (Q10), el turno de 119 años sugiere que la gestión forestal en estas áreas debería orientarse hacia objetivos de conservación o producción de madera de alta calidad con rotaciones largas.

Los turnos determinados para la *Ad* y el *dn*, permiten determinar edades en las cuales es recomendable realizar labores silvícolas para acelerar el desarrollo de los rodales y alcanzar su máxima productividad, lo cual sucede entre 8 y 14 años para altura total y 10 a 45 años para *dn*. El empleo de la altura dominante y su incremento resultó ser una variable efectiva para los modelos de crecimiento que el índice de sitio, debido a que esta variable captura mejor la productividad actual del sitio y su declive natural en el tiempo (Allen et al., 2021).

Cuadro 3. Edad de máximo incremento corriente anual (ICA) y turno técnico (ICA = IMA) por cuantil y variable dasométrica para *Pinus pseudostrobus*.

Cuantil	Edad máx. ICA *dn* (cm año⁻¹)	Turno *dn* (cm año⁻¹)	Edad máx. ICA *Ad* (m año⁻¹)	Turno *Ad* (m año⁻¹)	Edad máx. ICA V (m³ año⁻¹)	Turno *V* (m³ año⁻¹)
Q10	24 (0.9276)	45 (0.8187)	14 (0.6660)	27 (0.5839)	71 (0.0943)	119 (0.0629)
Q50	15 (1.2903)	29 (1.1662)	11 (0.9036)	20 (0.7889)	54 (0.1388)	91 (0.0938)
Q90	6 (1.8440)	10 (1.7817)	8 (1.3626)	15 (1.1962)	41 (0.1963)	69 (0.1391)

La frecuencia y distribución de los residuales (Figura 2) mostro normalidad y no se identifican patrones sistemáticos de sesgo en función de los valores ajustados ni de la edad, lo que indica que el modelo de Chapman-Richards describe adecuadamente la estructura de los datos en todos los cuantiles evaluados.

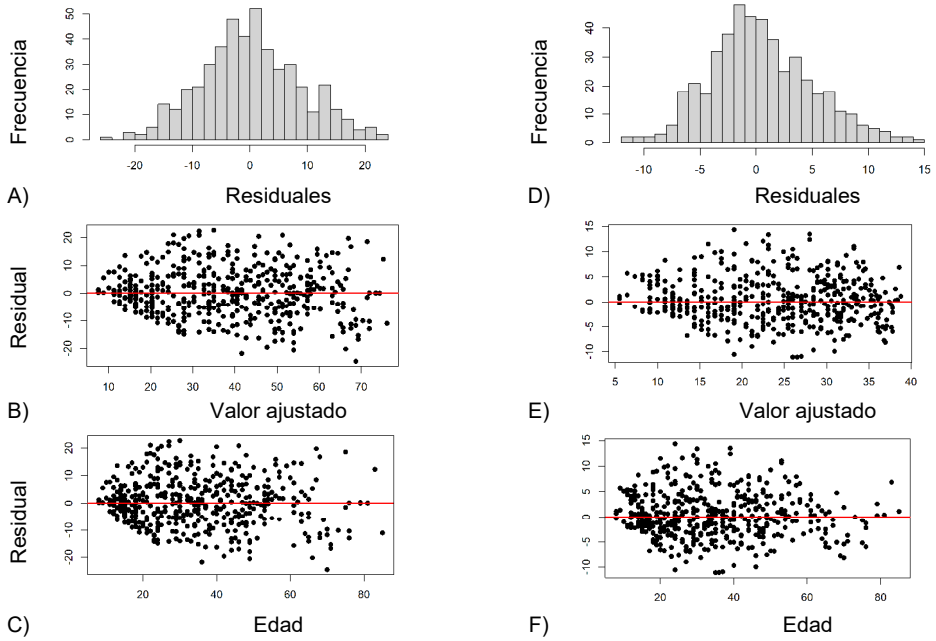


Figura 2. Distribución y frecuencia de los residuales del ajuste cuantílico del modelo de Chapman-Richards para *Pinus pseudostrobus*.

En la Figura 3 se observa que, a diferentes tasas de actualización, el turno para los distintos cuantiles es diferencial, por lo cual se puede acortar o alargar el turno financiero de acuerdo con la tasa seleccionada. Aquí, a diferencia del turno técnico, dependiendo del mercado, podemos cortar o mantener el rodal dependiendo de los movimientos, sin necesidad de perder el valor de la inversión.

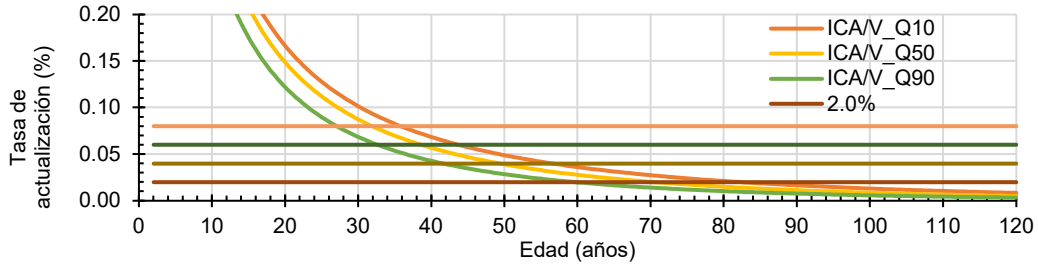


Figura 3. Madurez financiera de acuerdo con la tasa de interés (%, interés), incremento corriente anual (ICA) y volumen (V) para diferentes cuantiles en *Pinus pseudostrobus* en bosques manejados.

Conclusiones

El modelo de Chapman-Richards ajustado mediante regresión cuantílica describió de manera satisfactoria el crecimiento de *Pinus pseudostrobus* en Michoacán, México, lo cual permitió estimar el turno técnico diferenciado para el volumen por calidad de sitio según el cuantil de productividad. Además, en combinación con la madurez financiera es información de utilidad directa para la planificación de los tratamientos silvícolas y la determinación de ciclos de corta en los aprovechamientos forestales de la región.

Referencias bibliográficas

Allen, M., Brunner, A., Antón-Fernández, C., & Astrup, R. (2021). The relationship between volume increment and stand density in Norway spruce plantations. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 94(1), 151-165. https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa020

Diéguez-Aranda, U., Rojo-Alboreca, A., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., Barrio-Anta, M., Crecente-Campo, F., González-González, J. M., Pérez-Cruzado, C., Rodríguez-Soalleiro, R., López-Sánchez, C. A., Balboa-Murias, M. A., Gorgoso-Varela, J. J. y Sánchez-Rodríguez, F. 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Xunta de Galicia. Lugo, España. 259 p.

Longfei Xie, Faris Rafi Almay Widagdo, Zheng Miao, Lihu Dong, and Fengri Li. 2022. Evaluation of the mixed-effects model and quantile regression approaches for predicting tree height in larch (*Larix olgensis*) plantations in northeastern China. *Canadian Journal of Forest Research*. **52**(3): 309-319. https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0184.

Mensah, A. A., Holmström, E., Nyström, K., & Nilsson, U. (2022). Modelling potential yield capacity in conifers using Swedish long-term experiments. *Forest Ecology and Management*, *512*, 120162. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120162.

Moog, M. (2020). Some comments on rotation modeling. *European Journal of Forest Research*, *139*(1), 127-131. https://doi.org/10.1007/s10342-019-01239-6.

Nava-Nava, A., & Antúnez, P. (2018). Aplicación de la regresión cuantílica para predecir el volumen fustal: Estudio de caso. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *5*(15), 591-600. https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1498.

Tamarit-Urias, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Aldrete, A., Valdez-Lazalde, J. R., Ramírez-Maldonado, H. y Guerra de la Cruz, V. 2014. Sistema de cubicación para árboles individuales de *Tectona grandis* L. f. con modelos de volumen total y funciones de ahusamiento-volumen. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(21):58-74.

ESTRUCTURA MORFOMÉTRICA DE LA COPA DE *Quercus laurina* Bonpl

Hernández-Ramos Jonathan[1]*, Roberto Reynoso-Santos[2], Fabiola Rojas-García[3], García-Cuevas Xavier[4], Ramiro Puc-Kauil[5] y Ana Luisa Trujillo Elisea[6]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Bajío, km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, 38010, Celaya, Guanajuato, México. [2]INIFAP-Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, 29140, Chiapas, México. [3] Universidad Nacional Rosario Castellanos, Laboratorio de Investigación en Cambio Global y Sustentabilidad. Avenida 506 S/N, Alcaldía Gustavo A. Madero, 07969, Ciudad de México, México. [4]INIFAP-Campo Experimental Chetumal, km 25 Carretera Chetumal-Bacalar, C.P. 77930, Xul-ha, Quintana Roo, México. [5]TECNM, Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Av. Tecnológico S/N, Colonia El Huasteco, Puebla 73049, México. [6]Dirección Técnica Forestal-Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP).x Mariano Matamoros 51, San Mateo, 60490 Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México.
*Autor para correspondencia: hernandez.jonathan@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Alometría forestal, bosques de encino, comunidades Louvain, redes complejas.*

Introducción

Los encinos constituyen un componente dominante de los bosques templados de México, considerados uno de los principales centros mundiales de diversidad del género *Quercus*. Su importancia ecológica radica en que estructuran estos ecosistemas y contribuyen al mantenimiento de procesos ecológicos y servicios ambientales esenciales, lo que convierte a este grupo en un elemento prioritario para la conservación (Brizuela-Torres et al., 2023). Entre las especies representativas se encuentra *Quercus laurina* Bonpl. (Fagaceae), ampliamente distribuida en bosques templados de montaña del centro y sur de México, donde forma parte del estrato arbóreo dominante y participa en el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas.
La copa del árbol representa la interfaz primaria entre el individuo y el ambiente lumínico; su arquitectura determina la eficiencia en la captura de recursos como luz, agua y CO_2. La morfometría de copa, entendida como la cuantificación de dimensiones, proporciones y volumen mediante índices derivados, constituye una herramienta fundamental en ecología forestal y modelación del crecimiento (Pretzsch, 2009). Sin embargo, la mayoría de los estudios emplean índices seleccionados por convención sin evaluar formalmente su redundancia estadística, lo cual es particularmente relevante para especies poco estudiadas como *Q. laurina*.
El objetivo del presente estudio fue caracterizar la estructura morfométrica de la copa de *Q. laurina* mediante índices derivados y herramientas multivariadas, para identificar variables redundantes y definir indicadores estructurales prioritarios para aplicaciones de manejo forestal.

Materiales y métodos

El estudio correspondió a una investigación observacional de carácter descriptivo y correlacional basada en datos obtenidos en campo. El muestreo se realizó en 298 individuos de *Q. laurina* distribuidos en 60 sitios de muestreo en los bosques bajo manejo forestal de la Comunidad Indígena de San Juan Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, México (1,800–3,000 m de altitud). En cada individuo se registraron cuatro variables dendrométricas primarias: diámetro normal (*dn*, cm) a 1.30 m; altura total (*At*, m); altura de fuste limpio (*Afl*, m); y diámetro de copa (*dc*, m) como promedio de dos mediciones perpendiculares.
A partir de estas medidas se calcularon 21 índices morfométricos agrupados en: dimensiones básicas de copa (Radio de copa, área copa, longitud copa, y volumen elipsoide); proporciones relativas (Relación copa, relación fuste, expansión copa, forma copa, y esfericidad); relaciones copa-

diámetro (Índice saliente, esbeltez, robustez, y área diámetro); e índices de ocupación espacial (Cobertura relativa, profundidad relativa, índice volumen, índice ocupación, e índice de copa).
El pipeline estadístico incluyó: (1) análisis de correlación de Spearman con umbral principal $|\rho| > 0.80$ y $p < 0.05$; (2) validación bootstrap con 500 réplicas (criterio: ρ medio ≥ 0.75 e IC 95% sin cruce por cero); (3) ACP sobre datos estandarizados; (4) agrupamiento jerárquico Ward D2 con distancia $1-|\rho|$; (5) red no dirigida ponderada con métricas de centralidad (Degree, Strength, Betweenness, Closeness, Eigenvector) y detección de comunidades mediante el algoritmo de Louvain (Blondel et al., 2008); (6) modelos alométricos log-log; y (7) ordenación NMDS. El análisis se realizó en RStudio 2025.09.1 Build 401® con los paquetes Hmisc, FactoMineR, igraph y vegan.

Resultados y discusión

Los 21 índices mostraron amplia variación individual. Las variables de volumen y área de copa presentaron coeficientes de variación superiores a 60%, mientras que los índices de proporción copa-fuste fueron más estables (CV < 20%). El análisis de sensibilidad mostró que el número de pares significativos descendió de 73 a 18 al incrementar el umbral de |ρ| de 0.60 a 0.90. El umbral de $|\rho| > 0.80$ representó un equilibrio entre parsimonia e inclusión funcional, conservando 42 pares y 21 variables (|ρ| medio = 0.896) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sensibilidad de la selección de pares y variables al umbral mínimo de correlación de Spearman en índices morfométricos de *Quercus laurina*.

Umbral |ρ|	Pares retenidos	Variables retenidas	|ρ| medio
0.60	73	22	0.790
0.65	53	21	0.856
0.70	49	21	0.871
0.75	43	21	0.892
0.80	42	21	0.896
0.85	29	20	0.934
0.90	18	18	0.964

La validación bootstrap confirmó la robustez de 21 pares de correlación. La matriz de correlación de Spearman reveló dos grandes bloques de covariación: el primero agrupó variables de tamaño absoluto y cobertura (Área de copa, radio de copa, dc, volumen elipsoide, índice de copa, y área de diámetro) con correlaciones frecuentemente superiores a 0.90; el segundo reflejó asociaciones negativas entre índices de forma (Forma de copa, y profundidad relativa, Esfericidad) y variables de tamaño, con valores inferiores a −0.80.
Los dos primeros componentes principales explicaron 68.4% de la varianza total (PC1 = 36.5%; PC2 = 31.9%). PC1 representó un gradiente de tamaño absoluto de copa; PC2 diferenció entre índices de forma vertical e índices de altura y fuste. El agrupamiento jerárquico Ward D2 identificó cuatro grupos de variables, que convergieron parcialmente con los cinco módulos funcionales detectados por el algoritmo de Louvain —ambos métodos coincidieron en la composición de los bloques principales, aunque difirieron en granularidad (cuatro frente a cinco agrupaciones), lo cual es esperable dado que Ward D2 y Louvain optimizan criterios distintos (varianza intragrupo vs. modularidad de red)—: (1) tamaño y cobertura de copa; (2) volumen y forma tridimensional; (3) relación fuste-altura; (4) inserción relativa de copa; y (5) diámetro y proyección.
Área de diámetro e índice de copa presentaron los valores más altos de Strength (> 6.0) y Eigenvector (≈ 1.0), posicionándose como los nodos centrales e influyentes de la red. Área de diámetro mantuvo conexiones fuertes con índice de copa (r = 0.943), dc (r = 0.891), área de copa (r = 0.890) e índice de volumen (r = 0.844). En contraste, dn, relación de copa y relación de fuste mostraron Strength < 1.0, indicando información relativamente independiente del sistema morfométrico.

Los modelos alométricos log-log mostraron R^2 entre 0.45 y 0.82. El área de copa mostró alometría positiva respecto a dn, indicando que los individuos de mayor diámetro invierten proporcionalmente más en expansión lateral de copa. Volumen elipsoide ~ At presentó el mayor ajuste (R^2 = 0.82: $y = -0.6797 + 1.8928 * At$, $p < 0.001$), sugiriendo que la altura total es predictor importante del volumen de copa. Longitud de copa ~ dn mostró alometría negativa, reflejando que la longitud relativa de copa no aumenta en la misma proporción que el crecimiento radial.

La redundancia observada entre índices de tamaño de copa no es una limitación, sino una oportunidad para simplificar evaluaciones de campo. Para inventarios operativos, dc contiene gran parte de la información de tamaño horizontal, mientras que, área de diámetro e índice de copa aportan mayor capacidad interpretativa al expresar cobertura en términos funcionales. La organización en cinco comunidades Louvain permite seleccionar indicadores según el objetivo de manejo: competencia lateral, estabilidad del fuste, profundidad de copa o heterogeneidad estructural. La ordenación NMDS reveló un espacio morfológico relativamente compacto con pocos individuos extremos, los cuales deben evaluarse en campo como posibles indicadores de competencia localizada, daño o microambientes particulares.

La identificación de área de diámetro e índice de copa como índices de mayor centralidad tiene implicaciones directas para el diseño de inventarios forestales operativos en bosques de *Quercus*. Pretzsch et al. (2015) demostraron que los índices que integran dimensiones de copa y fuste son predictores más estables del crecimiento individual bajo distintas densidades de rodal que las variables primarias aisladas, lo que respalda su priorización en protocolos con restricciones de tiempo o personal. En *Q. laurina*, medir diámetro normal, altura total y diámetro de copa resulta suficiente para estimar los indicadores más informativos del sistema morfométrico, lo que reduce el esfuerzo de campo sin sacrificar capacidad diagnóstica para la selección de árboles de porvenir (árboles de futuro con características estructurales sobresalientes) y la planificación de aclareos.

La organización modular de los índices en comunidades funcionales ofrece una base cuantitativa para evaluar la respuesta de *Q. laurina* a tratamientos como aclareos, liberación de copas o podas de formación. Hasenauer y Monserud (1996) señalaron que la proporción copa-altura es uno de los indicadores más dinámicos tras intervenciones silvícolas, lo que coincide con la posición periférica e independiente que relación de copa y fuste mostraron en la red robusta.

El seguimiento periódico de la posición de los individuos en el espacio ACP o NMDS permitiría detectar si las intervenciones incrementan la expansión lateral de copas seleccionadas o modifican la estructura de covariación entre índices, convirtiendo la morfometría de copa en un indicador cuantitativo de respuesta al manejo.

Conclusiones

Área de diámetro e índice de copa constituyen los indicadores más informativos de la arquitectura de copa de *Q. laurina*, con utilidad directa para inventarios rápidos y evaluaciones comparativas de ocupación del espacio aéreo.

Los índices morfométricos se organizaron en cinco variables dendrométricas funcionales que reflejan dimensiones biológicas distinguibles: tamaño de copa, forma tridimensional, relaciones fuste-copa, proporciones de inserción y diámetro-proyección. Esta organización permite seleccionar indicadores según objetivos específicos de manejo.

La alometría positiva entre área de copa y diámetro normal indica que los árboles de mayor diámetro requieren mayor espacio lateral, lo cual es relevante para aclareos, liberación de copas y selección de árboles de porvenir. La metodología propuesta constituye una herramienta reproducible para la evaluación integral de la arquitectura de copa en especies forestales mexicanas, con potencial aplicación en inventarios, monitoreo y programas de manejo sustentable.

Referencias bibliográficas

Blondel, V.D., Guillaume, J.L., Lambiotte, R. y Lefebvre, E. 2008. Fast unfolding of communities in large networks. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment 2008: P10008. https://doi.org/10.48550/arXiv.0803.0476.

Brizuela-Torres, D., Villavicencio-García, R., Ruiz-Corral, J. A., & Cuervo-Robayo, A. P. (2023). Effects of climate change on the potential distribution of a dominant, widely distributed oak species, Quercus candicans, in Mexico. Atmósfera, 37(3), 455–473. https://doi.org/10.20937/ATM.53182.

Hasenauer, H., & Monserud, R. A. (1996). A crown ratio model for Austrian forests. Forest Ecology and Management, 84(1–3), 49–60. https://doi.org/10.1016/0378-1127(96)03768-1.

Pretzsch, H. 2009. Forest Dynamics, Growth and Yield. Springer, Berlin. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-88307-4.

Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., & Dauber, E. (2015). Long-term stand dynamics of managed and unmanaged European beech stands. Forest Ecology and Management, 346, 109–123. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.019.

CARACTERIZACIÓN, MANEJO Y BENEFICIOS SOCIALES DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DEL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA EN LOS MUNICIPIOS DE CÁRDENAS Y HUIMANGUILLO, TABASCO

Jennifer Salaya-Gutierrez[1*], Marivel Domínguez-Domínguez[1], Silvia Del Carmen Ruíz-Acosta[2], Víctor Córdova-Ávalos[1], Francisco Izquierdo-Reyes[1] y Pablo Martínez-Zurimendi[3].

[1]Posgrado en Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco. [2]Tecnológico Nacional de México-IT Zona Olmeca. Prolongación Ignacio Zaragoza s/n, Villa Ocuiltzapotlán, Centro, Tabasco, México. CP. 86270. [3]El Colegio de la Frontera Sur-Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma, km 15.5 s/n, Ranchería Guineo, 2da. Sección, Villahermosa, Tabasco, México. CP. 86280.
*Autor para correspondencia: salayag14@hotmail.com

Palabras clave: *Agroforestal, sembrando vida, reforestación, autoconsumo, beneficios.*

Introducción

La agroforestería constituye un sistema sostenible de manejo de la tierra que integra de manera simultánea o secuencial cultivos agrícolas, árboles maderables y en algunos casos animales, dentro de una misma unidad de producción. Favoreciendo el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, la productividad y el bienestar de comunidades rurales (Gordon *et al*., 2018).
En México, los sistemas agroforestales representan una alternativa para la conservación de recursos naturales y la generación de ingresos, particularmente en zonas rurales donde persisten problemas de degradación ambiental y rezago socioeconómico (Moreno-Calles *et al*., 2014; Mena-Jiménez *et al*., 2024)
Como respuesta a esta problemática el Programa Sembrando Vida promueve el establecimiento de sistemas agroforestales que combinan cultivos tradicionales con especies frutícolas y maderables (Diario Oficial de la Federación (DOF), 2020; Secretaría de Bienestar, 2020). En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar los principales sistemas agroforestales implementados en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco, describir las prácticas de manejo empleadas e identificar los beneficios sociales percibidos por las personas beneficiarias del programa. La información generada contribuirá a comprender el papel de estos sistemas en el fortalecimiento de los medios de vida rurales y la sostenibilidad productiva de la región.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en comunidades pertenecientes a los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, ubicados en la región de la Chontalpa. Esta región comprende aproximadamente el 31.34 % del territorio tabasqueño y se caracteriza por una importante actividad agropecuaria y forestal.
Se seleccionaron ocho comunidades (cuatro por municipio) considerando criterios de accesibilidad de vías de comunicación a las comunidades, distribución geográfica representativa en cada municipio, presencia activa de los productores en el programa Sembrando Vida, seguridad para acceder a las comunidades y disponibilidad de los productores para la realización del trabajo en campo.
Para la recolección de información se diseñó y aplicó un cuestionario semiestructurado integrado por siete secciones: datos generales, tenencia de la tierra, uso anterior del terreno, caracterización del sistema agroforestal, prácticas de manejo, productos y expectativas, beneficios sociales. Este se validó a través de un cuestionario piloto aplicado a dos productores.
En cada comunidad, las Comunidades de Aprendizaje Campesino (CAC) están integradas por aproximadamente 25 productores, por lo que la población total considerada fue de 200 beneficiarios. Para la selección de la muestra se empleó un muestreo aleatorio simple. Inicialmente se estableció entrevistar a cuatro productores por cada comunidad seleccionada, procurando mantener una

representación de género de una mujer y tres hombres. Sin embargo, en algunas comunidades fue posible entrevistar a un mayor número de beneficiarios, por lo que la muestra final estuvo integrada por 36 productores.
La información obtenida fue organizada en una base de datos y analizada mediante estadística descriptiva. Para las variables cualitativas se determinaron frecuencias y porcentajes, mientras que para las variables cuantitativas se calcularon promedios y rangos.
Los resultados se presentaron mediante cuadros y gráficas en relación con las características de los sistemas establecidos, composición de especies forestales, frutales y agrícolas, densidad de plantación, prácticas de manejo, productos obtenidos y beneficios sociales percibidos.

Resultados y discusión

Se realizaron 36 entrevistas semiestructuradas a productores beneficiarios del Programa Sembrando Vida en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco. Las características generales de los sistemas agroforestales evaluados se presentan en el cuadro 1. Los resultados muestran que los sistemas fueron establecidos a partir de 2019, en parcelas con una superficie promedio de 1.5 ha y una densidad aproximada de 2,690 árboles por unidad de producción.

Cuadro 1. Características generales de los sistemas agroforestales.

Variable	Valor promedio
Año de establecimiento	2019
Superficie (ha)	1.5
Árboles por unidad de producción de 1.5 ha	2,690
Mortalidad de árboles	422

En los sistemas agroforestales se registraron 63 especies forestales, frutales y agrícolas, lo que evidencia una alta diversidad biológica dentro de los sistemas evaluados y refleja la estrategia de diversificación productiva promovida por el Programa Sembrando Vida. Las especies con mayor frecuencia de registro fueron coco, limón, macuilís, cedro y caoba (Figura 1).

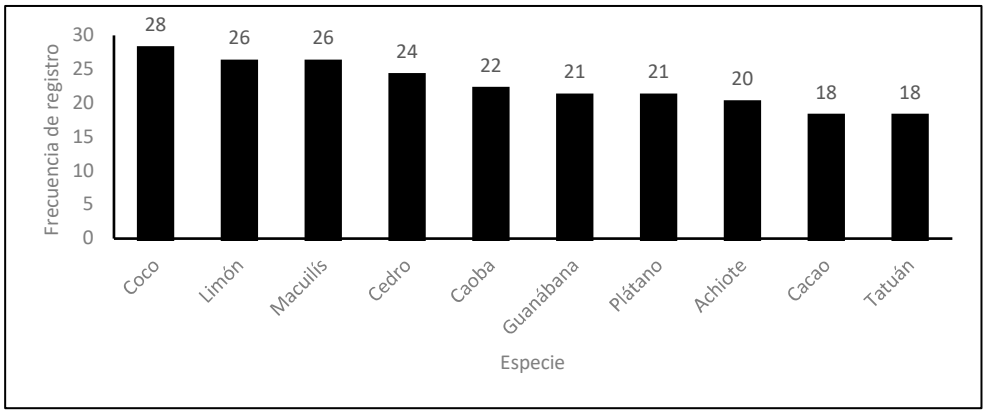


Figura 1. Frecuencia de registro de las principales especies presentes en los sistemas agroforestales establecidos por los beneficiarios del Programa Sembrando Vida en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco. La frecuencia corresponde al número de registros de cada especie obtenidos durante las entrevistas aplicadas a los productores.
En relación con el estado de los sistemas, los productores reportaron una mortalidad promedio de 422 árboles por unidad de producción. La sequía fue identificada como la principal causa de mortalidad, siendo mencionada por el 85.7 % de los productores. Las plagas fueron mencionadas por el 30.56 % de los productores. Estos porcentajes se calculan de forma independiente, ya que los

productores podían mencionar más de una causa (Figura 2). Estos resultados evidencian la vulnerabilidad de los sistemas agroforestales frente a eventos climáticos adversos que afectan negativamente su crecimiento, desarrollo, productividad o supervivencia de las plantas y resaltan la importancia de implementar estrategias de adaptación para favorecer la supervivencia de las especies establecidas.

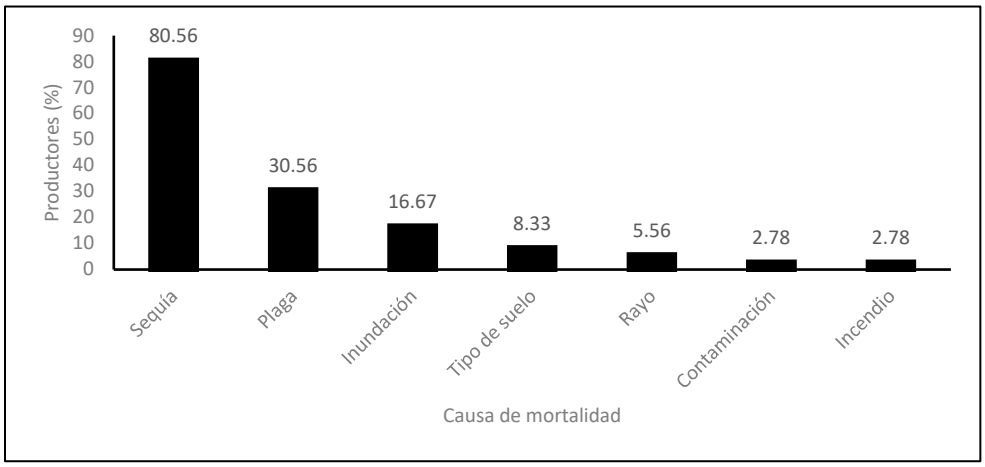


Figura 2. Principales causas de mortalidad de árboles reportadas por los productores beneficiarios del Programa Sembrando Vida en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco.

Las principales prácticas de manejo implementadas fueron el control de malezas y la fertilización (51.4 %), seguidas por la poda (45.7 %) y el control de plagas (28.6 %) (Cuadro 2). Lo anterior evidencia que los productores realizan actividades básicas de mantenimiento para favorecer el desarrollo y productividad de los sistemas agroforestales, promoviendo su mayor desarrollo.

Cuadro 2. Porcentaje de productores que realizan prácticas de manejo en los sistemas agroforestales.

Prácticas de manejo	Productores (%)
Control de malezas	51.4
Fertilización orgánica	51.4
Poda	45.7
Control de plagas	28.6

Los productores señalaron que los sistemas agroforestales les permiten obtener alimentos para autoconsumo y comercializar parte de su producción. Asimismo, identificaron beneficios asociados al fortalecimiento de la organización comunitaria, el incremento de los ingresos familiares y la adquisición de conocimientos técnicos para el manejo de sus parcelas. Estos resultados evidencian que los sistemas agroforestales promovidos por el Programa Sembrando Vida constituyen una alternativa productiva que contribuye a la diversificación de la producción y al bienestar de las familias rurales de la región de la Chontalpa, Tabasco.

Los productos obtenidos en los sistemas agroforestales fueron principalmente frutales, reportados por el 97.1 % de los productores (Figura 3). En menor proporción se registró la producción de hortalizas 34.3 %, las cuales contribuyen al abastecimiento de alimentos en el corto plazo. Asimismo, las especies forestales, aunque aún no representan una producción maderable debido a su ciclo de crecimiento, constituyen un componente estratégico del sistema, ya que ofrecen perspectivas de aprovechamiento en el largo plazo. En conjunto, estos resultados evidencian que los sistemas

agroforestales favorecen una producción diversificada y escalonada en el corto, mediano y largo plazo, fortaleciendo la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y la sostenibilidad de las unidades de producción.

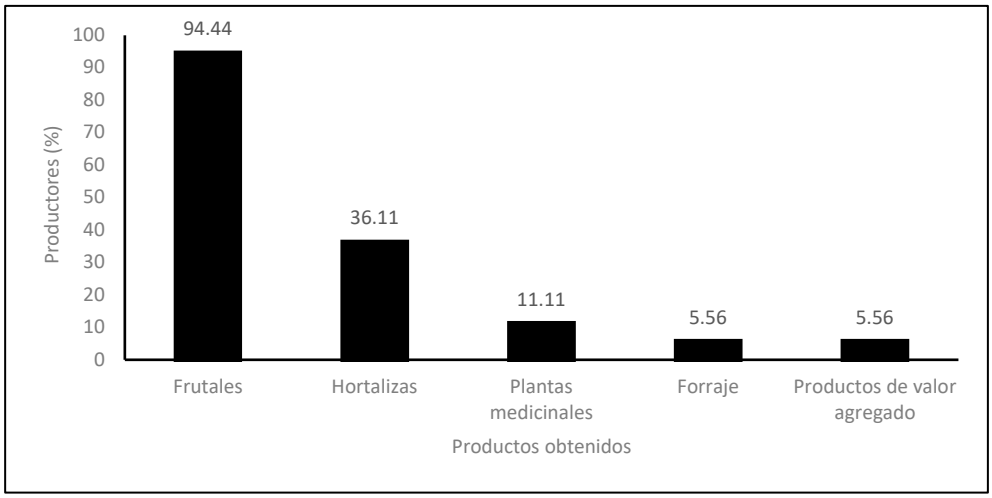


Figura 3. Principales productos obtenidos en los sistemas agroforestales establecidos por los beneficiarios del Programa Sembrando Vida en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco.

Conclusiones

Los sistemas agroforestales establecidos mediante el Programa Sembrando Vida en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo se caracterizan por integrar una alta diversidad de especies forestales, frutales y agrícolas, evidenciada por el registro de 63 especies en las unidades de producción evaluadas. Las principales prácticas de manejo identificadas fueron el control de malezas, la fertilización, la poda y el control de plagas, actividades orientadas al mantenimiento de los sistemas. Sin embargo, la mortalidad de árboles reportada y su asociación principalmente con la sequía evidencian la influencia de las condiciones climáticas sobre el establecimiento de las especies. Asimismo, los productores perciben beneficios relacionados con el autoconsumo de alimentos, la comercialización de productos, el fortalecimiento de la organización comunitaria, el incremento de ingresos y la adquisición de capacidades técnicas. En conjunto, los resultados muestran que los sistemas agroforestales promovidos por el Programa Sembrando Vida constituyen una alternativa productiva que contribuye a la diversificación de la producción y al bienestar de las familias rurales de la región de la Chontalpa, Tabasco. No obstante, para fortalecer su permanencia y productividad, resulta fundamental reforzar el acompañamiento técnico, promover prácticas de manejo que incrementen la supervivencia de las especies frente a condiciones de sequía y favorecer la diversificación y comercialización de los productos obtenidos. Asimismo, futuras investigaciones deberán evaluar el desempeño productivo, económico y ambiental de estos sistemas en el largo plazo, con el fin de generar información que contribuya a optimizar su manejo y fortalecer su aporte al desarrollo rural sostenible.

Agradecimientos y fuente financiadora

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Innovación, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento otorgado mediante beca de estudios, así como al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, por el apoyo académico e institucional brindado para la

realización de esta investigación. Asimismo, se agradece a las y los productores del Programa Sembrando Vida por su colaboración durante el trabajo de campo.

Referencias bibliográficas

Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida para el ejercicio fiscal 2021. Publicado en 28 de diciembre 2020. Gobierno de México. https://www.dof.gob.mx.

Gordon, A. M., Newman, S. M., Coleman, B. R. W., y Thevathasan, N. V. (2018). Temperate agroforestry: An overview. In A. M. Gordon, S. M. Newman, & B. R. W. Coleman (Eds.), Temperate Agroforestry Systems (2nd ed., pp. 1–6). CABI. https://doi.org/10.1079/9781780644851.0001.

Mena-Jiménez, F., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Ceccon, E., Martínez-Garza, C., López-Medellín, X., y Tegoma-Coloreano, A. (2024). Caracterización e importancia biocultural de los sistemas agroforestales de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, Morelos, México. *Botanical Sciences*, 102 (1), 102-127. https://doi.org/10.17129/botsci.3348.

Moreno-Calles. A., Galicia-Luna., V., Casas, A., Toledo, V., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D., y Camou-Guerrero, A. (2014). La Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología,* 12(3), 1-16. Recuperado de https://www.revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/167.

Secretaría de Bienestar. (2020). Programa Sembrando Vida. Gob. Mx. Recuperado el 16 de abril de 2024, de https://www.gob.mx/bienestar/acciones-yprogramas/programa-sembrando-vida .

TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTIVARIADO APLICADO AL MEJORAMIENTO GENÉTICO FORESTAL DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake

Secundino Torres-Lamas[1]*, Pablo Martínez-Zurimendí[2], Marynor Elena Ortega-Ramírez[3], Manuel Jesús Cach Pérez[2] y Marivel Domínguez-Domínguez[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRSE. Campo Experimental Chetumal. Km 25. Carretera Chetumal-Bacalar, C.P. 77963, Xul-Há, Quintana Roo, México; [2]El Colegio de la Frontera Sur. ECOSUR. Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5, C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México; [3]Universidad Politécnica de Huatusco. Calle 22 Sur, Col. Reserva Territorial, C.P. 94116, Huatusco, Veracruz, México; [4]Colegio de Postgraduados. COLPOS. Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, km 3. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, C.P. 86500, Cárdenas, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: torres.secundino@inifap.gob.mx

Palabra clave: *Calidad de madera, estadística multivariada, selección clonal*.

Introducción

El mejoramiento genético forestal tiene como objetivo identificar y seleccionar genotipos que combinen características deseables para diferentes fines industriales, con el propósito de incrementar la productividad y maximizar el valor de las plantaciones forestales comerciales. No obstante, este proceso se vuelve complejo cuando se evalúan simultáneamente variables como el crecimiento, la densidad básica de la madera y la morfología de la fibra, las cuales suelen presentar correlaciones entre sí y, cuando se analizan de forma independiente, proporcionan una visión parcial del desempeño de los materiales genéticos. Tradicionalmente, la evaluación de estas características se ha basado en análisis univariados, los cuales permiten identificar diferencias estadísticamente significativas entre clones para cada variable por separado. Sin embargo, este enfoque no considera la estructura conjunta de variación ni las relaciones existentes entre las múltiples características evaluadas. Esta limitación resulta particularmente relevante en especies de uso múltiple como *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, cuya madera tiene características para diferentes usos como: fabricación de contrachapados, aglomerados, pisos, madera aserrada, pulpa para producción de papel, carbón vegetal, biomasa, entre otros (Lahr et al., 2017). Cada uno de estos productos demanda una combinación específica de propiedades anatómicas, físicas y tecnológicas de la madera, por lo que la evaluación integral de los materiales genéticos constituye un aspecto clave para orientar su aprovechamiento industrial.

En este contexto, las técnicas de estadística multivariada representan una alternativa robusta para el análisis de múltiples variables, ya que permiten sintetizar la variación existente en un número reducido de componentes, conservar la información sobre las relaciones entre las características evaluadas y facilitar la identificación de patrones de similitud y diferenciación entre genotipos. Estas herramientas favorecen una clasificación más objetiva del material genético. *E. urophylla* es una de las especies más utilizadas en plantaciones forestales comerciales en el sureste de México debido a su rápido crecimiento, amplia adaptación y la versatilidad de su madera. La mayor parte de la producción se destina a la fabricación de tableros de fibra de densidad media (MDF) y al aserrío. Recientemente, ha surgido el interés por incrementar el valor agregado de la madera mediante su aprovechamiento para otros usos industriales. Estudios previos realizados en Huimanguillo, han documentado una amplia variabilidad genética entre clones de la especie para características relacionadas con el crecimiento, la densidad básica de la madera y la morfología de la fibra. Sin embargo, estas variables no se han analizado de manera conjunta.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue aplicar técnicas de estadística multivariada para clasificar 26 clones de reciente incorporación en el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de *E. urophylla* en Huimanguillo, con el propósito de determinar su aptitud potencial para la producción de tableros de fibra de densidad media (MDF), pulpa para papel, madera

aserrada y carbón vegetal, utilizando variables de crecimiento, densidad básica de la madera, morfología de la fibra e índices de calidad de la fibra.

Materiales y métodos

En noviembre de 2015 se estableció un ensayo con 26 clones de *E. urophylla* en Huimanguillo, Tabasco (17°42′47.30″ N, 93°36′41.50″ O), en un clima cálido-húmedo con lluvias todo el año, precipitación media anual de 2200 mm, temperatura media anual de 27 °C y suelo Acrisol, ácido y deficiente en nutrimentos.
En febrero de 2022, cuando el ensayo tenía 6.2 años, se seleccionaron al azar tres árboles por clon (78 árboles en total). A cada árbol se le midieron el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total (ALT); con estas variables se estimaron el volumen maderable, el incremento medio anual en volumen (IMA) y la biomasa total. De cada árbol se obtuvieron probetas de 2 cm × 2 cm × 2 cm de la médula y la albura a cuatro alturas del fuste (0.30 m, 1.30 m, 50 % y 75 % de la altura total), en las que se determinó la densidad básica de la madera, la longitud (LOF), diámetro (DIF), lumen (LUF) y grosor de pared de la fibra (GPF) de la fibra mediante el método de macerado de Franklin.
Para ello, se colocaron 35 g de astillas en frascos aforados con 10 mL de ácido acético y 10 mL de peróxido de hidrógeno, los cuales se colocaron en una estufa de secado a 60 °C durante 48 h. Posteriormente, las muestras se enjuagaron con agua destilada, se tiñeron con pardo de Bismark al 1 % y se observaron en un microscopio con objetivo de 10 x, conectado al software TCapture. Con la morfología de la fibra se calcularon índices de calidad de la fibra para distintos usos industriales: índice de esbeltez (IE), coeficiente de flexibilidad (CF), fracción de pared de la fibra (FP), relación Runkel (RR) y factor de forma (FF).
Para evaluar la robustez de la estadística multivariada como herramienta en el mejoramiento genético, se utilizaron los valores promedio ponderados por árbol de las variables de crecimiento, densidad, morfología e índices de calidad de la fibra. Se hizo un análisis de correlación de Pearson para determinar relaciones entre las distintas variables evaluadas. Posteriormente, para determinar tanto similitudes como diferencias entre las distintas características de la madera de los 26 clones se realizó análisis de componentes principales (ACP) con la función prcomp del paquete factoextra y escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) con distancia euclidiana usando la función metaMDS del paquete vegan en Rstudio para comparar ambas técnicas de reducción de dimensionalidad. Para estos análisis los datos fueron estandarizados previamente (media cero, varianza unitaria). Los resultados se complementaron con un análisis de clúster jerárquico (distancias euclidianas, método de Ward) para agrupar las líneas clonales con características similares y su uso potencial en la industria de la celulosa para papel, aserrío, fabricación de tableros MDF y producción de carbón.

Resultados y discusión

Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los 26 clones de *Eucalyptus urophylla* para el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total (ALT), el volumen individual (VOL) y el incremento medio anual del volumen (IMA). El DAP varió entre 12.4 y 24.4 cm, la altura entre 18.0 y 27.8 m, el volumen entre 0.10 y 0.54 m^3 $árbol^{-1}$ y el MAIv entre 24.4 y 109.1 m^3 ha^{-1} $año^{-1}$, lo que evidencia una amplia variabilidad en el desempeño de los materiales evaluados. La amplitud de la variación observada entre clones confirma la existencia de diferencias genéticas importantes para las variables de crecimiento, lo que representa una oportunidad para la selección de materiales superiores destinados al establecimiento de plantaciones forestales comerciales de alta productividad.
La densidad de la madera varió de muy ligera (≤ 500 kg m^{-3}) a ligera (510 kg m^{-3} – 650 kg m^{-3}), la cual fue similar a híbridos de *E. grandis x E. urophylla* en Brasil de tres años de edad, con valores que oscilaron entre 370 y 460 kg m^{-3} (Viana et al., 2009). La morfología de la fibra en los 26 clones de *E. urophylla* mostró longitudes de 955 a 1190 µm, diámetros de 17.0 a 20.7 µm, anchos de lumen de 8.6 a 11.6 µm y espesores de pared de 3.9 a 5.0 µm, estos valores son característicos de fibras de especies del género *Eucalyptus* (Viana et al., 2009; Junior et al., 2025). Los índices de calidad de

la fibra mostraron variación entre clones: el índice de esbeltez varió de 48.8 a 66.7, el coeficiente de flexibilidad de 46.6 a 59.1 %, la fracción de pared de la fibra presentó valores entre 43 y 49 %, el factor de forma osciló entre 0.48 y 0.64, y la relación Runkel varió de 0.70 a 1.30, evidenciando una marcada variabilidad genética entre los clones evaluados. Estos valores fueron similares a otras especies del género *Eucalyptus* (Junior et al., 2025)

Se observaron correlaciones tanto positivas como negativas entre las distintas variables estudiadas (Figura 1). Las variables de crecimiento estuvieron correlacionadas positiva y significativamente entre sí. La correlación con las variables de morfología de las fibras y los índices de calidad de la madera fue baja (Figura 1). La altura del árbol mostró correlaciones positivas (P ≤ 0.05) con el espesor de la pared de la fibra (0.41), la fracción de pared de la fibra (0.40) y el factor de forma de la fibra (0.40). Las correlaciones negativas más altas (P ≤ 0.05) se observaron entre el coeficiente de flexibilidad y el lumen de la fibra, así como entre la fracción de pared de la fibra, la relación de Runkel y el factor de forma de la fibra (Figura 1). Se observaron correlaciones positivas perfectas (r = 1) entre la fracción de pared de la fibra, la relación Runkel y el factor de forma.

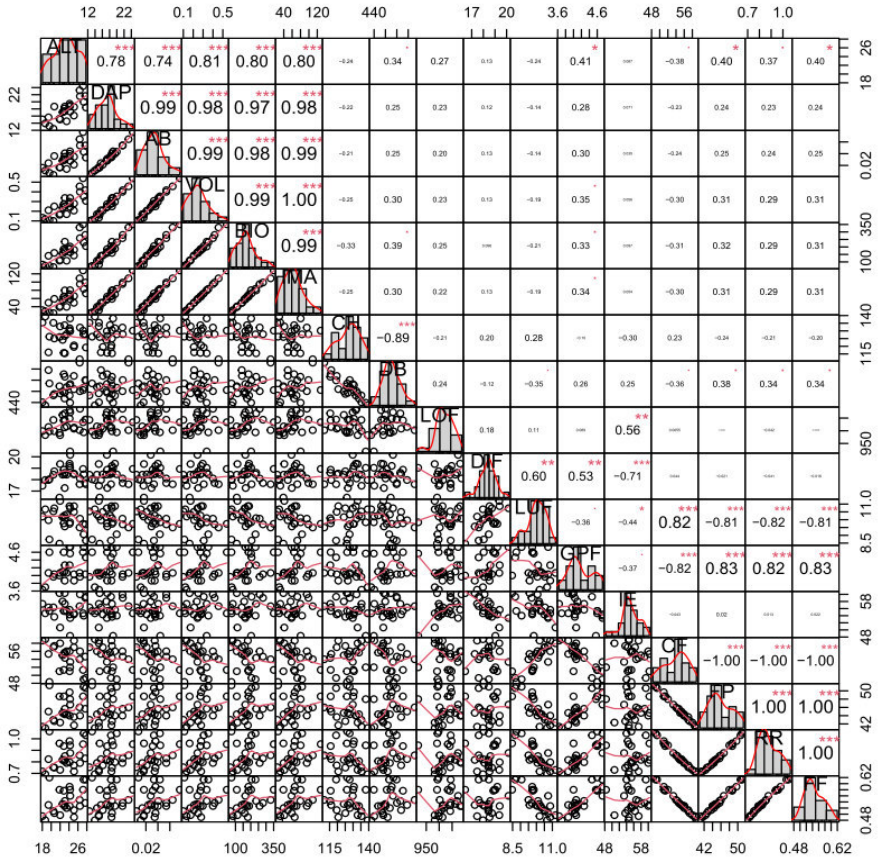


Figura 7. Grafica de correlación de Pearson entre variables de crecimiento, densidad de la madera, morfología de la fibra e índices de calidad en clones de *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo, Tabasco.

Ocho variables mostraron relevancia estadística, las cuales fueron seleccionadas en el análisis de componentes principales (ACP), explicando conjuntamente el 88.7 % de la varianza total (Figura 2). El cuadrante I agrupó siete clones asociados con mayores valores de la relación Runkel, la fracción y el grosor de la pared de la fibra. Los cuadrantes II y III reunieron 14 clones caracterizados por un mayor coeficiente de flexibilidad y amplitud del lumen de la fibra. En el cuadrante IV se ubicaron cinco clones con mayor crecimiento y productividad.

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) mostró un patrón de ordenación consistente con el obtenido mediante el ACP (Figura 3). Las clones con mayor crecimiento y productividad (DAP, ALT e IMA) se agruparon hacia el lado positivo del eje NMDS I, mientras que aquellas asociadas con un mayor coeficiente de flexibilidad y amplitud del lumen se ubicaron en el lado negativo (NMDS II). En contraste, las líneas relacionadas con mayores valores de la relación de Runkel, fracción y grosor de la pared de la fibra se distribuyeron principalmente hacia el lado positivo del NMDS IV (Figura 3).

El NMDS corroboró el patrón de agrupamiento identificado por el ACP (Figura 3), evidenciando una clara separación entre clones asociados con mayor crecimiento (DAP, ALT y IMA) y aquellos relacionadas con atributos anatómicos de la fibra.

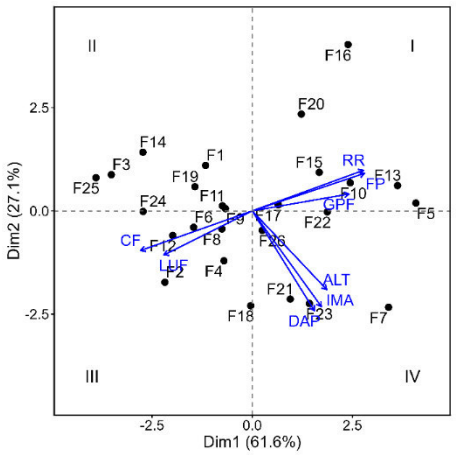


Figura 8. Biplot entre PC1 y PC2 que muestra la contribución de las variables de crecimiento, morfología de la fibra e índices de calidad de madera a la variabilidad de los 26 clones de *E. urophylla*.

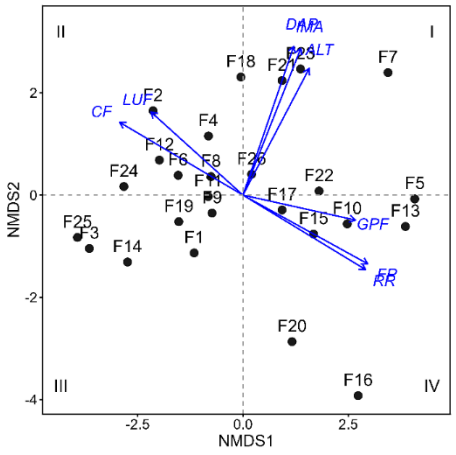


Figura 9. Biplot de la ordenación mediante escalamiento multidimensional no métrico que muestra las relaciones entre los 26 clones de *E. urophylla* en Huimanguillo, Tabasco.

El análisis de clúster agrupó los clones en tres grupos (Figura 4). El clúster rojo incluyó 13 clones con mayor coeficiente de flexibilidad y menores valores de relación Runkel y de la fracción de pared de la fibra, características que favorecen la producción de pulpa para papel. El clúster verde reunió cinco clones con mayor productividad, reflejada en valores superiores de DAP, ALT e IMA, por lo que estos clones son más idóneos para producir mayores volúmenes de madera en menor tiempo.

En contraste, el clúster azul agrupó ocho clones con mayores valores de relación Runkel, grosor y fracción de pared de la fibra, atributos que favorecen el uso de la madera en aplicaciones donde se requiere mayor resistencia y durabilidad, como el aserrío.

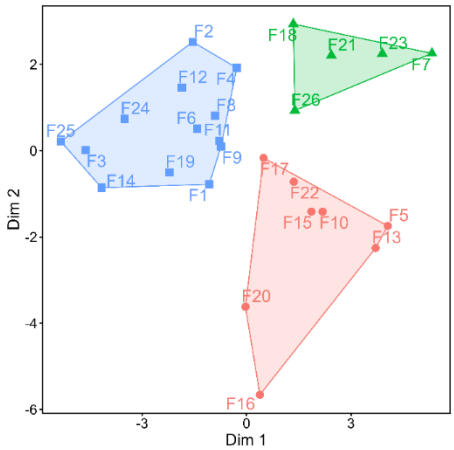


Figura 10. Agrupamiento de los 26 clones de *Eucalyptus urophylla* mediante análisis de clúster.

Conclusiones

El uso de técnicas multivariadas demostró ser una herramienta robusta al enfoque univariado tradicional. Permitió sintetizar la variación de múltiples caracteres y capturar la estructura conjunta de los datos, facilitando una evaluación integral y objetiva del material genético. Se corroboró un patrón claro de diferenciación entre las variables. Los clones asociados a un mayor crecimiento y productividad volumétrica mostraron una separación evidente respecto a aquellas relacionadas con la calidad y atributos morfológicos de la fibra. El análisis permitió agrupar y clasificar con éxito los 26 clones evaluados en Huimanguillo, Tabasco, en función de su aptitud de uso industrial. Esto proporciona una base sólida para optimizar los programas de mejoramiento genético forestal de *Eucalyptus urophylla*, permitiendo seleccionar de manera dirigida los mejores genotipos de acuerdo con las demandas específicas de la industria forestal.

Referencias bibliográficas

Viana, L. C., Trugilho, P. F., Hein, P. R. G., Lima, J. T., & Moreira da Silva, J. R. (2009). Predicting the morphological characteristics and basic density of Eucalyptus wood using the NIRS technique. Cerne, 15(4), 421–429.

Gebeyehu, D., & Abara, L. (2024). Evaluation of fiber properties of Eucalyptus globulus grown in Farta woreda as a potential source for pulp and paper making, Amhara national regional state, Ethiopia. AGBIR, 40(2), 933–941. https://doi.org/10.35248/0970-1907.24.40.933-941.

Júnior, W. P. S, Carvalho, A. M. M. L., Carneiro, A. C. O., Demuner, I. F., Oliveira, R. S., Reis, L. A. C., Lopes, L. A., & Moretti, S. D. A. (2025). Fiber quality indices of Corymbia spp. and Eucalyptus spp. wood for the selection of genetic materials for pulp production. Revista Árvore, 49(1), e4904. https://doi.org/10.53661/1806-9088202549263840.

Lahr, F. A. R., Nogueira, M. C. de J. A., Araujo, V. A. de, Vasconcelos, J. S., & Christoforo, A. L. (2017). Physical-mechanical characterization of Eucalyptus urophylla wood. Engenharia Agrícola, 37(5), 900–906. https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n5p900-906/2017.

POTENCIAL DE LA MADERA DE *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN EL SURESTE DE MÉXICO

Secundino Torres-Lamas[1]*, Pablo Martínez-Zurimendí[2], Marynor Elena Ortega-Ramírez[3], Manuel Jesús Cach Pérez[2] y Marivel Dominguez-Dominguez[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRSE. Campo Experimental Chetumal. Km 25. Carretera Chetumal-Bacalar, C.P. 77963, Xul-Há, Quintana Roo, México; [2]El Colegio de la Frontera Sur. ECOSUR. Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5, C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México; [3]Universidad Politécnica de Huatusco. Calle 22 Sur, Col. Reserva Territorial, C.P. 94116, Huatusco, Veracruz, México; [4]Colegio de Postgraduados. COLPOS. Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, km 3. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, C.P. 86500, Cárdenas, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: torres.secundino@inifap.gob.mx

Palabra clave: *Calidad de madera*, *industria forestal*, *mejoramiento genético*, *plantaciones forestales.*

Introducción

Las plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus* se encuentran entre las más importantes de México, particularmente en el sureste del país, donde *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. constituyen una fuente importante de madera en el estado de Tabasco. De estas especies, *E. urophylla* es la más plantada, especialmente en la región de Huimanguillo, donde su madera se utiliza principalmente para la fabricación de tableros de fibra de densidad media (MDF) y, en menor proporción, para la producción de madera aserrada. Sin embargo, estudios previos señalan que la madera de *E. urophylla* también puede destinarse a otros usos industriales, como la producción de pulpa para papel, una industria con una demanda creciente en nuestro país. Anualmente, México importa cerca de tres millones de toneladas de productos de papel y cartón, lo que representa aproximadamente el 35 % de la demanda nacional, debido a que la producción interna es insuficiente para cubrir un consumo superior a 8.5 millones de toneladas al año. En este contexto, ha surgido el interés de los productores por diversificar el aprovechamiento de la madera de *E. urophylla* hacia otras industrias, como la producción de pulpa para papel, con el fin de ampliar sus alternativas de uso y atender la demanda generada por el desabasto interno. Esto hace necesario contar con información sobre la anatomía de su madera.
Las características anatómicas de las fibras constituyen uno de los principales criterios para evaluar la calidad de la madera destinada a la producción de pulpa y papel, ya que permiten calcular índices como el coeficiente de flexibilidad, la relación Runkel, la fracción de pared y el índice de esbeltez. Estos índices se utilizan para predecir la calidad de las fibras, su comportamiento durante el proceso de pulpado y las propiedades físico-mecánicas del papel; además, aportan información útil para otros usos industriales, como la fabricación de tableros MDF, carbón vegetal y madera aserrada (Rockwood et al., 2022). A pesar de la importancia económica de *E. urophylla* en el sureste de México, existe escasa información sobre los índices de calidad de la madera de los materiales genéticos utilizados en plantaciones forestales comerciales. Por ello, el objetivo del presente estudio fue determinar los índices de calidad de la madera de 26 clones de *E. urophylla* establecidos en Huimanguillo, Tabasco, con el propósito de identificar materiales con aptitud potencial para la producción de pulpa para papel.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en árboles de *E. urophylla* de 6.2 años de edad, provenientes de un ensayo de mejoramiento genético establecido en Huimanguillo, Tabasco, México, ubicado en el entorno de las coordenadas 17°42′47.30″ N y 93°36′41.50″ O. Se seleccionaron aleatoriamente 78 árboles de 26 clones (tres árboles por clon), procurando que estuvieran libres de daños mecánicos, plagas y

enfermedades. De cada árbol se obtuvieron rodajas de 5 cm de grosor a cuatro alturas del fuste: base (0.30 m), diámetro normal (1.30 m) y al 50 y 75 % de la altura total. De cada rodaja se extrajeron probetas de madera de 2 × 2 × 2 cm correspondientes a la médula y la albura. Las fibras se aislaron mediante el método de maceración de Franklin, colocando 35 g de astillas de las probetas en un frasco con 10 mL de ácido acético y 10 mL de peróxido de hidrógeno. Los frascos se colocaron en una estufa de secado a 60 °C durante 48 h. Posteriormente, el material disociado se lavó con agua destilada, se tiñó con Bismarck al 1 % durante 24 h y las fibras se separaron utilizando un agitador magnético.

Se preparó un montaje microscópico por muestra. Se colocó una gota de la solución de las fibras teñidas sobre un portaobjetos y se cubrió con un cubreobjetos. Las fibras se observaron con un microscopio óptico marca Velab VE-M5D utilizando el objetivo de 10 x. El microscopio se conectó a una computadora mediante el software TCapture (Thermo Fisher Scientific) para la captura de imágenes. Se fotografiaron 20 fibras seleccionadas aleatoriamente por muestra, obteniéndose un total de 12 480 fibras analizadas. La longitud, el diámetro y el ancho del lumen se midieron en micras (µm) utilizando el programa ImageJ, se consideraron únicamente fibras completas y claramente visibles. A partir de estas mediciones se calcularon los principales índices de calidad de la fibra de la madera para la producción de papel: coeficiente de flexibilidad (CF = DL/DF × 100), relación Runkel (RR = 2EP/DL), fracción de pared de la fibra (FP = 2EP/DF × 100) e índice de esbeltez (FE = LF/DF) y factor de forma [SF = (FW² − LW²) / (FW² + LW²)], donde LF es la longitud de la fibra, DF el diámetro de la fibra, DL el diámetro del lumen y EP el espesor de la pared celular.

Resultados y discusión

Los resultados evidenciaron una alta variación en los índices de calidad de la madera, lo que refleja una amplia variabilidad genética en *E. urophylla*. El índice de esbeltez presentó diferencias significativas entre clones (P ≤ 0.05), y entre médula y albura (Figura 1). En general, los valores fueron mayores en la albura, lo que indica fibras relativamente más esbeltas en la madera más externa. En la médula, el clon F18 registró el mayor índice de esbeltez (62.3), mientras que F22 presentó el menor valor (48.8). En la albura, el valor más alto correspondió al clon F20 (66.7) y el más bajo a F22 (52.8). Estos valores superaron los reportados para *Eucalyptus globulus* (33.76 – 43.55) por Gebeyehu y Abara (2024), lo que puede sugerir que *E. urophylla* posee fibras más largas y delgadas. No obstante, fueron similares a los registrados en híbridos de *E. urophylla* en Brasil (46.5–57.5) por Júnior et al. (2025).

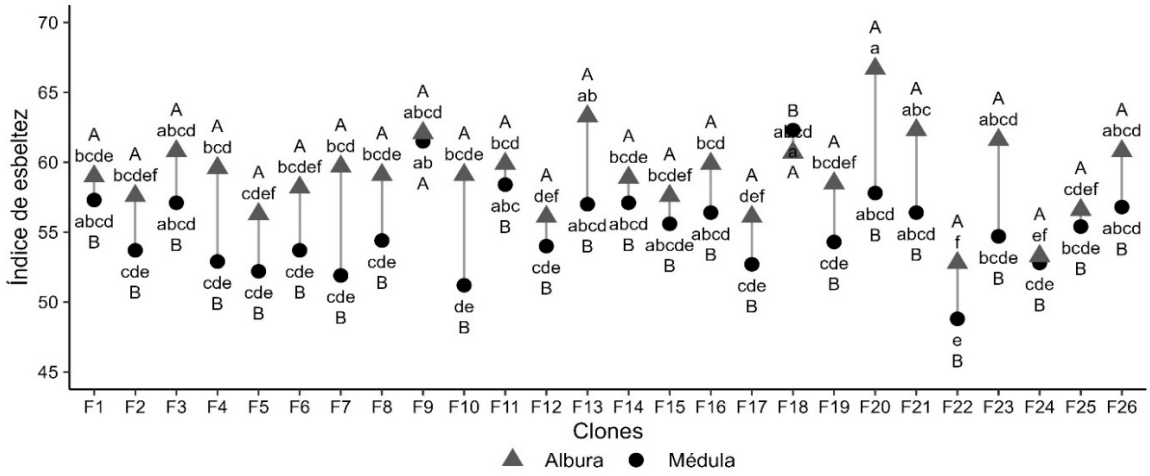


Figura 11. Índice de esbeltez de la fibra de la madera de clones de *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo Tabasco. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre clones, y las mayúsculas entre medula y albura de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05)

La relación Runkel presentó diferencia entre clones (P ≤ 0.05) y entre médula y albura (P ≤ 0.05), con valores aproximados de 0.70 a 1.20. En general, la albura mostró valores ligeramente superiores a la médula (Figura 2). Los valores más altos se registraron en los clones F13 y F16, mientras que F3, F21 y F25 presentaron los valores más pequeños. Los valores obtenidos en este estudio fueron ligeramente superiores a los reportados para *Eucalyptus globulus* en Etiopía (Gebeyehu y Abara, 2024); sin embargo, fueron similares a los observados en clones híbridos de Brasil con *E. urophylla* como uno de sus progenitores (Júnior et al., 2025), quienes reportaron valores entre 0.82 y 1.19. Los valores de la relación Runkel inferiores a 1 favorecen la obtención de papeles de alta calidad (Ashori y Nourbakhsh, 2009). En nuestro estudio, 17 clones en la médula y 13 en la albura presentaron valores inferiores a 1 (Figura 2), lo que indica su potencial para la producción de papel de alta calidad.

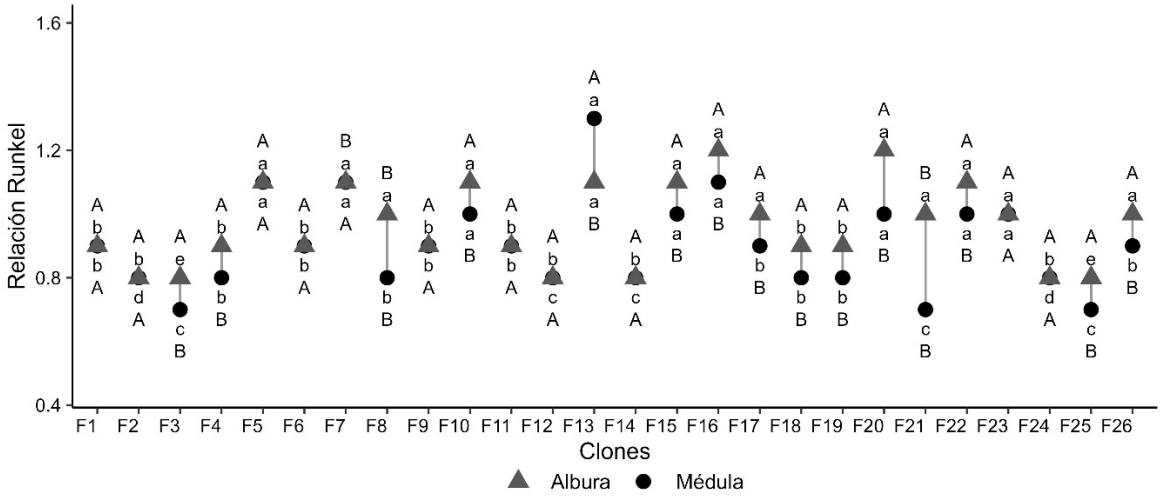


Figura 12. Relación Runkel de la fibra de la madera de clones de *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo Tabasco. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre clones, y las mayúsculas entre medula y albura de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05)

El coeficiente de flexibilidad presentó diferencias significativas entre clones (P ≤ 0.05) y entre medula y albura (P ≤ 0.05), con valores entre 46.6 y 59.1. La médula mostró en general valores superiores a la albura. Los mayores coeficientes se registraron en los clones F25, F3, F21 y F2, mientras que los menores correspondieron a F16, F13 y F5. Estos valores fueron similares a los reportados para otras especies como *Eucalyptus globulus* (Gebeyehu y Abara, 2024) e híbridos con *E. urophylla* como uno de los progenitores en Brasil con valores que oscilaron de 43.9 a 54.9 (Júnior et al., 2025). Valores entre 50 y 75 de coeficiente de flexibilidad facilitan el colapso de la fibra, la fibra colapsada se vuelve como cinta que proporciona una mayor superficie para la unión de la fibra generando papeles resistentes a la tracción, idóneos para la impresión y escritura. En nuestro estudio 24 clones tuvieron valores de coeficiente de flexibilidad entre 50.1 y 59.1 en la médula y 21 clones tuvieron entre 50.4 y 57.3 en la albura (Figura 3), lo que los hace idóneos para la producción de papel de alta calidad.

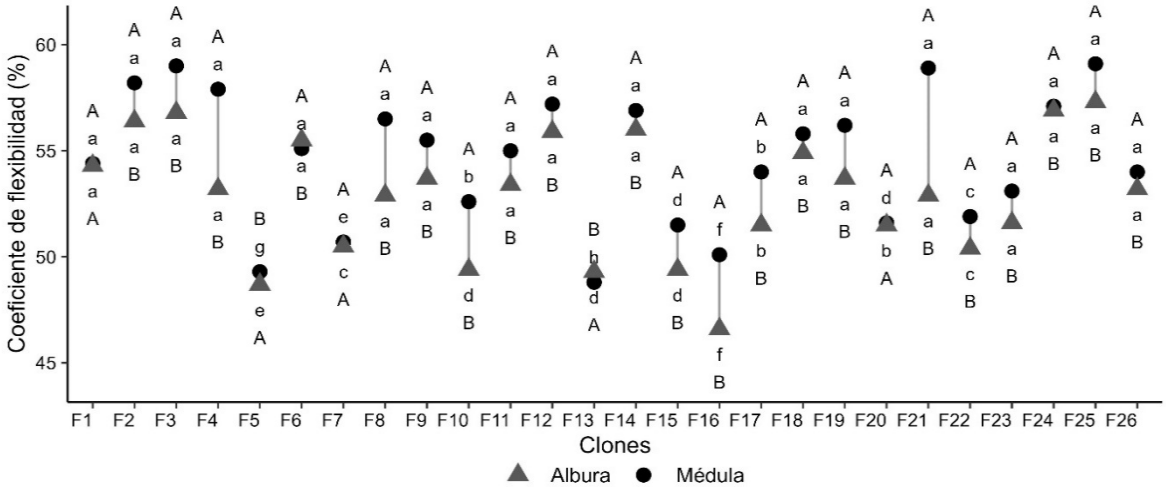


Figura 13. Coeficiente de flexibilidad de la fibra de la madera de clones de *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo Tabasco. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre clones, y las mayúsculas entre medula y albura de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05)

La fracción de la pared de la fibra presentó diferencias estadísticas entre clones (P ≤ 0.05) y entre posiciones radiales de la madera (P ≤ 0.05). En general, la albura mostró valores superiores a la médula. Los valores más altos se registraron en los clones F16 y F13, mientras que F25 y F3 presentaron los menores valores (Figura 4), evidenciando variabilidad genética en este atributo. Los valores encontrados en este estudio fueron similares a los reportados para *Eucalyptus globulus* en Etiopía con valores que oscilaron entre 40 % y 52 % (Gebeyehu y Abara, 2024). Lo que indica que las fibras poseen paredes de espesor moderado y lúmenes relativamente amplios. Estas características favorecen un equilibrio entre rigidez y flexibilidad, lo que puede mejorar la capacidad de unión entre fibras y contribuir a buenas propiedades del papel.

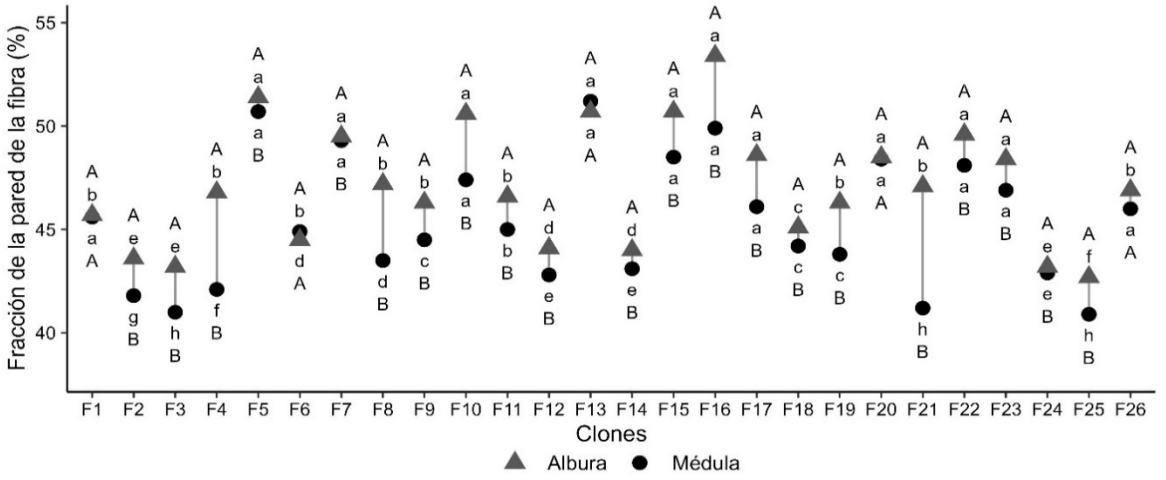


Figura 14. Fracción de la pared de la fibra de la madera de clones de Eucalyptus urophylla en Huimanguillo Tabasco. Tabasco. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre clones, y las mayúsculas entre medula y albura de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05)

El factor de forma presentó variación entre clones, con valores que oscilaron entre 0.48 y 0.64. En general, la albura mostró valores ligeramente superiores a la médula, aunque las diferencias fueron significativas únicamente en algunos clones. Los valores más altos se observaron en el clon F16, mientras que F3 y F25 registraron los valores menores, evidenciando variabilidad genética para esta

característica. Estos valores fueron ligeramente inferiores a los reportados para *E. urophylla* de cinco años de edad en Brasil, con valores que oscilaron entre 0.61 y 0.69 (Valle et al., 2026).

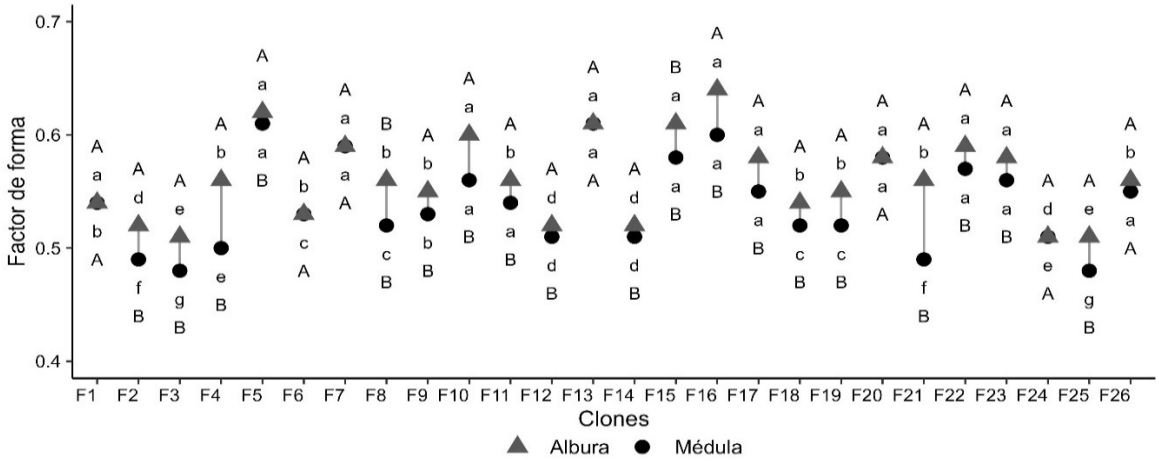


Figura 15. Factor de forma de las fibras de la madera de clones de *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo Tabasco. Tabasco. Las letras minúsculas indican diferencias estadísticas entre clones, y las mayúsculas entre medula y albura de acuerdo con la prueba de Tukey (P ≤ 0.05)

Conclusiones

Los índices de calidad de fibra evaluados en los 26 clones de *E. urophylla* mostraron amplia variación genética, con diferencias significativas entre clones y entre la posición radial en todos los índices evaluados. La mayoría de los clones presentaron relación Runkel inferiores a 1 y coeficientes de flexibilidad entre 50 y 75, condiciones favorables para el colapso de la fibra y la obtención de papeles de alta calidad. Estos resultados confirman el potencial de los clones estudiados, para la producción de papel de buena calidad, y constituyen una base útil para la selección de materiales genéticos en programas de mejoramiento genético orientados a esta industria en el sureste de México.

Referencias bibliográficas

Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2009). Studies on Iranian cultivated paulownia – a potential source of fibrous raw material for paper industry. European Journal of Wood and Wood Products, 67(3), 323–327. https://doi.org/10.1007/s00107-009-0326-0.

Gebeyehu, D., & Abara, L. (2024). Evaluation of fiber properties of Eucalyptus globulus grown in Farta woreda as a potential source for pulp and paper making, Amhara national regional state, Ethiopia. *AGBIR*, 40(2), 933–941. https://doi.org/10.35248/0970-1907.24.40.933-941.

Júnior, W. P. S, Carvalho, A. M. M. L., Carneiro, A. C. O., Demuner, I. F., Oliveira, R. S., Reis, L. A. C., Lopes, L. A., & Moretti, S. D. A. (2025). Fiber quality indices of *Corymbia spp*. and *Eucalyptus spp*. wood for the selection of genetic materials for pulp production. *Revista Árvore*, 49(1), e4904. https://doi.org/10.53661/1806-9088202549263840.

Rockwood, D. L., Naidu, S. B., Carter, D. R., Stricker, J. A., Fanning, B., Segrest, S., & Robert, J. (2022). Eucalyptus species and clones for diverse applications in Florida. *Forests*, 13(2), 266. https://doi.org/10.3390/f13020266.

Valle, M. L. A., Evangelista, W. V., & Silva, J. de C. (2026). Fiber quality of second-rotation wood from *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake for pulp and paper production. Ciência Florestal, 36, e90191. https://doi.org/10.5902/1980509890191.

ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO EN UNA PLANTACIÓN DE *Enterolobium cyclocarpaum* EN EL ESTADO DE JALISCO

Agustín Rueda-Sánchez[1]*, J. Trinidad Sáenz-Reyes[2], Juan de Dios Benavides-Solorio[1], Hipólito Jesús Muñoz-Flores[2] y Rubén Barrera-Ramírez[2]

[1]INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Km. 8 Carretera Libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, CP. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Av. Latinoamericana Núm. 1101, Col. Revolución, C.P. 60150, Uruapan, Michoacán.
*Autor para correspondencia: rueda.agustin@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Inventario forestal, captura de carbono, parota*.

Introducción

El cambio climático genera en gran medida el calentamiento global de la tierra, el cual es provocado por la concentración de los gases de efecto invernadero, provocado por la alta concentración de estos gases en la atmósfera, es porque la mayor parte de radiación infrarroja recibida en la tierra proveniente del sol y que debía ser reemitida al exterior, se queda atrapada, provocando que se eleve la temperatura de la superficie del planeta (IPCC, 2007).
La deforestación en bosques tropicales está degradando los ecosistemas, que se refleja en el calentamiento global ocasionado por incremento de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que conlleva a un desbalance natural en los ecosistemas, afectando la estabilidad climática y enormes pérdidas de la biodiversidad y en la producción de cultivos. Por lo que, en la búsqueda de alternativas viables para incrementar la riqueza arbórea y mejorar la situación económica de los productores, una alternativa factible desde el punto de vista técnico, económico y social son las plantaciones forestales comerciales (PFC), que generan productos maderables y no maderables, para asegurar el abastecimiento de materias primas a la industria forestal y generar servicios ambientales como la disminución de la erosión, aumento de la infiltración, captura de carbono, refugio de flora y fauna, aportación de recursos económicos y fuentes de empleo rural (Guerra y Galicia, 2017; Ugarte y Román, 2020; Santos et al., 2022).
Ante lo anterior, se planteó como objetivo: evaluar la biomasa y la captura de carbono en una plantación de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., de 12 años de edad en el estado de Jalisco.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se llevó a cabo en el Sitio Experimental “Costa de Jalisco” el cual pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). Se localiza en el Km 204 de la carretera Guadalajara-Barra de Navidad, en el municipio La Huerta, estado de Jalisco, entre los 19° 31’ 15” Latitud Norte y 104° 32’ 00” Longitud Oeste, a 298 msnm. El clima es Aw1 con lluvias en verano, con precipitación media anual de 1,100 mm, temperaturas medias máximas de 34 °C y medias mínimas de 12 °C, por lo que se considera un clima cálido sub húmedo. El tipo de suelo es feozem háplico, con un pH de 6.7.
Determinación de la biomasa. Los árboles empleados para generar la base de datos del presente estudio, fueron obtenidos de una plantación forestal establecida a una edad de 12 años, en una superficie de 1.8 ha. Se seleccionaron 15 árboles al azar, los cuales se marcaron para su derribo, ya que formaron parte de aclareos y podas que se aplicó a la plantación como parte de su manejo.
A cada árbol, se le midió el diámetro normal (DN) y la altura (A) y se seccionaron en trozas comerciales de diferentes longitudes, debido a la conformación del fuste de cada árbol, por lo que resultaron trozas de 2.55 m (8 pies), 2.13 m (7 pies), 1.82 m (6 pies), 1.52 m (5 pies), 1.25 m (4 pies), 0.92 m (3 pies), 0.61 m (2 pies) y 0.42 (1 pie). Las ramas fueron separadas del follaje y se pesaron de manera independiente obteniendo de una a dos y hasta tres muestras de cada componente de

acuerdo al tamaño del árbol. El peso fresco de cada componente y su respectiva muestra se determinó con una báscula (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de muestras y distribución por componente.

Fuste	Follaje	Brazuelo	Ramas	Total muestras
84	14	14	14	126

Las muestras primero se expusieron al sol durante 30 días con el propósito de evitar que fueran atacadas por hongos y posteriormente fueron secadas en hornos en el laboratorio, a temperaturas de 70 ºC durante 12 días las rodajas, brazuelos y ramas, y el follaje a 35 a 40 ºC durante 5 días.
La suma de la biomasa (B) total del fuste (trozas) y de la copa (brazuelo, ramas y follaje) determinó la B aérea total de cada árbol. Posteriormente, se utilizó la técnica de análisis de regresión con el empleo de varios modelos matemáticos lineales y no lineales, con el propósito de predecir la B total, a partir de variables independientes como el DN y la A.
Con el propósito de definir el mejor modelo, se utilizó el estadístico coeficiente de determinación (R^2) cuyo rango oscila entre 0 y 1. Este coeficiente expresa el porcentaje de la variación total presente en la variable B total aérea, que es atribuible al modelo de la regresión en cuestión. Por lo tanto, deberá seleccionarse un modelo cuyo valor de R^2 sea lo más cercano a la unidad o 100 %. El modelo empleado para determinar la B aérea de los árboles fue el siguiente:

$$Y = bX^k$$

Donde:
Y = Biomasa aérea (kg).
X = Diámetro normal (cm).
b y k = Parámetros de la función.

La expresión del modelo en su forma lineal mediante transformación logarítmica es la siguiente:

$$\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X)$$

Donde:
Y = Biomasa aérea (kg).
X = Diámetro normal (cm).
b y k = Parámetros de la función.
ln(*Y*), ln(*b*) y ln(*X*) = logaritmos naturales de *Y*, *b* y *X*.

Determinación del contenido de carbono. Al peso seco de cada uno de los componentes de los árboles en estudio, se les aplicó un índice de captura de C de 0.4269, el cual fue propuesto por Jo y McPherson (1995), el resultado se aplicó considerando una densidad de plantación de 1,111 árboles ha^{-1}.
Para estimar el contenido de C en la B de los componentes de los árboles de esta especie, se empleó la siguiente expresión:

$$CCC = BTC * \%C$$

Donde:
CCC = Contenido de carbono por componente (fuste, ramas, follaje) en kg.
BTC = Biomasa total del componente (kg).
% C = Porcentaje de carbono del componente determinado por el índice propuesto por Jo y McPherson, (1995).

El contenido del C de la B total aérea de cada árbol fue la suma del C del fuste o rodajas, brazuelo, ramas y follaje de cada árbol. Para la obtención de la ecuación alométrica para estimar el C, se emplearon varios modelos alométricos, que ya se mencionaron anteriormente y que se ajustaron a los datos de la B de los árboles y se basan en una correlación del contenido de C con el DN de cada árbol.

Resultados y discusión

Estimación de la biomasa. Los árboles muestreados se clasificaron por categoría diamétrica en rangos 5 cm (Cuadro 2).

Cuadro 2. Distribución del arbolado por categoría diamétrica de la especie forestal en estudio.

Categoría Diamétrica (cm)	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	Total
No. árboles	2	5	1	4	1	1	0	1	15

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de DN de los árboles muestra, se observa que los valores oscilaron entre 21.5 y 56.8 cm, con un promedio de 33.6 cm, con una desviación estándar (*s*) de 9.24 cm. La B tuvo valores de 64.1 a 637.9 kg árbol^{-1}, con una media de 198.6 kg y una *s* de 148.26 kg.

Cuadro 2. Características de árboles muestra para determinar ecuaciones matemáticas y estimar biomasa.

No. de árboles	DN (cm)				Biomasa por árbol (kg)			
	Promedio	Mínimo	Máximo	*S**	Promedio	Mínimo	Máximo	*S**
15	33.6	21.5	56.8	9.24	198.6	64.1	637.9	148.26

S * = Desviación estándar.
DN = Diámetro normal o altura del pecho a 1.30 m.

Es necesario mencionar que el modelo seleccionado para la estimación de B, solamente incluye el DN de los árboles como variable independiente, debido a que la altura su aporte al modelo fue no significativo, ya que el mayor porcentaje de la variabilidad total fue explicada por el DN. Al ajustar la ecuación para determinar la B en función del DN presentó un R^2 de 0.9307 y quedó expresada de la siguiente manera:

$$B = 0.3778\ DN^2 - 13.799\ DN + 205.73$$

Donde:
B = Biomasa (kg).
DN = Diámetro normal (cm).

Con base en lo anterior, la distribución y cantidad de B resultó de la siguiente manera: 95.52 % (189.6 kg árbol^{-1}) correspondió para los componentes que conforman la madera y el 4.48 % (8.9 kg) fue para el follaje. El 95.52 % se distribuye de la siguiente manera: 67.22 % (133.5 kg) para el componente denominado fuste o parte principal del árbol, 17.21 % (34.2 kg) para las ramas con diámetros de 5 cm en adelante y que se denominaron como brazuelo y el 11.03 % (21.9 kg) para las ramas menores de 5 cm de diámetro, consideradas como leña.
La biomasa total promedio por árbol resultó ser de 198.7 kg (Cuadro 3), la cual multiplicada por 1,111 árboles ha^{-1} resulta un total de 220.76 ton ha^{-1} a una edad de 12 años de establecida la plantación.

Cuadro 1. Distribución de biomasa promedio por componente.

Fuste (kg)	Brazuelo (kg)	Leña (kg)	Follaje (kg)	Biomasa total (kg árbol^{-1})
133.5	34.2	21.9	8.9	198.60

Con el modelo polinomial ($B = 0.3778X^2 - 13.799X + 205.73$) se obtuvo alto coeficiente de determinación (0.9307), con el que se estima la biomasa por árbol.
Estimación del contenido de carbono. Para estimar el C almacenado en la especie contemplada en el presente estudio y por considerar importante no sobreestimar los cálculos por este concepto, se tomó como valor referencial y muy conservador el indicador propuesto por Jo y McPherson (1995) de 0.4269, resultando los valores que se describen más adelante. Por lo tanto, el C almacenado por los árboles de *E. cyclocarpaum* resultó de multiplicar la B total por el factor 0.4269, quedando de la siguiente manera:

$$CBT = BT * 0.4269$$

Dónde:

CBT = Carbono almacenado (kg árbol^{-1}).
BT = Biomasa total (kg árbol^{-1}).

Para tasar la producción promedio de C, se probaron y ajustaron varios modelos matemáticos con la variable independiente DN, donde resultó con valor en el R^2 (0.9307), el modelo (Polinomial $C = 0.1613DN^2 - 5.8909DN + 87.825$) seleccionado es similar para la estimación de B.
De acuerdo con el Cuadro 4, el DN de los árboles muestra presenta un rango de 21.5 a 56.8 cm, con un promedio de 33.6 cm con una *s* de 9.24 y un contenido de C que varía de 27.35 a 272.34 kg, con una media de 84.78 kg y una *s* del orden de 63.29 kg.

Cuadro 4. Características de árboles muestra para determinar ecuaciones alométricas y estimar el contenido de carbono.

No. de árboles	Diámetro normal (DN) (cm)				Carbono por árbol (kg)			
	Promedio	Mínimo	Máximo	S	Promedio	Mínimo	Máximo	S
15	33.6	21.5	56.8	9.24	84.78	27.35	272.34	63.29

Los parámetros del modelo y la dispersión de puntos de los valores del contenido de carbono se presentan en la Figura 2. Al ajustar la ecuación para determinar el C en función del DN, se obtuvo un R^2 =0.9307. La ecuación determinada para estimar la producción de C fue:

$$C = 0.1613DN^2 - 5.8909DN + 87.825$$

Dónde:
C = Cantidad de carbono (kg).
DN = Diámetro normal (cm).

La distribución y cantidad de C resultó: 95.0 % (81.0 kg) para los componentes que conforman la madera y se distribuye 67.0 % (57.0 kg en promedio con una *s* de 49.5) para el fuste, 17.0 % (15.0 kg en promedio con una *s* de 8.7) para el brazuelo y el 11.0 % (9 kg en promedio con una *s* de 6.8) para la leña, y el restante 5.0 % (4.0 kg en promedio, con una *s*) para el follaje. El C total promedio por árbol resultó ser de 85.0 kg, lo cual multiplicado por 1,111 árboles ha^{-1} resulta un total de 94.5 ton C ha^{-1}, para la plantación de 12 años.

Conclusiones

Se logró el mejor modelo alométrico de tipo polinomial con un alto nivel de confiabilidad, para la estimación de la biomasa aérea y captura de carbono en la plantación de *Enterolobium cyclocarpum*, a 12 años de edad.

La plantación de *E. cyclocarpum*, a 12 años de edad, puede capturar un total 95.52 % (189.6 kg árbol^{-1}) correspondió para los componentes que conforman la madera y el 4.48 % (8.9 kg) fue para el follaje, por lo que la biomasa total promedio por árbol fue de 198.7 kg, la cual multiplicada por 1,111 árboles ha^{-1} resulta un total de 220.76 ton ha^{-1} a una edad de 12 años de establecida la plantación.

La plantación representa una opción de captura de carbono con un total de 95.0 % (81.0 kg) para los componentes que conforman la madera y el 5.0 % (4.0 kg en promedio, con una *s* de 4) para el follaje, por lo que el carbono total promedio por árbol resultó ser de 85.0 kg, que multiplicado por 1,111 árboles ha^{-1} resulta un total de 94.5 ton de carbono capturado por hectárea, en la plantación de 12 años de edad.

Referencias bibliográficas

Guerra C.V., Galicia L. 2017. Tropical and highland temperate forest plantations in Mexico: Pathways for climate change mitigation and ecosystem services delivery. Forests, 8:489. Doi: 10.3390/f8120489.

IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007: Informe de Síntesis. In: Pachauri, R. K. y A. Reisinger A. (eds.). Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza.104 p.

Jo H., McPherson, E. 1995. Carbon storage and flux in urban residential Greenspace. Journal of Environmental Management, 45:109-133.

Santos F.C., Díaz Q.E., Ruiz G.J., 2022. Evaluation of forest biomass in coetaneous plantations of *Calycophyllum spruceanum* (capirona). Journal Scientific International Environmental Green Horizon, 1(2):2-11. https://environmentjournal.org/index.php/GreenHorizon/article/view/8/15.

Ugarte G.J., Román D.F. 2020. Tasas de crecimiento de cuatro especies nativas en plantaciones forestales comerciales en cuatro regiones de la Amazonía Peruana. Revista Forestal del Perú, 35(3):44-55. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4401/T016_44239001_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

COEFICIENTE DE ASERRÍO DE *Enterolobium cyclocarpum* EN UNA PLANTACIÓN EN EL ESTADO DE JALISCO

J. Trinidad Sáenz-Reyes[1]*, Agustín Rueda-Sánchez[2], Juan de Dios Benavides-Solorio[2], Hipólito Jesús Muñoz-Flores[1] y Rubén Barrera-Ramírez[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Uruapan. Av. Latinoamericana Núm. 1101, Col. Revolución, C.P. 60150, Uruapan, Michoacán. [2]INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Km. 8 Carretera Libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, CP. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco.
*Autor para correspondencia: saenzreyesjtrinidad@gmail.com

Palabras clave: *Parota, aserrío, plantaciones forestales.*

Introducción

En México, es necesario continuar con el establecimiento de nuevas plantaciones forestales en sitios o áreas con capacidad productiva adecuada, de acuerdo a las características agro-climáticas y genéticas de las especies a establecer, además, es importante aumentar el grado de utilización de la madera que se pueda obtener en las fases de cosecha e industrialización.
El proceso de aserrío se considera una de las actividades más importantes de la industria forestal y una de las formas más sencillas de transformar la trocería, cuya eficiencia se evalúa a través de estudios de coeficientes de aprovechamiento y de rentabilidad del proceso (Zavala y Hernández, 2000).
El aserrío es un proceso mediante el cual la madera en rollo se convierte en tablas, tablones, polines, vigas y durmientes, utilizando maquinaria, equipo, recurso humano, fuentes de energía y dinero (García et al., 2001). El rendimiento físico en el procesamiento de la madera, a través de mediciones detalladas desde que las trozas ingresan al aserradero hasta que salen convertidas en productos finales, es una manera de conocer las debilidades de fases específicas del proceso de transformación, lo cual posibilita realizar los ajustes necesarios que conduzcan al alcance de mayor eficiencia en la industrialización primaria (Quirós et al., 2005).
El coeficiente de aserrío se determina a través de la relación del volumen de la madera aserrada y el volumen de trocería que se utiliza para obtenerla, expresada en porcentaje. Se puede referir al volumen de madera de dimensiones comerciales, al volumen de madera de cortas dimensiones y se puede expresar en dimensiones reales y/o nominales de la madera aserrada y las dimensiones reales de la trocería; también es factible determinar la proporción de madera, de costeras y recortes y aserrín (Zavala, 1994).
Ante lo anterior, se planteó como objetivo: determinar el coeficiente de aserrío en el procesamiento de la madera de una plantación de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., de 12 años de edad en el estado de Jalisco.

Materiales y métodos

Área de estudio. El sitio donde se llevó a cabo el trabajo fue en San Agustín, Mpio. Unión de Tula, Jalisco, que se ubica en los 20º 32’ 0’’ Latitud Norte y 103º 28’ 0’’ Longitud Oeste, a 1,592 msnm.
Características de las trozas. La determinación del coeficiente de aserrío se realizó con trocería de cortas dimensiones procedente del primer aclareo de una plantación de 12 años de edad de *E. cyclocarpum* en el Sitio Experimental “Costa de Jalisco”, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
Las trozas fueron seccionadas de acuerdo a sus condiciones de forma, principalmente, tomándose en consideración la rectitud, torceduras y conicidad, en dimensiones de 0.77 a 1.30 m, con promedio 1.20 m para el valor mínimo y de 1.30 a 2.62 m con promedio 2.24 m para el valor máximo. En relación a los diámetros mínimos, se registraron valores en un rango de 9.5 a 46.5 cm con un

promedio de 23.2 cm; los diámetros máximos fueron de 16.5 a 57.0 cm, con promedio de 41.6 cm y el diámetro medio presentó valores de 13.0 a 51.7 cm, con un promedio de 32.4 cm.
Una vez que la trocería fue transportada y depositada en el patio o área de alimentación del aserradero, se procedió a cubicar y clasificar las trozas de acuerdo a las diferentes categorías diamétricas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de trozas de la plantación de *Enterolobium cyclocarpum* procesadas en aserradero.

No. trozas	Volumen (m^3 r)	Diámetro promedio de trozas (cm)			Longitud (m)	
		Mínimo	Medio	Máximo	Mínima	Máxima
241	15.659	23.2	32.4	41.6	1.20	2.24

Para determinar las dimensiones de las trozas, en longitud y en diámetro, se utilizó cinta métrica y se les midió el diámetro con y sin corteza en forma de cruz en cada extremo de la troza y se obtuvo el valor promedio de cada extremo.
Categorías diamétricas de la trocería. El Cuadro 2 muestra las categorías diamétricas que se establecieron (10), que se definieron de la siguiente manera: 1 (5-9 cm), 2 (10-14 cm), 3 (15-19 cm), 4 (20-24 cm), 5 (25-29 cm), 6 (30-34), 7 (35-39 cm) y 8 (40-54 cm). De manera puntual se describe el número de trozas por cada una de las categorías diamétricas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías de diámetros de las trozas de la plantación de *Enterolobium cyclocarpum*.

Categorías	Diámetros (cm)	No. de trozas
1	5-9	0
2	10-14	23
3	15-19	102
4	20-24	52
5	25-29	30
6	30-34	16
7	35-39	8
8	40-44	10

Método de cubicación de trozas. Para la determinación del volumen se empleó la fórmula de Smalian (Zavala y Hernández, 2000).

$$V = \frac{(B + b)}{2} L$$

Dónde:

V= Volumen (m^3).
B, b = Áreas de las cabezas de las trozas (m^2).
L= Longitud (m).

Coeficiente de aserrío. El aserrío se llevó a cabo de acuerdo a cada una de las categorías diamétricas en forma ordenada de menor a mayor y el coeficiente se determinó por la relación el volumen de madera aserrada entre el volumen de las trozas, empleando para ello unidades métricas y multiplicado por 100 para obtener valores en porcentaje. Para la cuantificación del volumen de la madera aserrada, se consideró también los subproductos tabletas y palillo. La siguiente fórmula se empleó para la determinación del coeficiente de aserrío:

$$\text{Coeficiente de aserrío} = \frac{\text{Volumen de madera aserrada } (m^3)}{\text{Volumen de la troza } (m^3)}$$

Las trozas fueron procesadas con la sierra principal a la sierra pendular y de ahí a las máquinas tableteras y se consideró no producir madera aserrada, debido a que presentaron albura (capa blanda de la madera de los árboles, de color blanquecino, situada entre la corteza y el duramen) muy pronunciada y duramen muy reducido; estas características no son muy atractivas para los industriales que usan este tipo de madera, cuyos argumentos son que es muy porosa y contiene gran cantidad de azúcares que son muy apetecidos por insectos como la polilla, y en el peor de los casos, no es atractiva para trabajarla industrialmente.
En lo que se refiere al duramen (parte central, más seca, dura y oscura del tronco y de las ramas de un árbol), la madera tiende a presentar torceduras y agrietamientos a lo largo de las tablas que se obtenga de trozas de árboles aún en etapas juveniles, por lo tanto, solamente se obtuvo tabletas de 1" x 2" x 2', 1" x 2"x '2.5 y palillo de 1"x1"x 4' y 1"x1"x 5'.
Por otra parte, se cuantificaron los materiales considerados como desperdicio: costeras, recortes y aserrín, tanto los generados en la sierra principal como el proveniente de la desorilladora, péndulo y máquinas tableteras. Para el caso de costeras y recortes, se apilaron como un cubo y se les tomó las dimensiones de grueso, ancho y altura con aproximación al metro. Asimismo, para la cuantificación del volumen del aserrín, se tomó como referencia un recipiente o caja de cartón cuyas medidas se establecieron de igual manera (grueso, ancho y alto, en metros).
Efecto de categoría diamétrica. Se procedió a cuantificar el número y volumen de las trozas de cada una de las categorías y se relacionaron con la producción de madera, productos secundarios y materiales considerados como desperdicio (costaneras, recortes y aserrín).

Resultados y discusión

Madera en rollo procesada y aserrada recuperada. Los resultados muestran que, de las 241 trozas procesadas, 49 % se agrupó en la longitud de 4 pies, el 28.21 % correspondió a las trozas de 3 pies, el 12.45 % presentó longitudes de 8 pies, el 7 % para trozas de 2 pies y el 2 y 1 % fueron para las trozas con longitudes de 5 y 1 pies, respectivamente.
El volumen de madera en rollo que ingresó al aserradero fue de 15.66 m^3r y se obtuvo un volumen de madera aserrada de 7.72 m^3 (tabletas de dos medidas: 1"x 2"x 2' y 1"x 2"x 2.5'), lo que corresponde al 49.03 % (Cuadro 3).

Cuadro 2. Coeficientes de aserrío de la madera de la plantación de *Enterolobium cyclocarpum*.

Categoría diamétrica (cm)	Madera en rollo (m^3r)	No. Trozas	Coeficiente de aserrío (%)
2 (10-14)	0.435420	23	42.82
3 (15-19)	2.719613	102	39.04
4 (20-24)	2.654781	52	46.07
5 (25-29)	2.961322	30	49.00
6 (30-34)	2.364457	16	47.26
7 (35-39)	1.715130	8	60.00
8 (40-44)	2.768926	10	59.00
Total	15.659652	241	
Promedio			49.03

Estos resultados indican que, en madera de pequeñas dimensiones, obtenida de los primeros aclareos comerciales, el 65.97 % del volumen de madera en rollo corresponde a productos denominados desperdicios, tales como costeras, recortes y aserrín, los cuales no son aprovechados en usos comerciales. En general, en la mayoría de los aserraderos los subproductos llamados desperdicios (costeras, recortes y aserrín) no se cuantifican, sin embargo, por la importancia que están adquiriendo para la industria de tableros aglomerados y la de celulosa y papel, en este estudio sí fueron cuantificados estos subproductos, resultando proporciones porcentuales importantes, tales como de 49.20 % para costeras y recorte y 12.25 % para el aserrín.
Se considera un coeficiente de aserrío aceptable, no obstante, por tratarse de trozas de cortas dimensiones, los subproductos llamados desperdicios también son considerables, resultando el

40.92 % para corteza y recorte y 9.38 % para el aserrín. Al respecto, los residuos en la industria son generalmente mayores a lo que registran las estadísticas de las industrias, ya que no establecen una relación real entre el volumen de madera en troza que procesan y el volumen de madera aserrada, ya que siempre usan una cubicación que subestima el volumen en troza (método del mecate), sin embargo, haciendo una relación entre m^3 en troza y m^3 aserrado real, el porcentaje de residuos alcanza hasta un 55%, de los cuales un 15 a 20 % es aserrín un 20 a 25% costillas, 5 a 10% despunte y 3 a 5 % burucha.

Impacto y distribución de trozas por categorías diamétricas. El diámetro de las trozas es uno de los factores que tiene efecto directo en la calidad y cantidad de madera aserrada y que, en la medida que aumenta el diámetro se incrementa el rendimiento y calidad de la madera, sin embargo, la tendencia no se presentó de acuerdo a lo especificado, ya que el coeficiente de aserrío de la categoría diamétrica 2 (10-14 cm) fue mayor que el coeficiente de aserrío de las categorías 3 (15-19 cm) y 4 (20-24 cm), respectivamente. Lo anterior, hace suponer que, en este caso específico, el rendimiento de las trozas en proceso de aserrío, fue afectado por la longitud y conicidad de las trozas. Por otro lado, las trozas de pequeñas dimensiones, como es el caso del presente estudio, en comparación con trozas de mayores dimensiones, conduce a la reducción de los rendimientos en la producción e indicadores técnicos y económicos de los aserraderos, lo cual es parcialmente válido, pues realizando una óptima selección de maquinaria y equipo es posible reducir la influencia negativa de tales indicadores.

En el Cuadro 4 se observa que a medida que aumenta el diámetro se incrementa el rendimiento y calidad de la madera, sin embargo, se presentó una excepción que fue en la categoría diamétrica 3 (15-19 cm), que debió haber resultado con un coeficiente mayor que la categoría 2 (10-14 cm).

Cuadro 4. Impacto del diámetro de las trozas en el coeficiente de aserrío de la madera de la plantación de *Enterolobium cyclocarpum.*

Categoría diamétrica (cm)	No. trozas	Frecuencia diamétrica (%)	Coeficiente de aserrío (%)
2 (10-14)	23	9.54	42.82
3 (15-19)	102	42.32	39.04
4 (20-24)	52	21.57	46.04
5 (25-29)	31	12.45	49.00
6 (30-34)	16	6.64	47.26
7 (35-39)	8	3.32	60.00
8 (40-44)	10	4.15	59.00

Conclusiones

El valor promedio del coeficiente de aserrío promedio fue de 49.03 % y la madera en rollo de las 8 categorías diamétricas, se empleó para la producción de tableta para muebles y palillo para mango de escoba y tutores. Esto debido a que la gran mayoría de las trozas no se consideraron aptas para producción de madera aserrada en tablas.

Los resultados muestran la necesidad de buscar mejores opciones de aserrío de madera en rollo de cortas dimensiones, que provienen del primer aclareo de las plantaciones forestales e incrementar el grado de utilización de la materia prima, así como de buscar la diversificación de productos que se puedan obtener y sean de interés para la industria y, por ende, un mejor aprovechamiento del recurso forestal.

Las proporciones de corteza y recorte del 40.95 %, se consideran un volumen significativo de material considerado como desperdicio, el cual no es aprovechado y que pudiera servir como materia prima para otras industrias, tales como la de aglomerados y de celulosa. El porcentaje de aserrín, 9.42 % también es un valor importante, el cual se puede utilizar como combustible y otros usos industriales como elaboración de tableros comprimidos, entre otros.

Es importante incrementar el coeficiente de aserrío, en base a estudios relacionados con diferentes sistemas o diagramas de corte en la trocería y, sobre todo, considerar las dimensiones de los productos aserrados, de tal manera que no lleve excesos de refuerzos en sus tres dimensiones.

Referencias bibliográficas

García R., J.D., L. Morales Q., Valencia M.S. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. Foresta-AN. Nota Técnica No. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 p.

Quirós R., Chinchilla O., Gómez M. 2005. Rendimiento de aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. Agronomía Costarricense, 002(29):7-15.

Zavala Z.D. 1994. Control de calidad en la industria se aserrío y su recuperación económica. INIFAP. Boletín Técnico No. 115. Coyoacán, D.F. México. 48 p.

Zavala Z.D., Hernández C.R. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. Madera y Bosques, 6(2):41-55.

MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMAR BIOMASA AÉREA EN BOSQUES DE ENCINO DEL NORTE DEL ESTADO DE MÉXICO

Casimiro Ordóñez-Prado[1], Bossuet Gastón Cortés-Sánchez[2]*, Juan Carlos Tamarit-Urias[1], Vidal Guerra-de la Cruz[2], Enrique Buendia-Rodriguez[3], José Antonio Hernández-Moreno[4], Adrián Hernández-Ramos[5] y Jonathan Hernández-Ramos[6]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Martinito, C.P. 74100, Santa Rita Tlahuapan, Puebla, México; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Sitio Experimental Tlaxcala, C.P. 90802, Santa Ana Chiautempan, Tlaxcala, México; [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, C.P. 56250, Texcoco, México; [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental El Palmar, C.P. 95080, Tezonapa, Veracruz, México; [5]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Saltillo, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México; [6]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío, C.P. 48010, Celaya, Guanajuato, México.
*Autor para correspondencia: cortes.bossuet@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Gestión sostenible, cambio climático, almacenes de carbono, ecuaciones aditivas*

Introducción

La gestión sostenible de los recursos forestales constituye uno de los principales desafíos para garantizar la provisión continua de bienes y servicios ecosistémicos, entre ellos la producción de madera, la conservación de la biodiversidad, la regulación hidrológica y la captura de carbono. En este contexto, la disponibilidad de información cuantitativa confiable sobre la estructura, crecimiento y productividad de los ecosistemas forestales resulta indispensable para fundamentar la toma de decisiones en el manejo, la conservación y la restauración de los bosques. El desarrollar modelos matemáticos capaces de describir con precisión diferentes atributos del arbolado constituyen herramientas esenciales para los inventarios forestales, la planificación silvícola y la evaluación de los recursos naturales.

Los modelos destinados a estimar la biomasa aérea han adquirido especial relevancia debido a su estrecha relación con la cuantificación de los reservorios de carbono y la mitigación del cambio climático. La biomasa de los bosques representa el carbono almacenado en estos ecosistemas terrestres y constituye un indicador fundamental para evaluar el papel de los bosques como sumideros de carbono (Pan et al., 2011). Lo anterior, es indispensable para el desarrollo de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, la implementación de mecanismos de compensación ambiental y la evaluación de estrategias de manejo forestal orientadas a incrementar el secuestro de carbono (IPCC, 2019). La estimación de biomasa aérea mediante modelos alométricos representa el método más eficiente y ampliamente utilizado, porque permite relacionar variables de fácil medición en campo, como el diámetro normal y la altura total, con la biomasa acumulada por los árboles. Lo anterior, evita la necesidad de realizar muestreos destructivos extensivos. Diversos estudios han demostrado que el empleo de modelos específicos por especie o por región mejora significativamente la precisión de las estimaciones (Chave et al., 2014; Picard et al., 2012). En México, durante las últimas décadas se han generado numerosos modelos alométricos para diferentes especies y regiones forestales; sin embargo, la cobertura geográfica y taxonómica aún es insuficiente. Particularmente, para los bosques del norte del Estado de México no se dispone de modelos alométricos desarrollados específicamente para las especies de mayor importancia ecológica y económica de la región. En este contexto, el objetivo de este trabajo es ajustar y evaluar un sistema de ecuaciones aditivo para estimar biomasa aérea total y de sus componentes estructurales para bosques de encino del norte del Estado de México.

Materiales y métodos

El trabajo de campo se desarrolló en bosques mezclados bajo gestión forestal maderable propiedad del ejido San Miguel Acambay, ubicado en el norte del Estado de México, entre las coordenadas geográficas extremas 99°50'47.54"O, 20° 0'10.85"N y 99°45'28.32"O, 19°56'45.65"N. El ejido presenta un clima es templado subhúmedo C(w2)(w), temperatura media anual entre 12º C y 18º C, con lluvias en verano y precipitación media anual de 765 mm.
La cuantificación de biomasa verde se realizó a través del método destructivo, donde cada individuo es pesado en componentes: fuste, rama y follaje. Se obtuvieron tres submuestras de cada componente estructural para su posterior secado en laboratorio, con el propósito de determinar el contenido de humedad y estimar la biomasa seca.
Se colectó información de 21 árboles representativos de las condiciones del bosque (Cuadro 1), procurando abarcar diferentes categorías diamétricas y estructurales con la finalidad de obtener una muestra representativa de la biomasa presente en el sitio de estudio. La selección de individuos se realizó considerando la variabilidad del rodal y la representatividad de la vegetación forestal, siguiendo el principio de generar información confiable para la calibración de modelos de biomasa aérea (Moradi et al., 2022).
Previo a la cosecha de biomasa, en cada árbol se registraron las principales variables dasométricas: diámetro normal (*dn*, cm) medido a 1.30 m sobre suelo, la altura total (*at*, m), especie y estado fitosanitario. Estas variables constituyeron la base para establecer la relación alométrica entre la estructura del árbol y la biomasa aérea.

Cuadro 1. Estadísticos de tendencia central y dispersión de las variables empleadas para estimar biomasa aérea de encinos en el norte del Estado de México.

Variable	n	Mínimo	Máximo	Media	D. E	Asimetría	Curtosis
dn	21	4	59	37.271	17.803	-0.816	2.432
at	21	3.69	23.65	16.52	6.501	-1.116	2.949
BF	21	1.602	2294.3	835.931	680.059	0.536	2.363
BR	21	0.968	1174.474	427.085	392.542	0.683	2.103
BH	21	0.609	164.978	59.422	56.031	0.655	2.144
BTotal	21	3.492	3627.627	1322.438	1099.622	0.563	2.306

Donde: dn es diámetro normal (cm), dt es diámetro de tocón (cm), at es altura total (m), BF es biomasa del fuste, BR es biomasa de ramas, BH es biomasa de follaje, BTotal es biomasa total, D.E. es la desviación estándar.

La estimación de biomasa mediante el ajuste independiente de los componentes estructurales generá inconsistencias entre las estimaciones de dichos componentes y la biomasa total observada. Para disminuir estas inconsistencias, varios estudios recomiendan un sistema de ecuaciones simultaneas que garanticen la aditividad. Por ello, se ajustó un sistema de ecuaciones que incluyó un modelo específico para cada componente estructural: se empleó el modelo potencial para explicar la biomasa de fuste, mientras que para ramas y follaje se empleó el modelo exponencial del dn (Cuadro 2).

Cuadro 2. Sistema de ecuaciones ajustado para estimar biomasa aérea de encinos en el norte del Estado de México.

Sistema de ecuaciones
$B_f = \beta_0 dn^{\beta_1}$
$B_r = \beta_2 \exp(\beta_3\, dn)$
$B_h = \beta_4 \exp(\beta_5\, dn)$

$$B_{Total} = \sum B_i$$

El ajuste simultáneo se realizó mediante el método de regresión iterativa aparentemente no relacionada (Iterated Seemingly Unrelated Regression, ITSUR), utilizando el procedimiento MODEL del paquete estadístico de SAS/ETS® 9. Este método minimiza el error asociado al sistema de ecuaciones y permite la obtención de estimadores consistentes de los componentes en los sistemas no lineales. De tal manera que el ajuste del sistema de ecuaciones resultante es siempre el mejor posible, aunque el ajuste de las ecuaciones de cada partición de forma individual no sea necesariamente el mejor. Es común que el ajuste de este tipo de ecuaciones presente heterocedasticidad, por lo que se empleó regresión ponderada para solventar este problema a través de la función: $1/(dn^2at)$, la cual ayudó a mejorar la consistencia de los estimadores.

Resultados y discusión

La biomasa de fuste y ramas aumentó proporcionalmente conforme se incrementó el tamaño del árbol, aunque la biomasa de ramas presentó mayor variación que la del fuste. La mayor proporción de biomasa en los encinos muestreados se concentró en el fuste con un promedio de 61%, mientras que la proporción de ramas fue en promedio de 32% y la de follaje de 7%, lo que refleja las diferencias arquitectónicas y de asignación de biomasa entre especies.

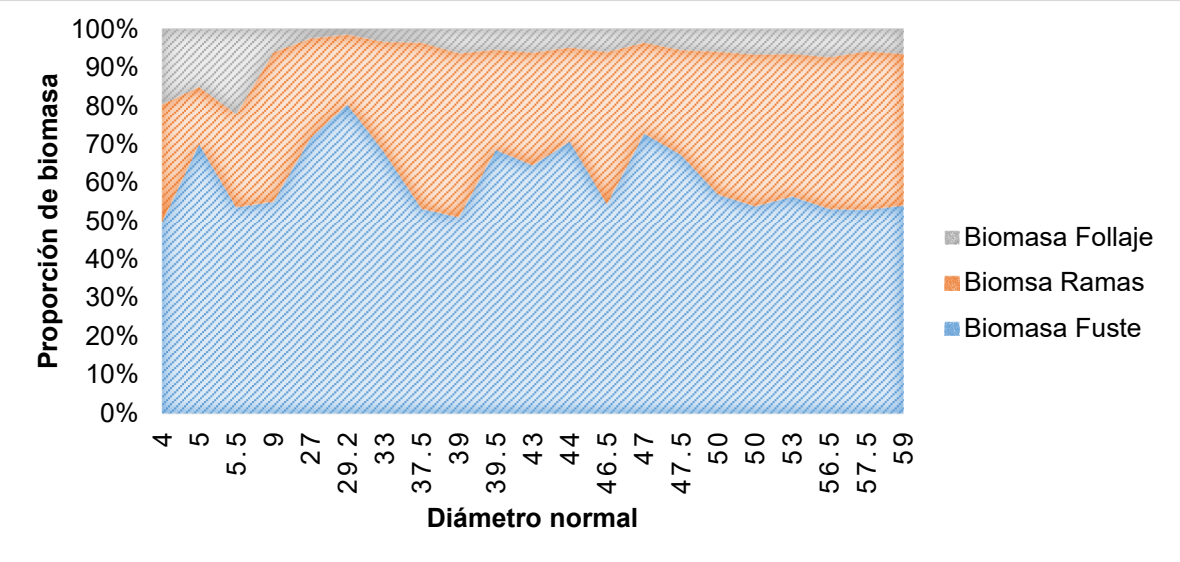


Figura1. Distribución de biomasa aérea por componente estructural para encinos del norte del Estado de México.

El sistema de ecuaciones ajustado presentó un desempeño satisfactorio, con coeficientes de determinación ajustados superiores a 0.77 en todos los componentes estructurales y biomasa total (Cuadro 3). El modelo correspondiente a ramas mostró el mayor valor de ajuste, con un R^2_{adj} de 0.8321 y una raíz del cuadrado medio del error (RCME) de 160.8, lo que indica una adecuada capacidad predictiva para este componente, aun cuando la biomasa de ramas suele presentar alta variabilidad por diferencias en arquitectura de copa y grado de ramificación. Para el fuste, el R^2_{adj} fue de 0.7792, con una RCME de 319.6, lo que evidencia un ajuste aceptable y consistente con la importancia de este componente en la biomasa total del árbol. En el caso del follaje, el modelo alcanzó un R^2_{adj} de 0.7978 y la menor RCME del sistema (25.19), resultado atribuible a la menor magnitud absoluta de la biomasa foliar respecto al fuste y las ramas. Finalmente, la biomasa aérea total presentó un R^2_{adj} de 0.8145 y una RCME de 473.7, lo cual confirma que el sistema aditivo

permite integrar de manera coherente las estimaciones de los componentes estructurales y obtener predicciones consistentes de la biomasa total.

Cuadro 3. Estimadores de bondad de ajuste para los modelos ajustados para estimar biomasa aérea en bosques del norte del Estado de México.

Modelo componente estructural	R^2_{adj}	RCME
B_f	0.7674	328
B_r	0.8782	137
B_h	0.8671	20.42
B_{Total}	0.8341	447.9

En el Cuadro 4 se presentan los parámetros estimados del sistema de ecuaciones ajustado. En general, los parámetros mostraron valores positivos, lo que confirma la relación directa entre las variables dasométricas empleadas y la biomasa de los componentes estructurales. Los valores de significancia indican que los parámetros contribuyen de manera importante al modelo, mientras que los errores estándar permiten evaluar la precisión asociada a cada estimador. Estos resultados respaldan la consistencia estadística del sistema de ecuaciones y su utilidad para estimar la biomasa aérea total y por componente estructural de encinos en el norte del Estado de México.

Cuadro 4. Parámetros estimados del sistema de ecuaciones para estimar biomasa aérea de encinos del norte del Estado de México.

Parámetro	Estimador	Error estándar	t value	Pr(>|t|)
β_0	0.185518	0.3463	0.54	0.0498
β_1	2.255998	0.4748	4.75	0.0001
β_2	0.071178	0.00841	8.46	<.0001
β_3	18.11083	8.1864	2.21	0.0394
β_4	2.539993	1.1492	2.21	0.0396

En la Figura 2 se presentan las rectas de regresión ajustadas y la dispersión de los datos observados para cada componente estructural. Esta representación permite valorar visualmente el comportamiento del sistema de ecuaciones y la correspondencia entre los valores estimados y observados de biomasa aérea.

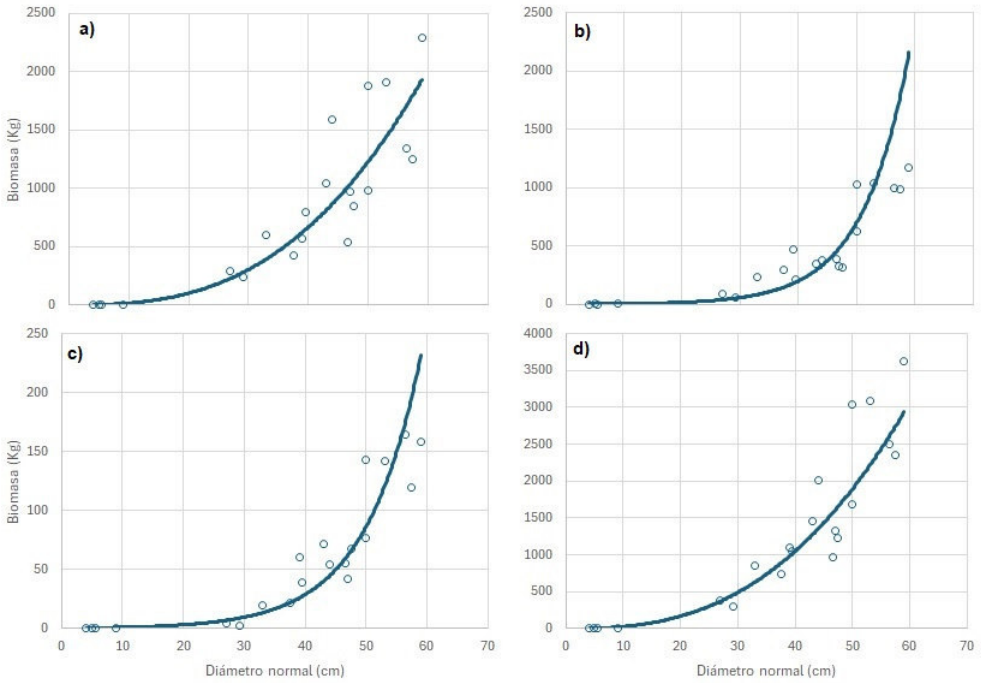


Figura 2. Sistema de ecuaciones ajustado para estimar biomasa aérea para componentes estructurales del árbol: a) fuste, b) ramas, c) follaje y d) biomasa total.

Conclusiones

El ajuste del sistema de ecuaciones permitió estimar de manera consistente la biomasa aérea total y por componente estructural en bosques de encino del norte del Estado de México. La bondad de ajuste mostró que las variables dasométricas empleadas explican adecuadamente la variación de la biomasa para cada componente estructural y total. El ajuste simultáneo mediante la regresión iterativa aparentemente no relacionada permitió la propiedad de aditividad entre los componentes estructurales y la biomasa total, evitando inconsistencias derivadas del ajuste independiente de ecuaciones. Por lo anterior, el sistema propuesto constituye una herramienta útil para inventarios forestales, evaluaciones de biomasa y estimaciones de carbono en bosques de encino para la región de estudio. Este sistema de ecuaciones contribuye a reducir la incertidumbre en la estimación de biomasa aérea para encinos del norte del Estado de México.

Agradecimientos y fuente financiadora

Se agradece al comisariado del ejido de San Miguel Acambay, quienes otorgaron los permisos necesarios para realizar las actividades de campo. También, al Ing. José Arteaga Remigio por las facilidades y protocolos técnico-administrativos para realizar la cosecha de biomasa.
Este trabajo fue financiado por el Fondo para la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del Estado de México, en la convocatoria “Sinergia para la incidencia” 2025 a través del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología para el proyecto de investigación “Resiliencia y adaptación de los bosques del oriente del Estado de México al cambio climático como almacenes de carbono” con convenio C-SINERGIA-FICTEM-2025-009.

Referencias bibliográficas

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martínez-Yrízar, A., Mugasha, W.A., Muller-

Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Pélissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G. y Vieilledent, G. (2014), Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Glob Change Biol, 20: 3177-3190. https://doi.org/10.1111/gcb.12629.

IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... y Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. science, 333(6045), 988-993. https://doi.org/10.1126/science.1201609.

Picard, N., Saint-André, L., y Henry, M. (2012). Manual for Building Tree Volume and Biomass Allometric Equations: From Field Measurement to Prediction. FAO & CIRAD.

GANADERÍA

EFECTO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA SOBRE LA GANANCIA DIARIA DE PESO Y EL APORTE NUTRICIONAL EN OVINOS.

Martin Uriel Huerta-Téllez[1], Nely Olivia Ibarra-González[1*], Salomón Vázquez-López[1] y Ricardo De Vicente-Cortés[1]

Universidad Interserrana del Estado de Puebla-Ahuacatlán. UIEPA. Los llanos Km 1 Carretera Amixtlán San Andrés Tlayehualancingo, 73330, Ahuacatlán, Puebla, México.
*Autor de correspondencia: nely.ibarra@uiepa.edu.mx.

Palabras clave: *Suplementación, cebada, estiaje, productividad, ovinos.*

Introducción

La producción ovina constituye una actividad pecuaria relevante para las familias rurales de México. En el municipio de Chignahuapan, Puebla, representa una fuente importante de ingresos económicos y de disponibilidad de proteína de origen animal. Sin embargo, la estacionalidad en la producción de forrajes afecta directamente la productividad de los rebaños, particularmente durante la época seca, cuando disminuye la calidad nutricional de los pastizales.
Ante esta problemática, el forraje verde hidropónico (FVH) ha surgido como una alternativa tecnológica para garantizar el suministro continuo de alimento fresco y de calidad. El FVH se obtiene mediante la germinación controlada de semillas de cereales, como la cebada, en ausencia de suelo y con un uso eficiente del agua. Diversos estudios han señalado que este recurso presenta elevados niveles de proteína y buena digestibilidad, lo que podría traducirse en mejores parámetros productivos.
El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto del FVH de cebada frente al pastoreo convencional de pasto kikuyo sobre la ganancia diaria de peso y el aporte nutricional en ovinos durante la temporada seca en Chignahuapan, Puebla.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en las comunidades de Ajolotla y Ciénega Larga, pertenecientes al municipio de Chignahuapan, Puebla. El experimento tuvo una duración de seis meses, comprendidos entre enero y julio de 2025.
Se utilizaron 52 ovinos cruza Hampshire/Katahdin en etapa postdestete. El grupo experimental estuvo conformado por 30 animales alimentados mediante pastoreo convencional complementado con FVH de cebada, mientras que el grupo testigo estuvo integrado por 22 ovinos alimentados exclusivamente con pasto kikuyo.
Previo al inicio del estudio, los animales recibieron manejo sanitario preventivo. Los ovinos del grupo experimental pastorearon durante el día y posteriormente recibieron FVH equivalente al 3.5 % de su peso vivo, incrementando progresivamente la cantidad suministrada hasta alcanzar aproximadamente 2 kg por animal al final del ensayo.
La ganancia diaria de peso se determinó mediante pesajes bimestrales. Además, se efectuó un análisis bromatológico proximal del FVH y del pasto kikuyo para determinar materia seca, humedad, cenizas, proteína cruda, carbohidratos y extracto etéreo. Los análisis se realizaron utilizando metodologías estandarizadas para cada componente nutricional.

Resultados y discusión

Los ovinos suplementados con FVH presentaron una ganancia diaria de peso promedio de 0.2227 ± 0.0045 kg/día, mientras que los animales del grupo testigo registraron 0.1442 ± 0.0023 kg/día. La diferencia observada representa una mejora del 54.4 % a favor del tratamiento con FVH.

Cuadro 1. Ganancia diaria de peso (GDP) bimestral por tipo de forraje.

Tipo de forraje	Febrero / Marzo	Abril / Mayo	Junio / Julio	Promedio GDP (kg)	DE
FVH de cebada	2.178	2.232	2.270	2.227	45
Pasto kikuyo	1.468	1.438	1.422	1.442	23

Nota. Los valores de GDP están expresados en kilogramos (kg). DE = desviación estándar. FVH = Forraje Verde Hidropónico.

El comportamiento de la GDP fue consistente en los tres bimestres evaluados, con una tendencia ascendente leve pero sostenida en el G1 (0.2178, 0.2232 y 0.2270 kg/día) y una tendencia descendente discreta en el G2 (0.1468, 0.1438 y 0.1422 kg/día). Esta estabilidad en el G1 sugiere que el FVH aportó un suministro nutricional constante a lo largo del periodo, sin las fluctuaciones que caracterizan al pastoreo convencional durante el estiaje. En el G2, la ligera disminución bimestral de la GDP coincide con el deterioro progresivo de la calidad del pasto kikuyo conforme avanzó la sequía, proceso descrito por Gómez A. et al. (2022), quienes documentaron que durante el estiaje los pastos acumulan lignina y pierden proteína cruda y digestibilidad por debajo de los requerimientos mínimos de mantenimiento.
Los valores de GDP registrados en el G1 (0.2227 kg/día) son consistentes con los reportados por Grijalva-Contreras R.L. (2025), quien documentó ganancias superiores a 180–220 g/día en corderos suplementados con FVH durante periodos de estrés hídrico.

Cuadro 2. Análisis bromatológico proximal del Forraje Verde Hidropónico (FVH) de cebada.

Muestra	% MS	% Humedad	% Cenizas	% Proteína	% Carbohidratos	% Grasa
R1	18.51	81.48	6.29	29.78	33.20	18.51
R2	22.03	77.71	6.53	24.57	29.64	23.75
R3	21.46	78.54	7.79	26.17	23.29	21.28
Promedio	**20.67**	**79.24**	**6.87**	**26.84**	**28.71**	**21.18**
D.E.	1.54	1.62	0.65	2.18	4.10	2.14

Nota. MS = materia seca; D.E. = desviación estándar. Valores en porcentaje.

El FVH presentó un contenido promedio de materia seca de 20.67 ± 1.54%, superior al del pasto kikuyo (16.70 ± 1.04%). Este mayor porcentaje de MS en el FVH indica que, a igual cantidad de alimento ofrecido en fresco, los animales del G1 recibieron una mayor concentración de nutrientes por unidad de peso consumida. La humedad del FVH (79.24 ± 1.62%) fue menor que la del kikuyo (83.30 ± 1.04%), diferencia que refleja las distintas condiciones de producción de cada forraje.

Cuadro 3 Análisis bromatológico proximal del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

Muestra	% MS	% Humedad	% Cenizas	% Proteína	% Carbohidratos	% Grasa
R1	18.13	81.87	10.99	16.30	42.35	12.23
R2	16.27	83.73	11.01	17.36	43.68	11.69
R3	15.71	84.29	10.82	19.42	45.57	8.47
Promedio	**16.70**	**83.30**	**10.94**	**17.69**	**43.86**	**10.80**
D.E.	01.04	01.04	0.09	1.29	1.32	1.66

Nota. MS = materia seca; D.E. = desviación estándar. Valores en porcentaje.

El mayor contenido proteico del FVH puede explicar las diferencias observadas en el desempeño productivo de los animales suplementados. La proteína desempeña un papel fundamental en la síntesis de tejido muscular y en el crecimiento corporal. Asimismo, el mayor contenido de lípidos incrementa la densidad energética de la dieta.

Aunque el pasto kikuyo presentó mayores porcentajes de cenizas y carbohidratos, estos resultados no se tradujeron en una mejor respuesta productiva. Durante el estiaje, la calidad nutricional de los pastizales suele deteriorarse debido al incremento de compuestos estructurales menos digestibles. Desde una perspectiva productiva, la utilización del FVH representa una estrategia viable para enfrentar los periodos de escasez forrajera. Además de mejorar la ganancia de peso, este sistema requiere menor superficie agrícola y un uso más eficiente del agua, aspectos relevantes en el contexto actual del cambio climático y la creciente presión sobre los recursos naturales.

La implementación del FVH en unidades de producción familiar podría contribuir a incrementar la rentabilidad de la actividad ovina, especialmente en regiones donde la disponibilidad de forraje convencional es limitada durante ciertas épocas del año.

Conclusiones

La suplementación con forraje verde hidropónico de cebada mejoró significativamente la ganancia diaria de peso de los ovinos durante la temporada seca. Asimismo, el FVH presentó una composición bromatológica más favorable, caracterizada por mayores niveles de proteína y grasa.

Los resultados obtenidos respaldan el uso del FVH como una alternativa nutricional eficiente para complementar sistemas de pastoreo convencionales. Su adopción podría favorecer la productividad y sostenibilidad de las explotaciones ovinas del altiplano poblano.

Se recomienda continuar con investigaciones que evalúen indicadores económicos y reproductivos asociados a esta tecnología, con el propósito de fortalecer la toma de decisiones en las unidades de producción.

Referencias bibliográficas

Álvarez-González, C.A., Murillo-Amador, B. y Rodríguez-Álvarez, M. (2022). Producción de forraje verde hidropónico de maíz y su evaluación nutricional en la alimentación de pequeños rumiantes. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, 55(2), 114–126.

Cisneros-Saguilán, P., Aniano-Aguirre, H. y Martínez-Martínez, R. (2020). Forraje verde hidropónico en dietas de cerdos en crecimiento en Pinotepa Nacional, Oaxaca. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 11(24), 247–253.

Gómez-Vázquez, A., De la Cruz-Hernández, J. y Álvarez-González, C.A. (2022). Calidad nutricional de gramíneas nativas durante la época de estiaje en el trópico seco de México. Agrociencia, 56(4), 511–527.

Grijalva-Contreras, R.L., Macías-Duarte, R. y Robles-Contreras, F. (2025). Evaluación del forraje verde hidropónico de cebada como alternativa estratégica en ovinos durante épocas de estrés hídrico severo. Técnica Pecuaria en México, 16(1), 140–155.

Hernández-Mendo, O., Martínez-Hernández, P.A. y Zaragoza-Ramírez, J.L. (2023). Desafíos de la producción ovina ante el cambio climático y periodos de sequía prolongados en México. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 29(1), 75–89.

ANÁLISIS DE UN SISTEMA GANADERO HACIA UNA TRANSICIÓN A UN MANEJO SUSTENTABLE DE LA GANADERÍA, EN CHIAPAS, MÉXICO.

Eileen Salinas-Cruz[1]*, Alma Vargas- de la Mora[1], Gerardo Colin-Garcia[1], Osias Ruiz-Álvarez[1], Walter López-Báez[1]

[1]CECECH, INIFAP.
*Autor para correspondencia: salinas.eileen@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Evaluación, rendimiento, costo.*

Introducción

La superficie destinada a la producción agrícola y pecuaria ocupa el 38% de la superficie terrestre (Saynes -Santillán, *et al*., 2016), y es considerada como una de las principales actividades humanas que contribuyen al calentamiento global por medio de emisiones de gas (Gutiérrez-Bermúdez, et al., 2022)
Los sistemas agroforestales orientados a ganadería son una alternativa de manejo responsable, amigable con el medio ambiente y que promueve efectivamente mejores rendimientos en el corto, mediano y largo plazo (Arciniegas-Torres y Flórez-Delgado, 2022). El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados del monitoreo de diversos parámetros en el ámbito económico, social y ambiental.
Los monitoreos se realizaron en sistemas ganaderos de productores cooperantes que ingresaron durante el año 2022 y que han continuado su compromiso de trabajo y colaboración incondicional para la transformación de sus sistemas y la transición hacia un manejo sustentable de la ganadería.
Los resultados de las diversas intervenciones muestran con claridad que los sistemas agroforestales ganaderos aportan beneficios ambientales, sociales, económicos y productivos, contribuyendo al bienestar común y particular de las personas.
El proyecto RITER a través de la implementación de la metodología integral desarrollada por INIFAP ha logrado resultados concretos y permanentes que aún con las limitaciones ambientales, de violencia o del mismo proceso interinstitucional, ha generado estrategias viables para el desarrollo de la ganadería agroforestal en Chiapas.

Materiales y métodos

Se establecieron cinco en ganadería; con la finalidad de poder escalar los sistemas de producción sostenibles y a su vez restaurar áreas liberadas, y a través de una línea base se realizó un plan de capacitaciones técnicas y organizativas de los productores con eventos de capacitación basados en escuelas de campo además de giras de intercambio en donde el productor interactúa con nuevos conocimientos en producción sostenibles.
Para alcanzar las metas de llevar de una ganadería convencional a una de conservación se establece la metodología de Redes de Innovación territorial o RITER (Rae-Sims, et al. 2021). La intervención establece estrategias de colaboración en donde el beneficio es para el productor cooperantes, primero a través de la capacitación y asistencia técnica se realizan las interacciones investigador-técnico- productor para logar la recepción del conocimiento y que este a su vez pueda ser transferido productor a productor y se logre la red.
Los módulos se establecieron en los ejidos Nuevo México y Cuahutemoc del municipio de Villaflores; Tiltepec y Chiapas Nuevo en el municipio de Jiquipilas en el estado de Chiapas. Para el presente trabajo se abordan los resultados obtenidos en el modulo ubicado en el ejido Cuahutemoc municipio de Villaflores en el estado de Chiapas

Resultados y discusión

La producción ganadera en el año cero o línea base, se basa en uno o más sistemas de producción diferente y el 80% refiere a que, su producción es de doble propósito, es decir producen leche y vende los becerros en un peso de 200 a 250 kilos promedio, combinado con producción de traspatio (67%) en aves donde obtiene tanto carne como huevos principalmente para su consumo familiar. El 20% indico que su producción se centra en bovinos de carne. Otras producciones en ganadería son apicultura y cría de cerdos para engorda, pero en menor porcentaje.

Inventario ganadero

La estructura general de una producción o explotación ganadera se compone de 1 semental, vacas adultas que son las productoras principales de leche para la comercialización, posteriormente se tiene vacas o vaquillas de primer parto que sustituirán a las vacas adultas una vez que cumplan con sus años de producción, esto es importante debido a que los productores no dejan dentro de su inventario vacas de desecho, sino que una vez terminado su ciclo productivo son vendidas en pie. Algunos productores cuentan con vacas en desarrollo que al igual que las de primer parto serán las que sustituyen a las vacas adultas para iniciar la producción de leche y becerros, además de toretes comúnmente tienen en existencia 1 o hasta 4 con la finalidad de sustituir a los toros una vez que este termine su edad productiva. Finalmente están los becerros y becerras los cuales son una de las fuentes de ingresos de los productores, debido a que el productor los prepara con peso promedio de 200 a 250 kilos para su venta.

La producción se basa en un sistema extensivo basado en forrajes y en épocas de sequía suplementación conformada de alimento a base de melaza, granos (sorgo o maíz), poliniza entre otros. Muy pocos productores cuentan con silo para abastecer a su ganado de alimento, principalmente en épocas de pocas o nulas lluvias. Lo que representa un problema importante para el productor.

Sumado a la poca calidad que tiene su pasto dentro de sus predios, por ello la búsqueda constante del productor al tener una variación del tipo de pastos, la mayoría de los predios cuenta con hasta 3 tipos de pastos (42%), mientras que el 27% refiere a que estableció 2 diferentes y el 30% indica que solo tiene 1, la variación de las especies con principalmente el denominado llanero (84%) y estrella (44%), pero en menos medida se pueden establecer insurgente, gigante, zacaton, jaragua, Tanzania o brizanta.

Ante este panorama se establecer sistemas de producción ganadera basada en sistemas silvopastoriles en el documento denominada informe de resultados en ganadería, se describe la parte técnica de estos sistemas, en este documento se describe la producción de tres módulos en diferentes microclimas y diferentes arreglos de producción según las necesidades del productor en cuanto a la alimentación y objetivo de la obtención de su productor final.

Módulo Cuauhtémoc, Municipio de Villaflores Chiapas

El productor inicia en 2021 con un grupo de productores del mismo ejido, iniciando con dietas adecuadas para mejorar la alimentación del ganado mejorando la calidad de leche, al dejar de utilizar pollinaza. Posteriormente en 2022 inicia con un proceso de establecimiento del sistema silvopastoril dentro de su predio, la finalidad de su producción principalmente es el de obtención de leche y en segundo plano la venta de becerros con pesos de 200 a 250 kilos. El productor se considera de producción a pequeña escala ya que cuenta con un inventario ganadero de 12 cabezas de las cuales 5 vacas están en producción y cuenta con un toro, 1 torete, 5 becerros y becerras de 11 meses y 1 vaca vacía; lo últimos tienen la finalidad de venta.

La alimentación por tipo de edad o propósito de producción se diferencia, por ejemplo, las vacas de ordeño la alimentación se basa en sal mineral, rastrojo, dieta de mezcla de maíz, soro desechos de maíz, además de pasto verde, el costo anual por año es de $29, 154.33 pesos; las vacas de ordeño tienen un costo en su alimentación de $3, 431.39 pesos anual, la dieta consiste en sal mineral, rastrojo, maíz y pasto verde. La dieta de los becerros o becerras y toretes es similar esta consiste de sal mineral, rastrojo (ramoneo) y maíz, el costo para los becerros es de $25, 085.20 mientras que para los toros fue de $9, 774.72. Es importante mencionar que actualmente el productor maneja el

sistema silvopastoril como parte de su sistema de alimentación, lo que le beneficia disminuyendo sus costos, utilizando en menos porcentaje pollinaza y obteniendo una leche más saludable.
El manejo zoosanitario el manejo es la aplicación de vacunas contra el derrengue, 11 vías que es recomendada para prevenir varias enfermedades, desparasitación, aplicación de vitaminas y control de garrapatas.
En cuanto a la producción el módulo de Cuauhtémoc su propósito es principalmente la obtención de leche, para el año de evaluación la producción anual fue de 13, 975 litros totales distribuidos a 4 diferentes intermediarios (cuadro), su comprador principal son los queseros de la zona ya que son estos con los cuales realiza la venta todo el año al igual que los panaderos, sin embargo tanto los reposteros como los industrializadores cuentan con meses específicos de compra; los meses de menor producción son de enero a julio en donde no se presentan lluvias abundantes o nula, el precio de venta también varía de acuerdo a la temporada en épocas de poca producción el precio a los queseros es de $9 pesos por litros mientras que en los meses posteriores varia de $8 a $7 pesos por litro, de la misma manera el precio de venta pagado por los panaderos, reposteros e industrializadores varía según la época del año, el precio máximo pagado es de $14 pesos y el mínimo es de $12 pesos. Cabe aclarar que, aunque existe una diferencia de $5 pesos de queseros a los otros compradores, el productor refiere a que es un mercado seguro que le permite tener una venta de su producto constante.
En cuanto a la venta de becerros estos son vendidos a intermediarios que llegan al ejido, la venta depende de la existencia dentro de su inventario ganadero y que se tenga el peso adecuado, para el año analizado la venta se realizó en el mes de diciembre con un total de 3 becerros en pie a un precio de venta de $12, 800 (cuadro 1).

Cuadro 1. Calendario de Actividades producción Ganadera.

PRODUCTO	Unidad de medida	Comprador	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
Leche	Litros	Queseros	831	779	847	600	525	662	986	1478	1428	1231	1206	1150	11723
Leche	Litros	Panaderos	72	72	64	72	72	64	72	72	72	72	64	90	858
Leche	Litros	Reposteros	92	84	84	88	88	84	92			92	80		784
Leche	Litros	Industrializador (yogurt)	90	80	90	80	90	90	90						610
Becerros	Pie	Intermediario (coyote)												3	3

Los costos totales de operación se presentan en tres grandes rubros alimentación con una erogación anual de $67, 445.64 pesos por 12 cabezas, el manejo sanitario cuenta con un costo de $1,452.59 totales mientras los costos de operación sin contar la mano de obra del productor son de $19, 116 pesos. Por tanto, los costos totales son $88, 014.22 pesos (CUADRO 2).

Cuadro 2. Costos de producción ganadero.

Concepto	Costo total
Alimento	$ 67,445.64
Medicamentos	$ 1,452.59
Costos de operación	$ 19, 116
Costos totales	$88, 014.22

Los indicadores económicos son, el valor de la producción por la venta de leche y becerros es de $163, 175 pesos, la venta de leche representa el 76.5% del ingreso total; la ganancia total es de $75, 160.78 pesos con una relación beneficio costo de 1.85. por lo que le productor obtiene una ganancia significativa ya que por cada peso vendido recupera sus costos y obtiene una ganancia de .85 centavos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores económicos de referencia ganadera.

Costo de producción	$ 88.014.23
Valor de la producción ($)	$ 163,175.00
Ganancia	$ 75, 160.78
Relación beneficio/costo	1.85

Conclusiones

En 2022 se inicia con productores ganaderos con la finalidad de brindarles una alternativa de producción para sustentar la alimentación de su ganado y de esta forma poder dejar los residuos de la cosecha dentro de la parcela o bien poder sustentar a los animales en escases de alimento.
Se analiza la producción en el ejido Cuauhtémoc con una producción enfocado a la producción y venta de leche, un ingreso mayor a sus costos con una relación beneficio costo que indica que los sistemas son económicamente viables para su implementación. Aunque son sistemas jóvenes, los cuales requieren de un seguimiento en años posteriores. Los productores cooperantes tienen la capacidad de mantenerlos y dar a conocer los beneficios que tienen.

Agradecimiento: a The Nature Conservancy por el financiamiento para la realización del proyecto.

Referencias bibliográficas

Arciniegas-Torres, S. y Flórez-Delgado, D. 2018. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. Revista Ciencia y Agricultura, vol. 15 (2): 107-116.

https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/845-la-ganaderia-y-la-perdida-de-la-biodiversidad

Gutiérrez- Bermúdez, C. y Mendieta – Araica, B. 2022. Sistemas silvopastoriles: una alternativa para la ganadería boina sostenible. Revista La Calera, vol. 22 (38):

Rea- Simms, S., Barragán-Fuentes, ME.; Cinco-Martínez, S. y Solorio-Sánchez, FJ. 2021. Redes de innovación territorial: Estrategia de desarrollo de capacidades para el manejo integral de agroecosistemas. Avances de Investigación Agropecuaria. Revista de investigación científica agropecuaria. Vol 25 (3): 182-183.

Saynes-Santillán, V., Etchevers-barra, JD., Paz-Pellat, F. y Alvarado-Cárdenas, L. 2016. Emisiones de gas de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. Revista Terra Latinoamericana, Vol. 34 (1): 83-96.

Varga- de la Mora, AL; Salinas-cruz, E., Sánchez-Estudillo, CF., Cadena-Iñiguez, P., Morales-Guerra, M. y Cabrera-Torres, EJ. 2025. Capitulo IV: Redes de Innovación Territorial: gestión participativa para transitar hacia sistemas ganaderos sustentable. Libro: modelos de tecnología Agropecuaria: Modelos de intervención social. Universidad Autónoma de Chiapas, facultad de ciencias Agrícolas, Campus IV, de la Universidad Autónoma de Chiapas, campus Huehuetán, Chiapas México. 150 p.

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA EN LA LOCALIDAD BENITO JUAREZ EN CANDELARIA, CAMPECHE.

Meraly López-Rivera[1]*, Diego Cabrera-Crippa[1], Francisco Martin Rueda-Jiménez[1], Edgar Ricardo Dueñas-Mejía[1], Gilberto López-López[1], Josias Daniel Rodríguez-Martínez[1], Marco Antonio Anaya-Villarreal[1], Banelly Antonia López-Pérez[1] y Francisco Reyes Montes[1]

Universidad Autónoma Chapingo, km 7.5, carretera Teapa–V. Guerrero, Teapa, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: al23206079@chapingo.mx

Palabras clave. *RISE, sostenibilidad socioeconómica, ambiental, eficiencia técnico-productiva*

Introducción

La ganadería bovina es una de las principales actividades productivas del sursureste mexicano, representa una fuente significativa de empleo, ingresos y producción de alimento. En esta región predominan los sistemas extensivos los cuales se fundamentan en el aprovechamiento directo de los recursos naturales mediante el pastoreo (Sánchez et al., 2025), sin embargo, las malas prácticas y el manejo inadecuado ha comprometido negativamente a los recursos naturales, favoreciendo la degradación ambiental, pérdida de fertilidad de suelo, disminución de la biodiversidad y deterioro de praderas.

El estado de Campeche no está exento de estas problemáticas, ya que, destina más de 1,537,435 hectáreas de pastos a la ganadería y mantiene un hato de ganadería bovina de 683,227 cabezas (SIAP, 2025). En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el índice de sostenibilidad de los sistemas de producción bovina de la localidad Benito Juárez, ubicada en el municipio de Candelaria, Campeche, mediante una adaptación de la metodología Response-Inducing Sustainability Evaluation (RISE 3.0), considerando las dimensiones ambiental, socioeconómica y técnico-productiva con el fin de obtener un diagnóstico del estado de la ganadería y pueda servir de retroalimentación a las prácticas de la ganadería en esta localidad y con ello se puedan generar estrategias de mejora en las unidades de producción y transitar a una ganadería más sostenible.

Materiales y métodos

Se desarrollaron 36 indicadores de sostenibilidad adaptados a la metodología RISE 3.0, organizados en tres ejes: ambiental, socioeconómico y técnico-productivo.

El estudio se desarrolló en 30 UPP (unidades de producción pecuaria) bovina ubicadas en la localidad de Benito Juárez en el municipio de Candelaria, Campeche entre las coordenadas 18°16'37.8"N 91°05'52.4"W a 49 msnm, con un clima cálido subhúmedo (Aw1-Aw2) y precipitaciones de 1500 mm anuales, de relieve plano poco accidentado y suelos en su mayoría rendzinas, su extensión territorial es de 2000 hectáreas.

Las UPP fueron seleccionadas mediante el muestreo bola de nieve y a conveniencia del encuestador. Se aplicaron entrevistas semiestructuradas, observación directa en campo, mediciones de compactación del suelo mediante penetrómetro y evaluación de la cobertura vegetal utilizando cuadrantes de 0.50 m.

Según las entrevistas se compararon los sistemas observados con los indicadores, comparándolos con un sistema de producción ideal en el trópico según la metodología propuesta por RISE 3. En un rango de 1 – 5, siendo 5 el óptimo y 1 el menos sostenible.

Resultados y discusión

Se entrevistaron a 30 unidades de producción, las cuales representaron un total de 1459.5 ha (72.98% de la superficie de la localidad), en estas se encontraron 4 sistemas de producción bovina, siendo: ciclo completo (cría y engorda), becerros al destete, engorda y doble propósito. El sistema

de ciclo completo fue el más frecuente, con 14 UPP; sistemas de becerros al destete, con 8 UPP; sistemas de engorda, con 7 UPP; y el sistema de doble propósito, con 1 UPP.

Cuadro 1. Distribución de los sistemas de producción bovina encontrados en las UP pecuaria entrevistadas en la localidad de Benito Juárez, Candelaria, Campeche.

Sistema identificado	Frecuencia	Porcentaje
Ciclo completo	14	46.7%
Becerros al destete	8	26.7%
Engorda	7	23.3%
Doble propósito	1	3.3%
Total	30	100%

Respecto a las características generales de los sistemas encontramos en cuanto a la superficie una alta variabilidad entre predios. Los rangos más comunes fueron los de ± 20 hectáreas estando entre las 21 a 40 hectáreas, ambos con 9 productores. También se registraron 8 unidades entre 41 y 70 hectáreas, 2 unidades entre 71 y 100 hectáreas y 2 unidades con más de 100 hectáreas, logrando un promedio de 48.65 hectáreas por unidad de producción. Respecto al tamaño del hato, la mayor frecuencia se ubicó entre 51 y 100 cabezas, con 11 productores, seguida por los rangos de 26 a 50 cabezas, con un promedio de 67.55 cabezas por hato. Estos resultados indican que la ganadería en esta localidad se compone principalmente de unidades medianas, con algunos ranchos de mayor escala bajo sistemas extensivos o semi-extensivo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros generales de la ganadería en Benito Juárez.

Parámetro	Promedio
Superfie (Ha)	48.65
Numero de cabezas en el hato	67.55
Carga animal	0.72

El índice general de sostenibilidad fue de 2.85, lo que indica un nivel intermedio de sustentabilidad. La dimensión técnico-productiva presentó el mayor índice (3.28), debido al adecuado manejo sanitario, bajas tasas de mortalidad y ganancias de peso satisfactorias. La dimensión ambiental obtuvo el menor índice (2.50), evidenciando limitaciones relacionadas con el manejo del estiércol, la captación de agua, la fertilización y resiembra de praderas, así como la conservación de la vegetación. La dimensión socioeconómica alcanzó un valor de 2.75, destacando la mano de obra familiar y la escasa participación en programas de capacitación técnica, factores que limitan la adopción de prácticas innovadoras y el fortalecimiento de la gestión productiva.

Eje socioeconomico: Los mejores indicadores se encontraron en la integración a la comunidad, pago al jornal y nivel de tecnificación. Esto indica que los sistemas bovinos evaluados mantienen vínculos comunitarios importantes y que, cuando existe pago de jornales, este puede ubicarse en un nivel aceptable. También se observó cierta presencia de infraestructura o prácticas de tecnificación básica.

No obstante, las valoraciones más bajas se registraron en condiciones laborales, capacitaciones y toma de decisiones. La baja calificación en condiciones laborales se relaciona con el predominio de mano de obra familiar y con la escasa formalización del trabajo en las unidades de producción. La baja participación en capacitaciones limita la adopción de prácticas más eficientes en manejo forrajero, reproducción, sanidad, registros productivos y administración. Además, la toma de decisiones se concentra principalmente en el dueño o responsable directo del rancho, con poca participación de trabajadores o familiares en la planeación técnica.

Eje ambiental: El sistema de doble propósito presentó los indicadores altos, con 2.92; sin embargo, este resultado debe interpretarse con precaución porque solo se registró una unidad de producción de este tipo. Le siguieron los sistemas de ciclo completo con 2.43, becerros al destete con 2.38 y engorda con 2.27.

Las principales fortalezas ambientales se observaron en la relación de carga animal, el mantenimiento de praderas y el manejo del pastoreo, con valores generales cercanas o superiores a 3.70. Esto coincide con la práctica generalizada de rotación de potreros, aunque en la mayoría de los casos se realiza de forma empírica. En contraste, los puntos más débiles fueron el manejo de estiércol, el almacenamiento y tratamiento de estiércol, la fertilización de praderas y la resiembra de potreros. Estos resultados muestran que la sustentabilidad ambiental no depende únicamente de contar con pastos, sino de mantener prácticas de renovación, nutrición del suelo, conservación de vegetación y manejo de residuos.

En el componente hídrico, las calificaciones fueron bajas: la captación de agua obtuvo una calificación general de 2.00. Los meses críticos identificados fueron marzo, abril y mayo. Esta condición representa una limitante importante para el sistema, ya que coincide con la reducción de crecimiento de las pasturas, mayor presión sobre aguajes y mayor necesidad de suplementación.

Eje técnico-productivo: Los sistemas de engorda registraron valores de 3.41; el sistema de doble propósito, 3.24; los sistemas de ciclo completo, 3.26; y los de becerros al destete, 3.21. Este eje fue el mejor evaluado debido a indicadores favorables en mortalidad del hato, supervivencia al destete, prevalencia de parásitos y ganancia de peso por día en los sistemas donde este indicador aplicó.

La prevalencia de parásitos fue casi nula durante la época de seca y se relacionó con prácticas frecuentes de desparasitación, reportadas en promedio cada tres meses. También se observó uso recurrente de vitaminación, en algunos casos de forma mensual. Entre los problemas sanitarios mencionados por los productores se registraron gusano barrenador, picaduras de serpiente, derrengue y papilomas, lo que confirma la necesidad de mantener calendarios sanitarios preventivos y no depender únicamente de tratamientos correctivos.

Las principales limitantes técnico-productivas fueron la baja proporción de razas especializadas ya que en su mayoría se encuentra cebú comercial de cruzas cebú x suizo, seguido del brahmán, sardo negro, beefmaster, en menor cantidad se encontró brangus, simbrah y algunos guzerat. El el uso limitado de tecnología reproductiva y los indicadores reproductivos relacionados con edad al primer servicio, edad al primer parto e intervalo entre partos. El 100% de los productores reportó monta natural, lo cual confirma que la inseminación artificial u otras tecnologías reproductivas tienen baja adopción en la zona evaluada. Aun así, los pesos al destete fueron favorables en los sistemas donde aplicó el indicador, con valores cercanos a 245 kg a los 7 meses en becerros al destete y 220 kg a los 7 meses en ciclo completo.

Cuadro 3. Índices de sostenibilidad generales por dimensión y sistemas de producción encontrados.

Eje / sistema	Engorda	Becerros al destete	Completo	Doble propósito	General
Ambiental	2.27	2.38	2.43	2.92	2.50
Socioeconómico	2.63	2.58	2.69	3.13	2.75
Técnico - productivo	3.41	3.21	3.26	3.24	3.28

Cuadro 4. Calificación promedio de los indicadores de sostenibilidad ambiental, socioeconómica y técnica productiva por sistema de producción.

Eje	Indicador	Engorda (n=7)	Becerros al destete (n=8)	Completo (n=14)	Doble propósito (n=1)
Ambiental	Cobertura vegetal	2.57	2.75	2.64	3
	Porcentaje de pastura	2.71	3	2.79	4
	Carga animal	3.29	3.88	3.79	4
	Resiembra de potreros	1.14	1.5	1.86	5
	Mantenimiento de praderas	3.57	3.75	3.79	4
	Fertilización de praderas	1.86	1.25	1.71	1
	Manejo de pastoreo	3.57	3.75	3.79	4
	Toxicidad de agroquímicos	2.57	2.62	2.5	4
	Meses con escasez de agua	2.29	2	2.36	2
	Captación de agua	2	2	1.93	3
	Manejo de estiércol	1	1	1.29	1
	Conservación de la vegetación	2	2.38	2	2
	Almacenamiento y tratamiento de estiércol	1	1	1.14	1
	Promedio	**2.27**	**2.38**	**2.43**	**2.92**
Socioeconomico	Equipo de protección	2	2.88	2.71	4
	Porcentaje de reinversión	3.71	2.62	3.07	5
	Integración en la comunidad	4.43	4.12	3.57	4
	Condiciones laborales	1.14	1.12	1.57	1
	Pago al jornal	4.15	4	3.93	5
	Nivel de tecnificación	3	3.13	3.53	4
	Toma de decisiones	1	1.5	1.86	1
	Capacitaciones	1.57	1.25	1.29	1
	Promedio	**2.63**	**2.58**	**2.69**	**3.13**
Técnico-productivo	Razas especializadas	1.86	1.12	1.64	2
	Mortalidad del hato	4.57	4.62	4.21	4
	Supervivencia al destete	—	5	4.86	5
	Tasa de preñez	—	2.25	2.5	1
	Ganancia de peso por día	4.29	4.51	3.93	4.2
	Prevalencia de parásitos	4.86	4.88	4.79	4
	Desparasitación	1.29	3.5	1.86	1
	Vitaminación	4	3.2	4.2	1
	Adopción de tecnologías	3	2.12	2.86	4
	Tecnología reproductiva	—	1	1	1.43
	Edad al primer parto	—	1.75	2.86	5
	Edad al primer servicio	—	1.75	2.29	1
	Intervalo entre partos	—	3.5	3.14	5
	Edad al destete y peso	—	4.88	4.86	5
	Partos al descarte	—	4.12	3.93	5
	Promedio	**3.41**	**3.21**	**3.26**	**3.24**

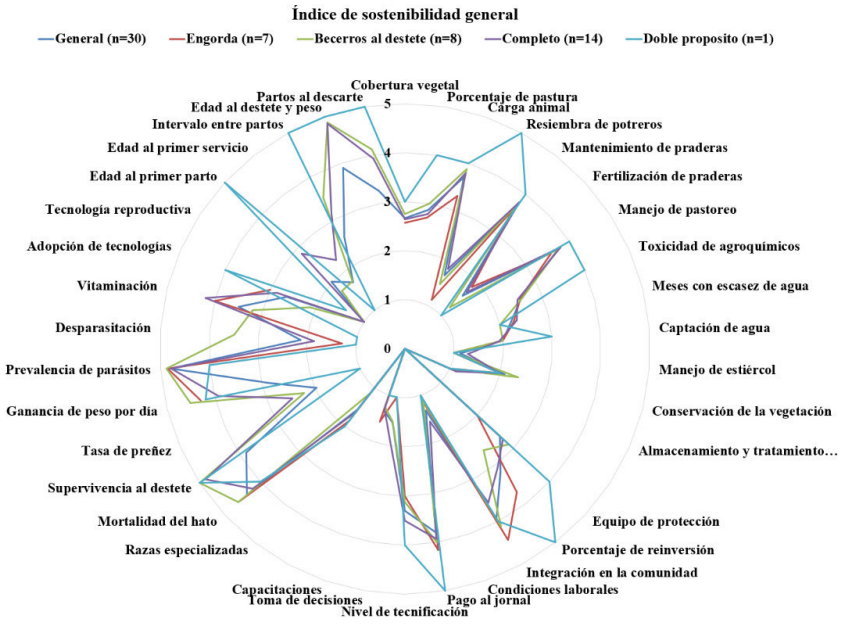


Figura 1. Desempeño de los indicadores de sostenibilidad de los sistemas de producción bovina (engorda, DP, becerros al destete y ciclo completo) representado mediante un diagrama de telaraña.

Conclusiones

En la localidad de Benito Juárez, cuenta con 4 sistemas de producción Bovina (engorda, becerros al destete, ciclo completo y DP), estos en general posicionan a la ganadería en un índice **2.85** de sostenibilidad, siendo un valor medio, destacando con mejor desempeño el eje técnico productivo por su eficiencia en la alta supervivencia de los animales en condiciones tropicales. El eje ambiental obtuvo la menor calificación dado el escaso mantenimiento de praderas e incorrecto uso de los recursos naturales, mientras que el eje socioeconómico resulto ser el intermedio de estos denotando problemáticas de escasa capacitación y deficiencia en las condiciones laborales. Se concluye que es necesario implementar estrategias y tecnologías más sostenibles, iniciando desde la capacitación de los productores, con el fin de mejorar la sostenibilidad de las unidades de producción sin comprometer los recursos ambientales y económicos, el capital humano y salvaguardar el bienestar animal.

Referencias bibliográficas

Sánchez, J. M. L., Serrano, P. M. L., Luna, R. G., Carrete-Carrón, F. Ó., & Carrillo, A. R. Q. (2025). Respuesta del pastizal al pastoreo continuo y rotacional en el norte de México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 16(3), 698-713. https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i3.6827.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). Estadísticas de ganadería en Campeche.

BFH-HAFL. (2016). RISE 3.0: Software manual (Version 04). Bern University of Applied Sciences, School of Agricultural, Forest and Food Sciences. https://www.bfh.ch/dam/jcr:08963837-1c6c-46a1-873f-938f83754d6a/rise-manual-en.pdf.

Quiroga Martínez, R. (2001). Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: Estado del arte y perspectivas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

FRECUENCIA DE MASTITIS SUBCLÍNICA Y PERFIL DE SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE AISLAMIENTOS BACTERIANOS EN CINCO UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE OSTUACÁN, CHIAPAS.

Roberto Omar Castañeda-Arriola *[1], Tomás Coox-Chi [2], Juan Carlos Cruz-Sánchez [2], Adrián Alexis Hernández-Hernández [2], Víctor Jhonatan Hernández-Hernández [2], Orlando de Jesús Jiménez-García [2] y José Miguel Vázquez-Hernández [2].

[1] S.E Pichucalco CIRGOC-INIFAP, [2] FMVZ CII, Pichucalco- UNACH.
*Autor para correspondencia: castaneda.roberto@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Resistencia antimicrobiana, patógenos intramamarios, antibiograma.*

Introducción

La ganadería lechera representa un pilar socioeconómico fundamental en México y, de manera particular, en el estado de Chiapas, al contribuir significativamente a la seguridad alimentaria y a la generación de ingresos para pequeños y medianos productores del sector primario (Orantes-Zebadúa et al., 2014).
Sin embargo, la rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas bovinos de doble propósito en regiones tropicales se ven constantemente amenazadas por afecciones sanitarias que comprometen la salud del hato, destacando la mastitis bovina (Pineda-Burgos et al., 2024).
A nivel global, la mastitis es la principal causa de pérdidas económicas en las unidades de producción de leche, derivadas de la reducción de producción láctea, descarte de leche contaminada, costos veterinarios y descarte prematuro de vacas (Cheng et al., 2020). Entre sus manifestaciones, la mastitis subclínica resulta ser la presentación más crítica e insidiosa en las unidades de producción tropicales; al no presentar alteraciones visibles ni en la glándula ni en la secreción, pasa inadvertida sin un diagnóstico rutinario, permitiendo que los animales infectados actúen como reservorios permanentes de la enfermedad (Pérez-Morales et al., 2022).
El uso empírico e indiscriminado de antibióticos, frecuentemente administrados sin un diagnóstico bacteriológico ni antibiograma previo, ha contribuido en la selección de cepas resistentes a fármacos de uso común (Gomes y Henríquez, 2016). Por tal razón, el objetivo del presente estudio fue estimar la frecuencia de mastitis subclínica mediante la Prueba de California (CMT) en hembras bovinas y obtener aislamientos bacterianos mediante cultivo microbiológico y evaluar su perfil de susceptibilidad antimicrobiana

Materiales y métodos

Área de estudio
El estudio se llevó a cabo en el municipio de Ostuacán, Chiapas, zona caracterizada por clima cálido-húmedo con precipitaciones todo el año, con temperaturas de 20 a 26°C y precipitaciones de 2 500 a 4 500 mm (INEGI, 2010).

Población de estudio
Mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, se seleccionaron cinco UPP, dedicadas a la producción de leche, donde los propietarios dieron las facilidades para realizar el estudio (cuadro 1).
La población de estudio estuvo conformada por la totalidad de las vacas en producción pertenecientes a cada UPP, con un total de 133 animales evaluados. Se realizó un estudio observacional, descriptivo y de corte transversal.

Cuadro 1. Distribución de las vacas evaluadas en las unidades de producción.

No.	UPP	Ubicación	Vacas en producción	Razas
1	El Sendero	17.46603° N, 93.36428° O.	30	Cruzas de Brahman, Gyr y Sardo Negro.
2	7 hermanos Arteaga	17.45940° N, 93.35627° O	24	Cruzas de Pardo Suizo, Gyr, Guzerat y Holstein.
3	Las Nubes	17.54328° N, 93.30498° O	22	Cruzas de Gyr, Holstein y Brahman.
4	San Isidro	17.53588° N, 93.28229° O	45	Cruzas de Gyr, Pardo Suizo y Brahman.
5	El Caracol	17.54019° N, 93.30215° O	12	Cruzas de Gyr y Holstein.

Prueba de California

La evaluación de mastitis subclínica se desarrolló con base en lo establecido por Bonifaz *et al*. (2016). Inicialmente, se descartaron los primeros chorros de leche de cada cuarto mamario y se depositó una muestra de leche de cada cuarto mamario en el compartimento correspondiente de la paleta para CMT. Posteriormente, se adicionó un volumen equivalente de reactivo CMT y se mezcló suavemente mediante movimientos circulares en plano horizontal. La reacción se observó e interpretó en función de la formación de gel y viscosidad, clasificándose en una escala de cinco niveles: Negativo (0), Trazas (T), Reacción leve (1), Positivo moderado (2) y Positivo fuerte (3). Finalmente, los resultados se registraron de forma individual por cada cuarto evaluado.

Diagnóstico bacteriológico

De cada UPP se recolectaron muestras de leche de tres vacas que resultaron positivas a la prueba de CMT. Posteriormente, en el laboratorio, las muestras se agruparon para conformar un pool representativo de cada UPP, el cual se utilizó para realizar el cultivo bacteriológico. El procesamiento y análisis microbiológico de las muestras se realizó en apego a la metodología descrita por Koneman *et al.* (2017). La toma de muestra se llevó a cabo de manera aséptica mediante la limpieza previa del pezón con alcohol al 70%; tras descartar los primeros chorros de leche, la muestra se recolectó en un tubo estéril para evitar contaminación cruzada. Cada tubo se identificó con el número de animal, la fecha y la hora del muestreo, para posteriormente conservarse bajo refrigeración a 4 °C y trasladarse al laboratorio en un lapso no mayor a 24 horas.

Para la siembra bacteriológica, se acondicionó agar sangre y material estéril, realizando la inoculación mediante la técnica de estría por agotamiento con un asa bacteriológica estéril. Las placas se incubaron a 35–37 °C durante 24 a 48 horas en condiciones aerobias. Transcurrido el periodo de incubación, se evaluaron las características macroscópicas de las colonias observando tamaño, forma y color, y se procedió a la identificación bacteriana mediante frotis teñidos con la técnica de Gram. Por último, la evaluación de la sensibilidad antimicrobiana se determinó mediante la técnica de difusión en disco (Kirby-Bauer) en agar.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos mediante la CTM mostraron que la prevalencia de mastitis varía entre las unidades de producción, con porcentajes que oscilaron desde el 9.09% hasta el 41.67%, lo cual evidencia la presencia de la enfermedad en la zona y diferencias en el manejo de cada rancho Cuadro 2.

Cuadro 2. Frecuencia de vacas positivas a la Prueba de California para mastitis en las unidades de producción evaluadas.

Rancho	*Positivas*	*Frecuencia %*
Sendero	6 (30)	20.00%
7 hermanos	8(24)	33.33%
Nubes	2(22)	9.09%
Caracol	5(12)	41.67%
San Isidro	12(45)	26.67%
Total acumulado	**33 (133)**	**24.81%**

Al realizar el análisis global por cuarto bovino se observó un predominio de cuartos mamarios con resultado negativo a la CMT (grado 0) con frecuencias del 61.07% en el cuarto anterior derecho a 67.94% en el posterior izquierdo. Al incluir la categoría trazas como ausencia de infección activa, el porcentaje de cuartos mamarios sin infección superó el 86 % en todas las posiciones anatómicas evaluadas. Por lo tanto, la frecuencia de cuartos con infección activa fue menor al 14 %, resultado inferior al reportado por Valenzuela-Jiménez *et al.,* (2024), quienes encontraron una prevalencia de mastitis subclínica de 23.7 % por cuarto mamario en bovinos de doble propósito del trópico mexicano. Esta diferencia podría estar relacionada con las condiciones de manejo, higiene durante el ordeño y características particulares de las UPP evaluadas. La mastitis subclínica (grado 1 a 3), se concentró ligeramente en los cuartos anteriores tanto izquierdo como derecho. Las reacciones de grado 3 presentaron una frecuencia baja en todas las posiciones de los cuartos mamarios (Figura 1).

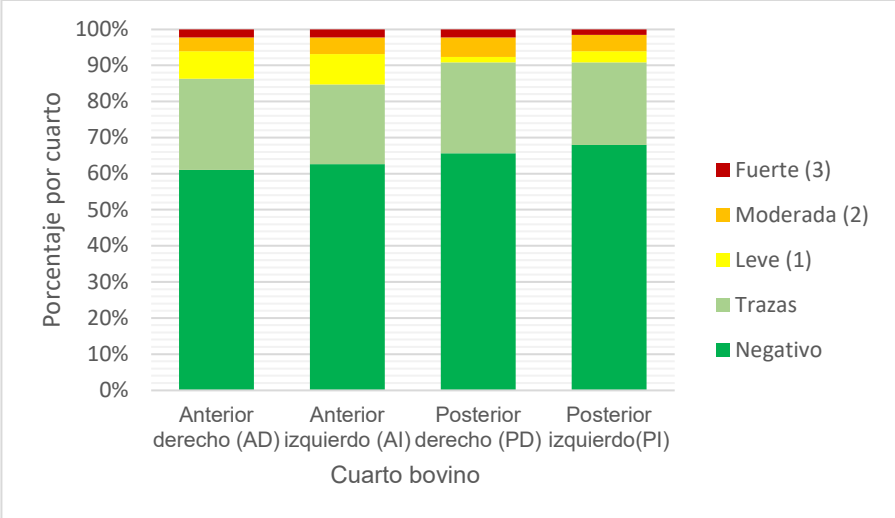


Figura 1. Distribución porcentual de los resultados de la Prueba de California para mastitis según la posición del cuarto mamario. (N=133).

Con respecto al diagnóstico bacteriológico, el aislamiento del rancho "San Isidro" presentó un cultivo compatible con bacilos Gram negativos tipo enterobacteria, probablemente *Escherichia coli*, con características coloniales mucoides y grisáceas. El aislamiento del rancho "7 Hermanos" se observaron cocos Gram positivos, sugestivos de *Staphylococcus* spp., con colonias cremosas y no hemolíticas. En el rancho "El Caracol" se aislaron dos morfotipos bacterianos diferentes, ambos consistentes con cocos Gram positivos agrupados en racimos, por lo que el diagnóstico presuntivo más probable es una infección mixta por Staphylococcus spp., con colonias blanquecinas y grisáceas. El aislamiento obtenido en el rancho "El Sendero" es compatible con cocos Gram positivos

agrupados en racimos, morfológicamente sugestivos de *Staphylococcus spp*. Por su parte, el aislamiento del rancho "Las Nubes" corresponde a una población única de cocos Gram positivos compatibles con *Staphylococcus spp*., que presentó variación fenotípica en la pigmentación colonial (blanca a amarilla). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Yalcin *et al*., (2024), quienes identificaron a *Staphylococcus* spp. y *Escherichia coli* entre los principales agentes asociados con la mastitis bovina. La presencia de estos grupos bacterianos podría relacionarse con la transmisión durante el ordeño y la contaminación ambiental, respectivamente. En el Cuadro 3 se presentan los resultados del antibiograma, observándose resistencia a algunos antimicrobianos en tres de las cinco UPP evaluadas, así como baja susceptibilidad en algunos aislamientos. Estos resultados coinciden con lo señalado por Molineri *et al*., (2021), quienes reportaron resistencia de aislamientos de *Staphylococcus aureus* asociados con mastitis bovina frente a diferentes antimicrobianos. Esto demuestra la importancia de realizar el cultivo bacteriológico y el antibiograma antes de seleccionar el tratamiento.

Cuadro 3. Perfil de susceptibilidad antimicrobiana de los aislamientos obtenidos de las muestras agrupadas de cada UPP.

Antimicrobiano	*El Sendero*	*7 Hermanos Arteaga*	*Las Nubes*	*El Caracol*	*San Isidro*
Nitrofurantoína	+++	+++	+++	+++	+++
Netilmicina	+++	+++	+++	+++	++
Penicilina	+++	+++	+++	++	**R**
Sulfametoxazol/ Trimetoprim	+++	+++	+++	+++	+++
Cloranfenicol	**R**	++	+++	+++	+++
Gentamicina	+++	**(+)**	+++	++	**R**
Ceftriaxona	+++	+++	+++	+++	+++
Cefalotina	+++	+++	+++	+++	++
Dicloxacilina	+++	++	+++	**R**	**R**
Cefotaxima	+++	+++	+++	+++	+++
Amikacina	+++	**(+)**	+++	++	**(+)**
Ampicilina	+++	+++	+++	+++	**R**

Nota. +++ = alta susceptibilidad; ++ = susceptibilidad intermedia; (+) = baja susceptibilidad; R = resistente.

Conclusiones

La mastitis subclínica representa un problema sanitario constante en las UPP analizadas. La presencia de patógenos resistentes a antimicrobianos de uso común evidencia el riesgo de los tratamientos empíricos. Estos hallazgos destacan la urgencia de implementar el diagnóstico rutinario con CMT, el uso de antibiogramas y mejores prácticas de ordeño para proteger la productividad ganadera y la salud pública.

Referencias bibliográficas

Cheng, W. N., & Han, S. G. (2020). Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments - A review. Asian-Australasian journal of animal sciences, 33(11), 1699–1713. https://doi.org/10.5713/ajas.20.0156.

Gomes, F., & Henriques, M. (2016). Control of Bovine Mastitis: Old and Recent Therapeutic Approaches. Current microbiology, 72(4), 377–382. https://doi.org/10.1007/s00284-015-0958-8.

INEGI 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Ostuacán, Chiapas.

Molineri, A. I., Camussone, C., Zbrun, M. V., Suárez Archilla, G., Cristiani, M., Neder, V., Calvinho, L., & Signorini, M. (2021). Antimicrobial resistance of Staphylococcus aureus isolated from bovine mastitis: Systematic review and meta-analysis. Preventive veterinary medicine, 188, 105261. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105261.

Orantes-Zebadúa, Miguel Ángel, Platas-Rosado, Diego, Córdova-Avalos, Víctor, De los Santos-Lara, María del Carmen, & Córdova-Avalos, Antonio. (2014). Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 1(1), 49-58.

Pérez-Morales, Rosalva, Padilla-Ramírez, Francisco, González-Ríos, Humberto, De-la-Cruz-Leyva, María, Castañeda-Vázquez, Hugo, & Hernández-Moreno, María. (2022). Factores asociados a la prevalencia de mastitis subclínica en ganado bovino de doble propósito. Abanico veterinario, 12, e2021-41. Epub 23 de junio de 2023.https://doi.org/10.21929/abavet2022.16.

Pineda-Burgos, B. C., Catalán Nájera, J. C., Espinosa Rodríguez, M., Sabino López, J. E., & Vázquez Villamar, M. (2024). El impacto económico de la mastitis bovina en México. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 12(1), 51-60. https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v12i1.539.

Stanek, P., Zolkiewski P., & Januś, E. (2024). A Review on Mastitis in Dairy Cows Research: Current Status and Future Perspectives. Agriculture, 14(8), 1292. https://doi.org/10.3390/agriculture14081292.

Valenzuela-Jiménez, N., et al. (2024). Prevalence of subclinical mastitis, economic losses and factors associated in dual-purpose bovine production units in the tropics. World Buiatrics Congress. https://www.ivis.org/library/wab/world-buiatrics-congress-mexico-2024/prevalence-of-subclinical-mastitis-economic-losses-and-factors-associated-dual-purpose-bovine?utm_source=chatgpt.com.

Yalcin, S., Ozgen, A., & Simsir, M. (2024). Molecular characteristics and antimicrobial susceptibility profiles of bovine mastitis agents in western Türkiye. Journal of veterinary science, 25(5), e72. https://doi.org/10.4142/jvs.24032.

.

DIAGNOSTICO SEROLOGICO DE BABESIOSIS BOVINA EN UNIDADES DE PRODUCCION DE LA ZONA NORTE DE CHIAPAS

José Juan Lira-Amaya*[1], Jesús Antonio Álvarez-Martínez[1], Carmen Rojas-Martínez[1], Roberto Omar Castañeda-Arriola[2], Karime Yamillet Antonio Antonio[3], Yuritzi Cristal del Carpio Hernández[3], Sofía Esquipulas Ruiz[3], Erika Yatzari Hernández López[3] y Erin Yael Hernández López[3].

1 CENID SAI-INIFAP, 2 S.E Pichucalco CIRGOC-INIFAP, 3 FMVZ CII, Pichucalco- UNACH.
*Autor para correspondencia: lira.juan@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Babesia*, *bovinos, inmunofluorescencia, trópico.*

Introducción

La babesiosis bovina es una enfermedad hemoparasitaria ampliamente distribuida en las regiones tropicales de todo el mundo; es causada por los protozoarios intraeritrocíticos *Babesia bovis* y *Babesia bigemina*. Ambas especies son transmitidas por garrapatas *Rhipicephalus microplus* (Martínez *et al*. 2021). La transmisión de esta enfermedad está relacionada con la interacción entre la garrapata vector, el parásito y el hospedador bovino susceptible. En zonas donde la enfermedad es endémica, se establece un estado de equilibrio epidemiológico denominado "estabilidad enzoótica", en el cual la infección no se manifiesta clínicamente en el hato. Los bovinos jóvenes < 9 meses permanecen como portadores de la infección desde una edad temprana sin manifestar signos clínicos graves (Mosqueda *et al*. 2012a).
Para el control de la babesiosis, el uso de ixodicidas es una de las estrategias utilizadas con mayor frecuencia en búsqueda de disminuir las poblaciones de garrapatas; sin embargo, la deficiente exposición a garrapatas infectadas y una reducida transmisión de parásitos, mantiene al ganado altamente susceptible lo que significa un alto riesgo de brotes clínicos (Bock *et al*. 2004). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue realizar el diagnóstico serológico y estimar la prevalencia de anticuerpos contra *Babesia bovis* en unidades de producción pecuaria (UPP) de la zona norte del estado de Chiapas.

Materiales y métodos

Localización
El presente estudio se llevó a cabo en la zona norte del estado de Chiapas, esta región presenta una intensa actividad pecuaria, principalmente orientada a la producción de leche y carne de bovino. La región socioeconómica VIII- Norte de Chiapas se caracteriza por clima cálido húmedo con lluvias todo el año, presenta zonas de lomerío con dos llanuras que se comparten con el estado de Tabasco, además de que predomina la selva húmeda. (INEGI, 2023).
Diseño del estudio y características de la población
Mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, se seleccionaron diez UPP, con diferentes sistemas de producción; donde los propietarios brindaron las facilidades para realizar la colecta de muestras sanguíneas para el diagnóstico serológico de babesiosis bovina (Cuadro 1).

Cuadro1. Unidades de producción pecuaria incluidas en el estudio.

	Rancho	*Municipio*	*Fin zootécnico.*	*Población*	*Razas*
1	S. E. Pichucalco	Pichucalco	Vaca cría	122	Brahman, Brangus
2	CBTA 23	Pichucalco	Vaca cría	78	Beefmaster,Sardo, Brahman
3	El Edén	Solosuchiapa	Lechería	160	Sardo negro
4	Santo Domingo	Solosuchiapa	Lechería	150	Sardo negro, Gyr
5	El Suspiro	Solosuchiapa	Doble propósito	130	Sardo negro, Suizo pardo
6	Esquipulas	Solosuchiapa	Doble propósito	150	Sardo negro
7	San José	Juárez	Vaca cría	90	Brahman
8	La Bendicion	Juárez	Doble propósito	100	Gyr, Simbrah, Brahman
9	Porvenir	Pichucalco	Doble propósito	90	Sardo negro
10	Zapata	Pichucalco	Lechería	80	Simmental

La población de estudio estuvo conformada por dos estratos etarios, bovinos adultos >3 años y bovinos jóvenes en un rango de edad de 3 a 10 meses. En total se muestrearon 200 bovinos, 10 animales por estrato en cada UPP. El tipo de estudio se consideró transversal descriptivo.

Toma de muestra

Las muestras de sangre se colectaron mediante venopunción de la vena caudal, se utilizaron tubos al vacío con anticoagulante EDTA, que fueron rotulados y transportados en refrigeración hasta el laboratorio de la FMVZ Pichucalco de la Universidad Autónoma de Chiapas para su eventual centrifugación y obtención del suero. Posteriormente, las muestras de suero fueron remitidas al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad (CENID-SAI) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), donde se analizaron mediante la técnica de inmunofluorescencia indirecta (IFI), con la finalidad de detectar anticuerpos circulantes contra *B. bovis*

Inmunofluorescencia indirecta

La prueba de IFI se desarrolló de acuerdo a lo previamente descrito por Alvarez *et al.* (2019). Brevemente, se emplearon como antígeno laminillas con eritrocitos infectados con *B. bovis*, las cuales se incubaron con los sueros bovinos previamente diluidos en PBS (1:80). Posteriormente, se adicionó un anticuerpo anti-IgG de bovino conjugado con el fluorocromo Alexa Fluor 488. Finalmente, las laminillas se observaron bajo un microscopio de epifluorescencia para detectar la presencia de anticuerpos, se consideró la visualización indirecta de las formas clásicas (trofozoitos o merozoitos) de *B. bovis* marcadas con el fluorocromo como criterio de positividad. Como sueros controles negativos y positivos, se utilizaron sueros de bovinos colectados antes y después de la inoculación con *B. bovis*, respectivamente

Resultados y discusión

El análisis de las muestras de suero demostró la presencia de anticuerpos contra *B. bovis* en ambos estratos etarios. La prevalencia general de anticuerpos contra *B. bovis* fue del 81% (81/100) en adultos y del 79% (79/100) en jóvenes (Figura 1).

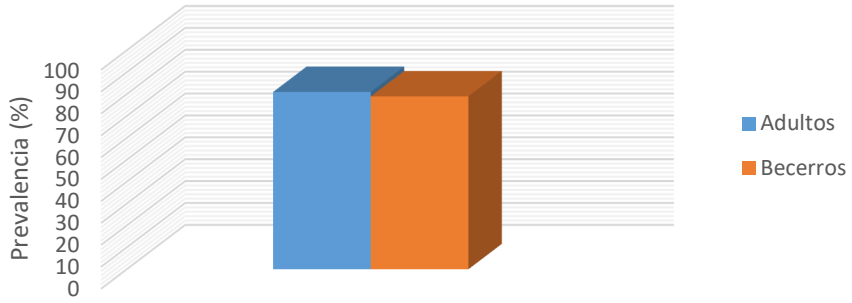


Figura 1. Prevalencia general de anticuerpos contra *B. bovis* en cada estrato etario evaluado.

Estos resultados sugieren que la babesiosis, particularmente causada por *B. bovis*, se encuentra ampliamente distribuida en las regiones tropicales y subtropicales, lo cual coincide con lo reportado por Rojas *et al*. (2004), quienes reportaron una prevalencia de anticuerpos contra *B. bovis* del 73% en bovinos jóvenes en una región tropical de México. En estas unidades de producción, la exposición temprana al parásito bajo la protección inmunitaria materna previene la presentación clínica grave, manteniendo el equilibrio epidemiológico (Mosqueda et al., 2012b). Las prevalencias de anticuerpos contra *B. bovis* más bajas en bovinos jóvenes (~50%) se obtuvieron en las UPP Esquipulas y La Bendición, mientras que las más altas (>80%) se obtuvieron en las UPP S. E. Pichucalco, Zapata y El Edén, Porvenir y CBTA. La prevalencia más baja en bovinos adultos (<50%) se obtuvo en la UPP La Bendición. En las UPP S. E. Pichucalco y Porvenir se obtuvieron prevalencias contra *B. bovis* ≥90% (Figura 2).

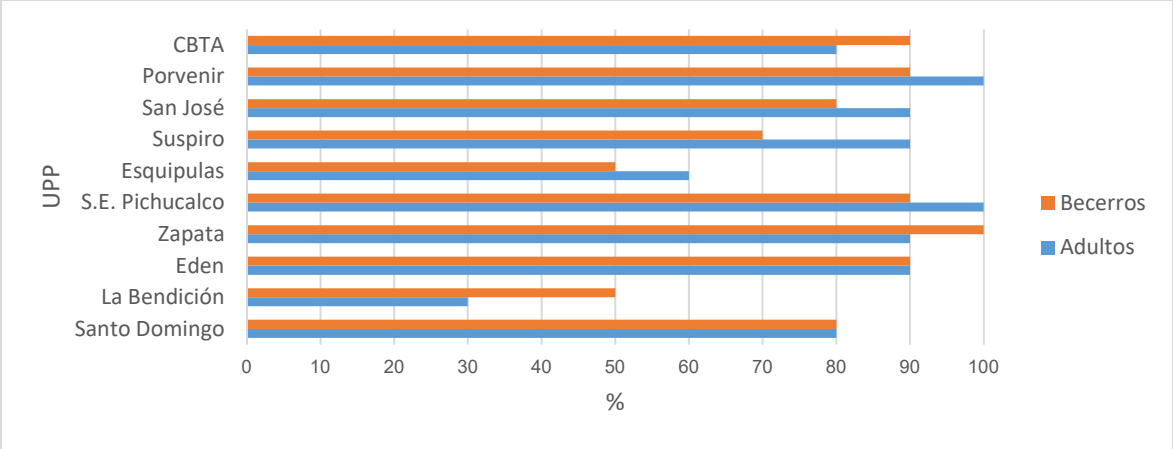


Figura 2. Prevalencia de anticuerpos contra *B. bovis* en cada estrato etario de las UPP incluidas en el estudio.

Los resultados obtenidos, específicamente en las UPP donde se obtuvieron bajas prevalencias de anticuerpos contra *B. bovis* (≤50%) en los animales, podría deberse a factores como el manejo sanitario, época del año y una reducida transmisión de los parásitos por garrapatas. Cuando un porcentaje considerable de la población alcanza la madurez sin inmunidad previa, incrementa significativamente el riesgo de brotes de babesiosis aguda y pérdidas económicas severas si no se implementan medidas de control integrado adaptadas al manejo local (Rios-Osorio et al., 2010).

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que la babesiosis bovina causada por *B. bovis* se encuentra distribuida en la población estudiada y confirma que la zona norte de Chiapas es endémica para la enfermedad.

Referencias bibliográficas

Alvarez, J. A., Rojas, C., Figueroa, J. V. (2019). Diagnostic Tools for the Identification of Babesia spp. persistently Infected Cattle. Pathogens, 8(3).

Bock, R. E., Jackson, L., de Vos, A. and Jorgensen, W. (2004). Bovine babesiosis. Parasitology, 129, 247-269. https://doi.org/10.1017/S0031182004005190.

INEGI. 2023. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Aspectos geográficos de Chiapas: compendio 2023.

Martínez, G., Santamaria, R., Lira, J. and Figueroa J. V. (2021). Challenges in Tick-Borne Pathogen Detection: The Case for *Babesia* spp. Identification in the Tick Vector. Pathogens 10(2), 92. https://doi.org/10.3390/pathogens10020092.

Mosqueda Gualito, J. J., Falcón Neri, A., Ramos Aragón, J. A., Canto Alarcón, G. J., & Camacho Nuez, M. (2012a). Estrategias genómicas y moleculares para el control de la babesiosis bovina. Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias, 3, 51 a 59. Recuperado a partir de https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1828.

Mosqueda, J., Olvera-Ramirez, A., Aguilar-Tipacamu, G., & Canto, G. J. (2012b). Current advances in detection and treatment of babesiosis. Current medicinal chemistry, 19(10), 1504–1518. https://doi.org/10.2174/092986712799828355.

Ríos Osorio, L. A., Zapata Salas, R., Reyes, J., Mejía, J., & Baena, A. (2010). Estabilidad enzoótica de babesiosis bovina en la región de Puerto Berrío, Colombia. Revista Científica, 20(5), 485–492.

Rojas, E., Domínguez, P., García, M., Cruz, V.C., Figueroa, J. and Ramos, J. (2004). Prevalencia e incidencia de *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* en un hato bovino en Axochiapan, Morelos. Avances en investigación agropecuaria, 8(2), 1-8.

CRECIMIENTO DE *Cenchrus purpureus* VARIEDADES ROXO Y TAIWÁN CON DIFERENTES pH DEL SUELO Y CON FERTILIZACIÓN

Kevin William Mateos Escudero[1], Julio César Vinay-Vadillo[2]* y Yuri Villegas-Aparicio[3]

[1]Tesista ITVO. Estudiante Licenciatura, [2]Investigador INIFAP Campo Experimental, La Posta, Paso del Toro, Veracruz. [3]Profesor-Investigador ITVO, Nazareno, Xoxocotlán, Oax.
*Autor para correspondencia: vinay.julio@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Producción de biomasa, cinética del crecimiento, pennisetum purpureum*

Introducción

Cenchrus purpureus, conocida comúnmente como pasto elefante, es una de las gramíneas más utilizadas para la alimentación de ganado en las regiones tropicales, debido a su alta producción de biomasa, hojas con alta digestibilidad y contenido proteico aceptable (Hapte *et al*.,2022). Sin embargo, su rendimiento está determinado por factores climáticos, edáficos, de genotipo, y de manejo, principalmente. Bajo este contexto, para hacer un uso eficiente de este recurso forrajero, es necesario comprender la interacción entre el material genético, los niveles de fertilización y las variaciones en el pH del suelo. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento de dos variedades de *Cenchrus purpureus*: Roxo y Taiwán, bajo el efecto de la fertilización, con diferentes pH del suelo; durante la época de lluvias en la producción de biomasa seca total y de la hoja y el tallo, mediante el empleo de un modelo no lineal de Gompertz, con la finalidad de aportar información técnica que permita maximizar su productividad forrajera

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo, durante la época de lluvias (2021), en el Campo Experimental La Posta de Paso del Toro. Veracruz, localizado en las coordenadas 96° 08' 19.5" W, 19° 00' 58.6" N (INEGI, 2020) a 12 msnm. Según la clasificación (Vidal, 2005), el clima predominante en el área, corresponde al intermedio del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano "Aw_1", de la vertiente del Golfo de México. Se utilizaron parcelas de 2 por 2 m establecidas con las variedades Roxo y Taiwan, en dos suelos con pH ácido, fertilizados y no fertilizados. Se realizó un corte de homogeneidad a 25 cm de altura. Se realizaron análisis de suelos previos al inicio del experimento. Se realizó cinéticas de crecimiento, empleado el modelo lineal de Gompertz con cortes al inicio y cada 21 días hasta el día 84 y posteriormente un punto a los 390 días de edad. Se tomaron muestras de cada parcela mediante el uso de un cuadrado, el material verde fresco se sometió al pesaje. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres factores la variedad Roxo y Taiwan, pH del suelo 5.5 y 4.9 y fertilizado y no fertilizado con dos repeticiones. En cada fecha de muestreo se tomaron muestras representativas para secarla, previamente la muestra tomada en verde después de pesar se procedió a separar la hoja y el tallo y cuantificarlo después de su secado en estufa de 55 C, a peso constante. La dosis de fertilización que se aplico después de la siembra: 75 kg ha^{-1} de nitrógeno (N) lo que representa la mitad de la fórmula y 60 kg ha^{-1} de fósforo (P en forma de P_2O_5), lo cual equivale a la aplicación de 167 kg ha^{-1} de urea y 134 kg ha^{-1} de superfosfato triple de calcio. Cuando se realizó el corte de uniformización se aplicó la dosis restante que representa 75 kg/ha de nitrógeno (N), equivalentes a 167 kg ha^{-1} de urea, para complementar la dosis de fertilización recomendada. (150-60-00 kg ha^{-1} de N y P). Se realizaron cinéticas de crecimiento utilizando un modelo no lineal con el modelo de Gompertz, así como su bondad de ajuste para corroborar el ajuste del modelo a los datos repetidos en el tiempo, para la biomasa producida seca en kg de MS por ha^{-1}, así como de la hoja y el tallo. Los Parámetros generados por el modelo, como la producción máxima de biomasa en kg de Materia Seca (MS) por hectárea (A), la velocidad de crecimiento de cada variedad y el efecto por pH, fertilizado y no fertilizado y el punto de inflexión en días (B); Se les practicó un ANOVA con diseño completamente al azar con factores como variedad, pH, fertilizado y no fertilizado y sus interacciones. Las medias se compararon con el método de Tukey

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se presentan los parámetros de la curva de crecimiento con respecto a la producción máxima de biomasa (A), velocidad de crecimiento (V) y punto de inflexión (B) cambio en días, por efecto de la variedad, pH y fertilización sobre de *Cenchrus purpureus* y representan los coeficientes de las ecuaciones de regresión no lineal que describen su comportamiento de producción de biomasa, evaluados en dos pH diferentes, con o sin fertilización durante 210 días.

Cuadro 1. Efecto de la variedad, pH y fertilización sobre los parámetros del crecimiento de *Cenchrus purpureus,* en biomasa (kg MS ha^{-1}.)

Variable	Variedad		pH suelo		Fertilización		EEM
	Roxo	Taiwán	4.9	5.5	Con	Sin	
A, kg MS ha^{-1}	20545 [a]	29312 [a]	20475 [a]	29382 [a]	34071 [a]	15786 [b]	4225
V, Peso/Tiempo	0.042 [a]	0.045 [a]	0.048 [a]	0.039 [a]	0.048 [a]	0.039 [a]	0.009
B, días	44.90 [a]	58.14 [a]	51.47 [a]	51.58 [a]	53.49 [a]	49.56 [a]	5.25

[ab] Literales diferentes son estadísticamente diferentes; α= 0.05 (Tukey), EEM=Error Estándar de la Media.

El análisis en cuanto al factor variedad para la variable de máxima de producción de biomasa (A), la variedad Taiwán es la que más biomasa genera a los 142 días de edad con más 29 t MS ha^{-1} con respecto a las 20 t MS ha^{-1} producidas por Roxo, aunque la diferencia numérica es importante, no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05), de igual manera Taiwán tiene un valor más alto para la variable de velocidad de producción de biomasa (V) y para el punto de inflexión de crecimiento de producción de biomasa (B) pero tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05).

Para el efecto del pH para la variable de máxima producción de biomasa(A) se tienen diferencias similares a las del factor de variedad, esta vez, el factor de pH 5.5 genera más biomasa con 29 t MS ha^{-1} con respecto a las 20 t MS ha^{-1} producidas por pH 4.4 y aunque la diferencia numérica es importante , no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05), para la variable de velocidad de producción de biomasa (V) se tiene que pH 5.5 es más rápido numéricamente pero no estadísticamente, y para el punto de inflexión de crecimiento producción de biomasa (B) tenemos que ambos comienzan a decrecer en el mismo número de días (51), pero tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05).

En cuanto al factor de fertilización se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05) para la variable de máxima de producción de biomasa (A), la variable de máxima producción de biomasa (A) se manifestó más del 50% superior con una producción de 34 t MS ha^{-1} con dosis de 150-60-00 kg ha^{-1} de N y P, sobre las 15 t MS ha^{-1} sin fertilización, también se tiene que fertilizado obtuvo un valor más alto (0.048 kg/día) para la variable de velocidad de crecimiento (V) con respecto al factor sin fertilización(0.039 kg dia^{-1}) y para el punto de inflexión de producción de biomasa (B) pero no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05) en ambos casos.

En la Figura 1 se presentan las curvas de crecimiento del *Cenchrus purpureus* variedad Roxo tomando en cuenta las interacciones. Se muestra el comportamiento del efecto de fertilización y pH del suelo sobre rendimiento de Biomasa, en esta interacción entre pH y fertilización demuestra que los fertilizados tienen el mayor rendimiento en comparación a las no fertilizadas al pH de 5.5, ahora bien, sobre las no fertilizadas se encuentra un mejor comportamiento de producción la curva de pH 5.5.

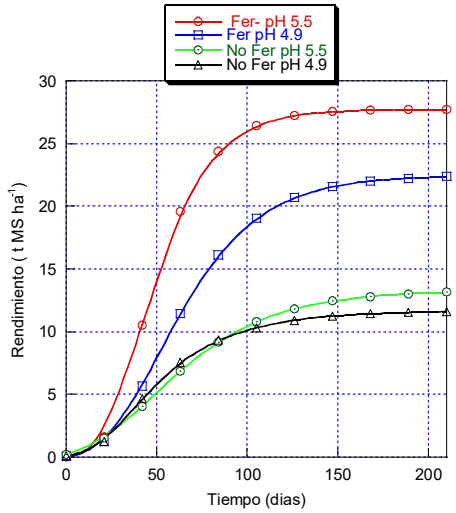


Figura 1. Curvas de crecimiento de biomasa de *Cenchrus purpureus* variedad. Roxo con y sin fertilización a diferentes pH del suelo.

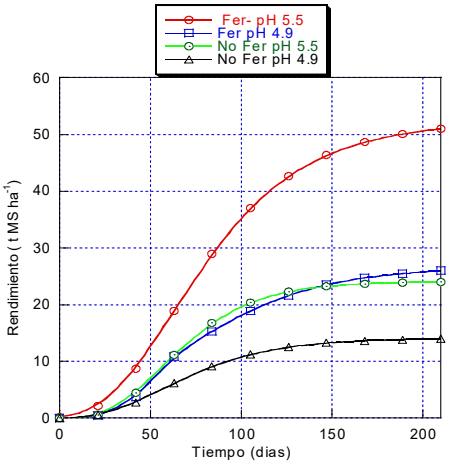


Figura 2. Curvas de crecimiento de biomasa de *Cenchrus purpureus* variedad. Taiwán con y sin fertilización a diferentes pH del suelo.

En el Cuadro 2, se presentan los parámetros de la curva de crecimiento con respecto a la biomasa de la hoja, por efecto de la variedad, pH y fertilización sobre de *Cenchrus purpureus* y representan los coeficientes de las ecuaciones de regresión no lineal dada y que describen su comportamiento de producción de biomasa en hoja, evaluados en dos pH diferentes, con o sin fertilización durante 210 días.

Cuadro 2. Efecto de la variedad, pH y fertilización sobre el crecimiento de *Cenchrus purpureus* biomasa hoja (kg MS ha^{-1}.).

Variable	Variedad		pH suelo		Fertilización		EEM
	Roxo	Taiwán	4.9	5.5	Con	Sin	
A, kg MS ha^{-1}	10157^{a}	11824^{a}	8443^{b}	13539^{a}	13731^{a}	8251^{b}	927
V, Peso/Tiempo	0.09^{a}	0.05^{a}	0.09^{a}	0.04^{a}	0.08^{a}	0.06^{a}	0.03
B, días	40^{a}	44^{a}	42^{a}	42^{a}	43^{a}	41^{a}	3.37

Efectos con diferente literal entre columnas son estadísticamente diferentes (P≤0.05). Las medias se compararon por método Tukey (α= 0.05). EEM=Error Estándar de la Media.

El análisis del factor variedad para la variable de máxima de producción de biomasa de hoja (A) se define a Taiwán como la variedad que más biomasa genera con 11 t MS ha^{-1} con respecto a las 10 t MS ha^{-1} producidas por Roxo, aunque existe diferencia numérica, no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05), Roxo tiene un valor más alto para la variable de velocidad de producción de biomasa de hoja (V) y de igual manera para el punto de inflexión de crecimiento de producción de biomasa de hoja (B) pero tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05). Para el efecto del pH en cuanto a la variable de máxima producción de biomasa de hoja (A) se tiene diferencia numéricas un poco alta ya que el factor de pH 5.5 genera más biomasa con 15 t MS ha^{-1} con respecto a las 8 t MS ha^{-1} producidas por pH 4.9 esta diferencia es importante con lo cual se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05), ahora bien para la variable de velocidad de producción de biomasa de hoja (V) se tiene que en pH 5.5 es más rápida la producción pero no estadísticamente significativa (P≥0.05), y para el punto de inflexión de crecimiento producción de biomasa de hoja (B) tenemos que ambos comienzan a decrecer en el mismo número de días (42), pero tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa

(P≥0.05).Ahora en cuanto al factor de fertilización, en todas las variables se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05), para la variable de máxima de producción de biomasa de hoja (A) se manifestó más del 60% superior con una producción de 13 t MS ha^{-1} de hoja con dosis de 150-fertilización 60-00 kg /ha de N y P, en comparación a las 8 t MS ha^{-1} sin fertilización, también se tiene que fertilizado obtuvo un valor más alto (0.08 kg/día) para la variable de velocidad de producción de biomasa de hoja (V) con respecto al factor sin fertilización(0.06 kg/día) con lo cual no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05) y para el punto de inflexión de producción de biomasa de hoja(B) tenemos diferencia de 2 días siendo sin fertilización el factor que tiene el valor más bajo con 41 días y no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05)
.

A continuación, se presentan las curvas de crecimiento de biomasa en hoja tomando en cuenta todas las interacciones. En las Figuras 3 y 4 representan el crecimiento en producción de biomasa en de *Cenchrus purpureus*, bajo las interacciones de fertilización (Fer/ No Fer) y pH del suelo (5.5/ 4.9).

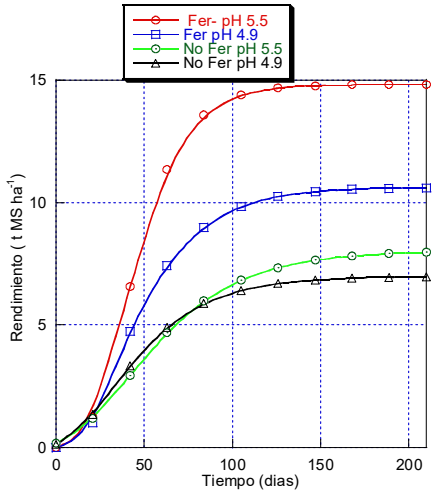


Figura 3. Curvas de crecimiento de biomasa en hoja de *Cenchrus purpureus* variedad Roxo con y sin fertilización a diferentes pH del suelo

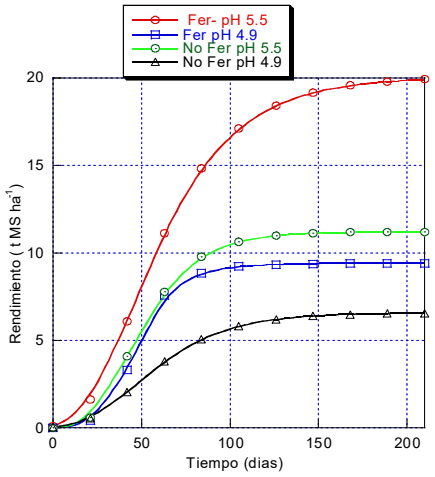


Figura 4. Curvas de crecimiento de biomasa en hoja de *Cenchrus purpureus* varriedad Taiwán con y sin fertilización a diferentes pH del suelo

La figura 3 muestra el comportamiento del efecto de fertilización y pH del suelo sobre *Cenchrus purpureus* var roxo, en esta interacción entre pH y fertilización se muestra los tratamientos fertilizados tienen el mayor rendimiento en comparación a las no fertilizadas, ahora bien, sobre las no fertilizadas se encuentra un mejor comportamiento de producción la curva de pH 5.5 tal y como se demuestra el cuadro 2. La figura 4 muestra el comportamiento del efecto de fertilización y pH del suelo sobre *Cenchrus purpureus* var taiwán, en esta interacción entre pH y fertilización se muestra los tratamientos de pH 5.5, tienen el mayor rendimiento en comparación a las de pH 4.9.

En el Cuadro 3, se presentan los parámetros de la curva de crecimiento con respecto a la biomasa de tallo, por efecto del forraje, pH y fertilización sobre de *Cenchrus purpureus* y representan los coeficientes de las ecuaciones de regresión no lineal y que describen su comportamiento de producción de biomasa de tallo, evaluados en dos pH diferentes, con o sin fertilización durante 210 días.

Cuadro 3. Efecto del forraje, pH y fertilización sobre el crecimiento de *Cenchrus purpureus* en tallo (kg MS ha^{-1}.) y representan los coeficientes de las ecuaciones de regresión no lineal y que describen su comportamiento de producción de biomasa de tallo, evaluados en dos pH diferentes, con o sin fertilización durante 210 días.

Variable	Variedad		pH		Fertilización		EEM
	Roxo	Taiwán	4.9	5.5	Con	Sin	
A, kg MS ha^{-1}	8479^{a}	8313^{a}	7592^{a}	9200^{a}	10931^{a}	5861^{b}	871
V, Peso/Tiempo	0.04^{a}	0.06^{a}	0.05^{a}	0.05^{a}	0.06^{a}	0.04^{a}	0.007
B, días	54^{a}	50^{a}	58^{a}	45^{a}	55^{a}	49^{a}	3.89

Efectos con la misma letra son estadísticamente iguales α= 0.05 (Tukey), EEM=Error Estándar de la Media.

En análisis al factor forraje para la variable de máxima de producción de biomasa de tallo (A) se tiene que a Taiwán como la variedad que más biomasa genera por poca diferencia con 8.5 t MS ha^{-1} con respecto a las 8.3 t MS ha^{-1} producidas por Roxo con lo cual no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05), de igual manera Taiwán tiene un valor más alto para la variable de velocidad de producción de biomasa de tallo (V) y para el punto de inflexión de crecimiento de producción de biomasa de tallo (B) tienen valores cercanos, pero en ambos casos tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05). Para el efecto del pH para la variable de máxima producción de biomasa de tallo (A) se tienen diferencias altas con el factor de pH 5.5 generando más biomasa, con 9.2 t MS ha^{-1} con respecto a las 7.5 t MS ha^{-1} producidas por pH 4.4 y aunque la diferencia numérica es importante , no se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05) al igual que para la variable de velocidad de producción de biomasa de tallo (V) en donde se tiene que ambos tienen velocidades similares, y para el punto de inflexión de crecimiento producción de biomasa de tallo (B) tenemos que en pH 5.5 comienza a decrecer en el día 45 mientras que el pH 4.9 se nota en el día 58 y aunque existe una diferencia de varios días tampoco no se presenta diferencia estadísticamente significativa (P≥0.05). En cuanto al factor de fertilización se encontró diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05) para la variable de máxima de producción de biomasa de tallo (A), la variable de máxima producción de biomasa de tallo (A) se manifestó casi un 50% superior con una producción de 10.9 t MS ha^{-1} con dosis de 150-60-00 kg /ha de N y P, sobre las 5.8 t MS ha^{-1} sin fertilización, también se tiene que fertilizado obtuvo valores similares para la variable de velocidad de producción de biomasa de tallo (V) y de igual manera para el punto de inflexión de producción de biomasa de tallo (B), con lo cual para ambos casos no se presentó diferencia estadísticamente significativa (p≥0.05)

A continuación, se presentan las curvas de producción de biomasa en tallo tomando en cuenta todas las interacciones.

Las curvas en la Figura 5 representan el crecimiento en producción de biomasa de tallo de *Cenchrus purpureus* variedad Roxo, bajo dos interacciones de fertilización (Fer/no Fer) y pH del suelo (5.5/4.9).

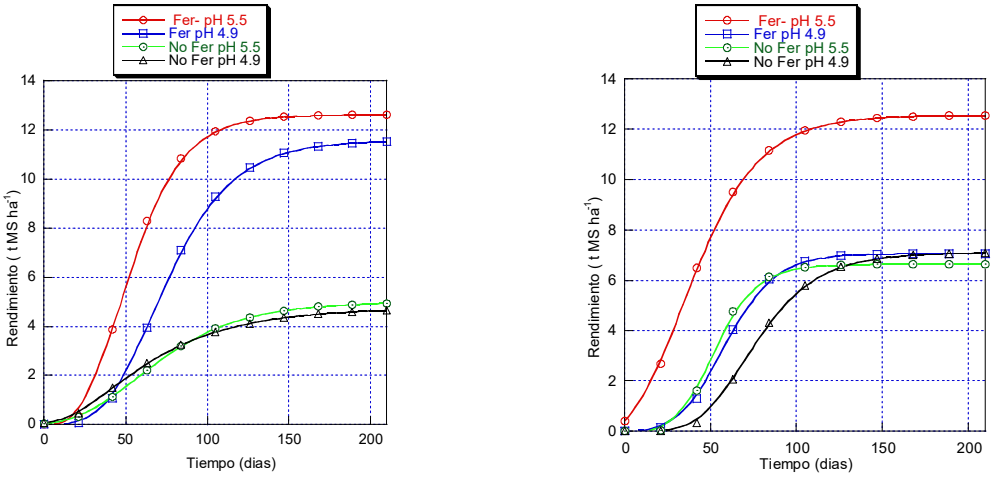


Figura 5. Curvas de acumulación de biomas en tallo de *Cenchrus purpureus* variedad. Roxo con y sin fertilización a diferentes pH del suelo

Figura 6. Curvas de acumulación de biomasa en tallo de *Cenchrus purpureus* variedad Taiwán con y sin fertilización a diferentes pH del suelo

En la figura 5 se presentan el comportamiento del efecto de fertilización y pH del suelo sobre *Cenchrus purpureus* variedad Roxo, en esta interacción entre pH y fertilización se muestra los tratamientos fertilizados tienen un mayor rendimiento en comparación a las no fertilizadas tal y como se demostró en el cuadro 4, analizando dentro de las curvas fertilizadas se encuentra en mayor rendimiento el tratamiento de pH 5.5, ahora, las no fertilizadas se muestran rendimientos prácticamente iguales, siendo la curva verde ligeramente superior. La figura 6 muestra el comportamiento del efecto de fertilización y pH del suelo sobre *Cenchrus purpureus* variedad Taiwan, en esta interacción entre pH y fertilización se muestra una diferencia únicamente en el tratamiento fertilizado a pH 5.5 en donde su crecimiento es mucho mayor respectos a las demás, los cuales tienen un comportamiento de producción muy similar, prácticamente iguales, lo único que los diferencia es la velocidad y tiempo en que lograron una producción aproximada de 7 t MS ha^{-1}.

Conclusiones

Se concluye que tanto la variedad Roxo y Taiwan responde al efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada y a un pH suelo cercado a la neutralidad, que permite una mayor producción de biomasa, cerca de los 100 días de edad del forraje. Aunque hay que mencionar la variedad Taiwan produce más biomasa en base seca, por lo que está en mayor cantidad disponible para la alimentación de bovinos, que el Roxo

Referencias bibliográficas

Habte, E., Teshome, A., Muktar, M. S., Assefa, Y., Negawo, A. T., Machado, J. C., Ledo, F. J. d. S., & Jones, C. S. (2022). Productivity and Feed Quality Performance of Napier Grass (*Cenchrus purpureus*) Genotypes Growing under Different Soil Moisture Levels. *Plants*, *11*(19), 2549. https://doi.org/10.3390/plants11192549.

Vidal, Z. R. (2005). Región 7, Golfo de México. *Las regiones climáticas de México*. Instituto de Geografía, UNAM. México. Pp. 121–144.

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO PREDESTETE DE CORDEROS Y DE LA OVEJA CON LACTANCIA CONTROLADA

Cintia Vanesa Martinez-Jeronimo[1], Erika Belem Castillo-Linares*[2] y Jorge Oliva-Hernández[2]

[1] Tesista. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), CIR Golfo Centro-Campo Experimental Huimanguillo.
*Autor para correspondencia: castillo.erika@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Crecimiento, ovinos de pelo, posparto, índice de Kleiber*

Introducción

El comportamiento productivo predestete de los corderos se determina convencionalmente mediante los pesos al nacimiento y al destete, y la ganancia diaria de peso; ambos, parámetros directos de crecimiento y eficiencia alimenticia, que se miden a través del tiempo. Debido en parte a que en los rebaños comerciales la alimentación de los corderos lactantes frecuentemente se realiza en grupo, se dificulta el estudio de los consumos de alimento y la conversión alimenticia individuales. Al respecto, el índice de Kleiber funciona como un indicador de la eficiencia del crecimiento animal, ya que relaciona la ganancia diaria de peso en proporción a cada kilogramo de peso metabólico$^{0.75}$ (Kleiber, 1947), sin necesidad de medir el consumo individual de alimento. En la etapa predestete de corderos Pelibuey, Blackbelly y sus cruces, no se ha reportado este índice; sin embargo, resulta importante porque es útil como un criterio de selección eficaz sobre la eficiencia alimentaria en sistemas de producción con bajos insumos (Mandal et al., 2015). En el caso de las ovejas en lactación, la eficiencia productiva se estima principalmente con el número y peso de los corderos, al nacimiento y al destete, y con el peso al parto de la oveja y el peso al final de la lactancia; en este último es común observar una reducción, atribuida al alto desgaste energético de la oveja asociado al parto y a la lactancia, y determinar la velocidad con la que ocurre esa reducción puede contribuir a proponer estrategias de alimentación que permitan minimizar la pérdida de peso en las ovejas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el índice de Kleiber en corderos Blackbelly x Pelibuey y la conversión alimenticia durante la etapa predestete, considerando la influencia del tipo de nacimiento; así como la velocidad a la que las ovejas pierden peso en un manejo de lactancia controlada, como alternativas para evaluar el comportamiento productivo.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en la Unidad Ovina del Campo Experimental Huimanguillo del INIFAP, en Huimanguillo, Tabasco, México. El municipio de Huimanguillo está localizado a 17°50' N, 93°23' O, a una altitud de 20 msnm. Se evaluaron diecisiete corderos Blackbelly x Pelibuey provenientes de partos simples y múltiples, durante la fase predestete. Así como el comportamiento del peso vivo de once ovejas durante su lactación.

Los corderos se mantuvieron en estabulación durante toda la lactancia. Su alimentación se basó en la lactancia controlada, con acceso a un complemento alimenticio comercial (15 % de proteína cruda) a partir de los cinco días de edad, y a heno de Cynodon plectostachyus y Gliricidia sepium (Jacq.) Walp a voluntad a partir del día 15. Durante la primera semana de vida, los corderos tuvieron acceso al amamantamiento las 24 horas. A partir de la segunda semana, se controló el acceso a la leche por un tiempo de seis horas (de 8:00 a 14:00 h), y posteriormente se incrementó a diez (de 8:00 a 18:00 h) hasta el final de la lactancia.

Las ovejas estuvieron en lactación durante 56 días y recibieron complemento alimenticio (500 g / animal / día, con un 15 % de proteína cruda) durante toda la lactancia. En la primera semana posparto, las ovejas permanecieron estabuladas con su camada, y recibieron heno de C. plectostachyus. En la segunda semana posparto, las ovejas salieron a pastar a una pradera con C. plectostachyus de 8:00 a 14:00 h; y el resto del día estuvieron con su camada y recibieron heno de

C. plectostachyus. A partir de la tercera semana posparto, las ovejas pastaron de 8:00 a 18:00. Las ovejas y los corderos tuvieron acceso a sal mineral.

En los corderos se consideró el tipo de nacimiento (sencillo o múltiple) como factor. Para evaluar el crecimiento en el período predestete, se utilizó el peso al nacimiento, el peso al destete, la ganancia de peso diaria predestete cada 7 días, y la tasa de crecimiento. En las ovejas, se utilizaron el tipo de parto, la velocidad de pérdida de peso y el peso al parto. Con los registros del peso vivo a los 56 días de los corderos (medidos a intervalos de 7 días), y considerando la influencia del tipo de nacimiento, se construyó una base de datos en Excel®. Se calculó la curva de crecimiento con el modelo Gompertz, y se estimaron los pesos de los corderos a los 63 y 70 días de edad. Se estimó el consumo de materia seca total y la energía neta total mediante las ecuaciones recomendadas por la National Research Council (NRC de ovinos, 2007). El índice de Kleiber del cordero se agrupó de acuerdo con el tipo de nacimiento, y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$B = GDP/M^{0.75}$$

Donde:
B= índice de Kleiber
GDP= Ganancia diaria de peso, kg
M= Peso vivo de los corderos, kg

Para calcular la conversión alimenticia de los corderos se empleó la siguiente formula:

$$C.A. = \frac{Consumo\ de\ materia\ seca\ estimado}{Ganancia\ de\ peso\ de\ los\ corderos}$$

Para analizar el comportamiento de la oveja durante su lactación, se pesaron las ovejas al parto y cada siete días hasta el destete de los corderos (56 días). Se elaboró una base datos agrupando el tipo de parto de la oveja, sencillo y múltiple. Para determinar la tasa o magnitud de decaimiento o pérdida de peso global durante la lactación, se aplicó una modelo no lineal de potencia, donde se generó un parámetro que indica la magnitud de la pérdida o decaimiento de peso. El modelo no lineal de potencia que se utilizó fue el siguiente.

$$Y = CX - D$$

Y= Peso de la oveja cada siete días, después del parto, kg
X= Tiempo en días a partir del parto hasta los 56 días
C= Peso al parto de la oveja, kg
D= Tasa o magnitud de decaimiento o pérdida de peso durante toda la lactancia, peso/tiempo o porcentaje

Resultados y discusión

El índice de Kleiber (IK) y la conversión alimenticia (CA) reflejaron la eficiencia alimenticia en los corderos. Los corderos provenientes de un nacimiento sencillo, el día 7 presentaron el valor de IK más alto, y una disminución gradual durante la etapa predestete (Cuadro 1).

Valores de IK más altos indican una mayor eficiencia metabólica. Por otro lado, los valores de CA para este estudio van de 2.3 a 9.0, y el comportamiento es inverso; es decir, a medida que el valor de este indicador crece, significa que la conversión alimenticia de los animales se reduce. Lo anterior refleja que los corderos de mayor edad, con valores de CA más altos, presentan una menor eficiencia (Figura 1).

Cuadro 3. Conversión alimenticia e índice de Kleiber en los 6 corderos de parto sencillo.

Parto Sencillo, 6 corderos						
Edad	Peso, Kg	GDP, Kg	NE Mcal/d	CMS total	C. A.	Índice Kleiber
0	3.07		0.130	0.108		
7	4.65	0.227	0.478	0.524	2.311	7.16E-02
14	6.37	0.246	0.638	0.704	2.866	6.12E-02
21	8.07	0.242	0.754	0.831	3.435	5.06E-02
28	9.63	0.223	0.817	0.894	4.011	4.08E-02
35	10.99	0.195	0.833	0.900	4.607	3.24E-02
42	12.15	0.165	0.816	0.868	5.248	2.54E-02
49	13.11	0.137	0.780	0.815	5.968	1.98E-02
56	13.88	0.111	0.738	0.754	6.809	1.54E-02
63	14.50	0.089	0.694	0.694	7.823	1.19E-02
70	15.00	0.070	0.652	0.637	9.041	9.25E-03

GDP= ganancia de peso, NE Mcal/d= energía neta para mantenimiento en Megacalorias por día, CMS Total= consumo de materia seca total, C. A.= conversión alimenticia.

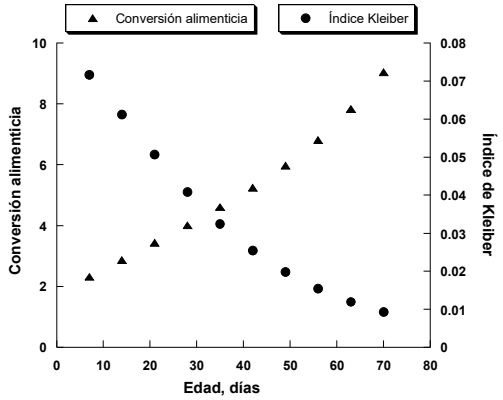


Figura 1. Conversión alimenticia e índice de Kleiber para corderos provenientes de nacimiento sencillo.

En los corderos de parto múltiple, la tendencia es similar de acuerdo con los valores de IK y de CA encontrados (Cuadro 2). En la Figura 2 se puede observar la caída del IK conforme el cordero crece; y el valor de la CA aumenta. Lo anterior significa que, para producir una unidad de peso, los corderos de más edad requieren mayores unidades de alimento, es decir, presentan una menor eficiencia. La influencia del tipo de nacimiento del cordero en el IK ha sido indicada en diferentes razas de corderos al momento del destete. Los corderos con 70 días de edad provenientes de un nacimiento sencillo presentan un menor IK con respecto a los múltiples, resultado que coincide con lo indicado en corderos al destete de las razas Nilagiri y Sandyno (Venkataramanan et al., 2016).
Sin embargo, en corderos Sangsari al destete (raza de cola grasa) el IK es mayor en los corderos de origen sencillo con relación a los múltiples (Jamshid, 2021). Al parecer las diferencias entre estudios pueden ser explicadas, no solo por el potencial de crecimiento, sino también por la influencia de la raza.

Cuadro 4. Conversión alimenticia e índice de Kleiber en los 11 corderos de parto múltiple.

Tipo Parto Múltiple, 11 corderos						
Edad	Peso	GDP	NE Mcal/d	CMS total	C. A.	Índice Kleiber
0	2.48		0.110	0.092		
7	3.71	0.177	0.347	0.372	2.106	6.60E-02
14	5.06	0.193	0.462	0.555	2.873	5.72E-02
21	6.42	0.193	0.553	0.664	3.434	4.79E-02
28	7.69	0.181	0.609	0.721	3.984	3.92E-02
35	8.82	0.162	0.633	0.733	4.536	3.16E-02
42	9.79	0.139	0.631	0.711	5.117	2.51E-02
49	10.61	0.117	0.615	0.672	5.763	1.98E-02
56	11.28	0.096	0.590	0.625	6.517	1.56E-02
63	11.82	0.078	0.563	0.578	7.427	1.22E-02
70	12.26	0.063	0.537	0.535	8.537	9.56E-03

GDP= ganancia de peso, Ne Mcal/d= energía neta para mantenimiento en Megacalorias por día, CMS Total= consumo de materia seca total, C. A.= conversión alimenticia.

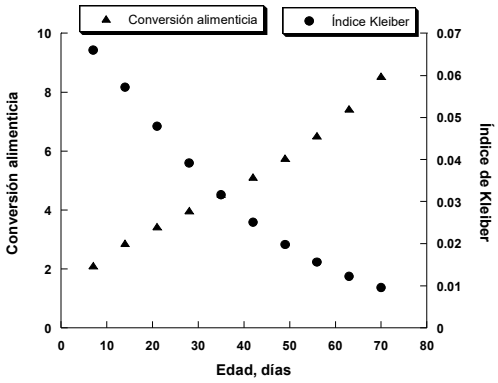


Figura 2. Conversión alimenticia e índice de Kleiber en 11 corderos de nacimiento múltiple.

El Cuadro 3 muestra la velocidad de pérdida de peso en la oveja desde el nacimiento del cordero hasta el final de la lactancia, utilizando el peso observable al parto como covariable. La velocidad de pérdida de peso no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de parto para esta variable (P >0.05). Tampoco hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto al peso estimado al parto (P >0.05). El VIF (factor de inflación de la varianza) indica que las variables no están correlacionadas.

Cuadro 5. Velocidad de pérdida de peso en la oveja desde el nacimiento del cordero hasta el destete, sin utilizar el peso al parto como covariable.

Variable Respuesta	Tipo de Parto de la oveja				
	Múltiple (5)		Sencillo (7)		
	Media	EEM	Media	EEM	VIF
Velocidad de pérdida	0.0466[a]	0.011	0.0552[a]	0.009	1.00
Peso estimado parto	43.06[a]	2.50	39.44[a]	2.11	1.00

Letras diferentes en las medias entre columnas son estadísticamente diferente p<0.05, prueba de medias por el método de Tukey. EEM= Error Estándar de la Media,

VIF=Valor de inflación de la varianza.

En la Figura 3 se compara el peso al parto observado y el peso al parto estimado con el modelo no lineal de la oveja. La ecuación de la recta es y = -0.33105 + 1.0284x, con un R^2 = 0.99587. El peso al parto es una variable importante en producción, ya que está relacionado con la eficiencia productiva de las ovejas durante la lactancia.

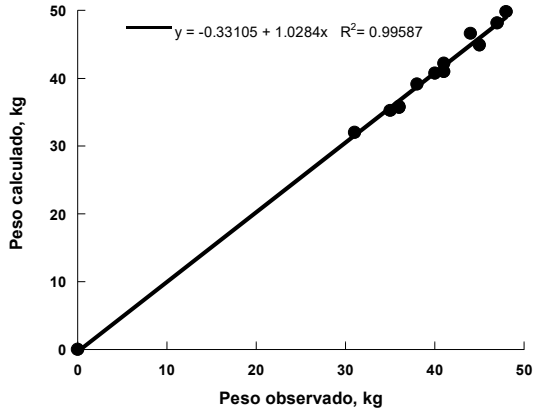


Figura 3. Peso al parto vs peso estimado de las ovejas durante lactación.

La Figura 4 muestra la tasa de pérdida de peso de las ovejas durante la lactación y compara el efecto del tipo de parto. En las ovejas de las razas Pelibuey y Katahdin con parto múltiple y alojadas en estabulación durante la lactancia, se indica una pérdida de peso de 0.06 kg por día (Chay-Canul et al., 2019) mayor que la registrada en las ovejas estudiadas. Además, en este estudio se identifica que ambos tipos de parto tienen una pérdida de peso acelerada durante los primeros 20 días posparto. En este caso, las ovejas que tuvieron un parto sencillo presentan una tasa de pérdida mayor que las que tuvieron un parto múltiple.

Ecuación de la oveja de parto sencillo durante la lactación.

$$Y = 39.44\, X^{-0.055}$$

Ecuación de la oveja de parto múltiple durante la lactación.

$$Y = 43.06\, X^{0.046}$$

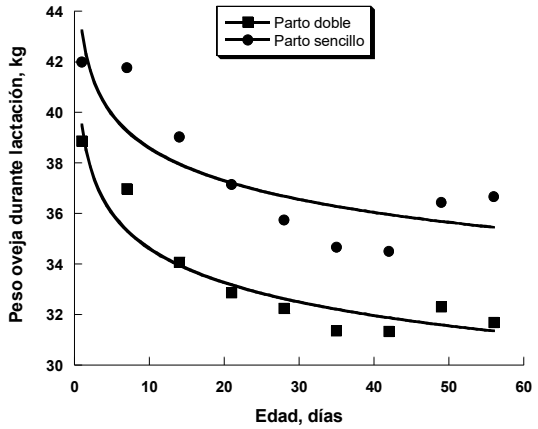


Figura 4. Tasa de perdida de peso en las ovejas durante la lactación, efecto tipo de parto.

Conclusiones

Bajo las condiciones de manejo alimenticio de este estudio, para los corderos Blackbelly x Pelibuey durante la etapa predestete, el comportamiento productivo reveló que, en lo que respecta al factor tipo de parto, los corderos que provienen de un parto sencillo adquieren mayor peso. La tendencia en los valores del índice de Kleiber y la conversión alimenticia a través de la lactancia de los corderos de parto múltiple y sencillo, es similar. Los corderos alimentados bajo este sistema tienen una buena eficiencia alimenticia. El valor máximo del índice de Kleiber se observó en las semanas posteriores al nacimiento y disminuyó a medida que los corderos crecían, lo que indica indirectamente una menor eficiencia de conversión alimenticia en los corderos de mayor edad. Las ovejas que tuvieron un parto sencillo durante la lactación presentan una mayor pérdida de peso en comparación con las que tuvieron un parto múltiple.

Referencias bibliográficas

Chay-Canul, A. J., García-Herrera, R. A., Magaña-Monforte, J. G., Macias-Cruz, U., & Luna-Palomera, C. (2019). Productividad de ovejas Pelibuey y Katahdin en el trópico húmedo. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(16), 159–165. https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1872.

Jamshid, E. (2021). Estimates of (co)variance components and genetic parameters for pre-weaning body weight traits and Kleiber ratio in Sangsari sheep breed. Italian Journal of Animal Science, 20(1), 918–927. https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1908860.

Kleiber, M. (1947). Body size and metabolic rate. Physiological Reviews, 27(4), 511–541. https://doi.org/10.1152/physrev.1947.27.4.511.

Mandal, A., Karunakaran, M., Sharma, D. K., Baneh, H., & Rout, P. K. (2015). Variance components and genetic parameters of growth traits and Kleiber ratio in Muzaffarnagari sheep. Small Ruminant Research, 132, 79–85. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.10.009.

NRC (National Research Council). (2007). Sheeps, goats, cervids and new world camelids. In Nutrient Requeriments of Small Ruminants (pp. 244–270). The National Academy Press.

Venkataramanan, R., Subramanian, A., Sivaselvam, S. N., Sivakumar, T., & Sreekumar, C. (2016). Genetic parameters for Kleiber ratio and its relation to other body weight traits in Nilagiri and Sandyno sheep. Indian Journal of Animal Sciences, 86(5), 559–563. https://doi.org/10.56093/ijans.v86i5.58492.

CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA Y RENTABILIDAD DE UN SISTEMA AGROPECUARIO INTEGRADO EN HUIMANGUILLO, TABASCO

Virgilio Briceño Romero[1], Carlos Luna-Palomera[1]*, Noel M. Maldonado-García[1] y Nadia Florencia-Ojeda-Robertos[1]

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias, Villahermosa, Tabasco, México
*Autor para correspondencia: carlos.luna@ujat.mx

Palabras clave. *Diversificación productiva, resiliencia, sistema agropecuario familiar, trópico húmedo.*

Introducción

Los sistemas agropecuarios integrados combinan actividades agrícolas, pecuarias y forestales y pueden favorecer la diversificación de ingresos, el aprovechamiento de recursos locales y la resiliencia de las unidades familiares. Estos sistemas combinan la producción agrícola y pecuaria dentro de una misma unidad de producción, favoreciendo interacciones ecológicas y económicas que permiten optimizar el uso de recursos, reciclar nutrientes y diversificar las fuentes de ingreso de los productores (Sekaran et al., 2021; Srivastava et al., 2025). En el trópico húmedo mexicano, los sistemas de pequeña escala presentan una marcada heterogeneidad en el uso de recursos, manejo alimenticio, adopción tecnológica y organización productiva, mientras que existe información limitada sobre su nivel de transición agroecológica y viabilidad económica (Rangel et al., 2020). Los sistemas agropecuarios diversificados, particularmente en el estado de Tabasco, suelen mantener actividades agrícolas, forestales y pecuarias dentro de una misma unidad de producción; sin embargo, la información relacionada con su integración y funcionamiento agroecológico, aprovechamiento de recursos y viabilidad económica continúa siendo escasa y poco documentada (Jácome 2022; Juárez-García et al., 2025). El objetivo fue determinar el nivel de manejo agroecológico y la rentabilidad de un sistema de producción agropecuario integrado bajo condiciones de trópico húmedo en Huimanguillo, Tabasco, México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en una unidad de producción de 12 ha ubicada en Huimanguillo, Tabasco (17°36′41″ N, 93°25′06″ O; 35.3 msnm), bajo clima tropical húmedo. El uso del suelo comprendió aproximadamente 7.5 ha de pastoreo bovino, 0.25 ha de girasol mexicano (Tithonia diversifolia), 2.75 ha de cacao (Theobroma cacao L.), 0.75 ha de frutales y 0.5 ha de vegetación arbórea y captación acuífera. El componente pecuario estuvo integrado por 25 vacas cruzadas Pardo Suizo × Brahman o Sardo Negro, dos vaquillas y un semental Senepol × Romosinuano; el manejo se realizó mediante pastoreo rotacional, suplementación estratégica y suministro de ensilado de girasol mexicano durante periodos de baja disponibilidad forrajera.
La evaluación agroecológica se efectuó en diciembre de 2025 mediante TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation) y el componente CAET (Characterization of Agroecological Transition), con base en los diez elementos de la agroecología. Cada indicador se calificó en una escala ordinal de 0 a 4 y el índice global correspondió al promedio de los diez elementos (FAO, 2019). Se consideró ≤50% como sistema no agroecológico, 51–70% como sistema en transición y >70% como sistema agroecológico avanzado. La evaluación económica utilizó registros técnicos y financieros de 2024 y 2025; se estimaron costos totales, ingresos totales, utilidad neta, relación beneficio: costo (RBC), rentabilidad y costo de producción del kilogramo de carne (Luna-Palomera 2023). No se empleó diseño experimental ni análisis estadístico inferencial, debido a que se trató de un estudio de caso de una unidad de producción.

Resultados y discusión

La unidad de producción obtuvo un índice global CAET de 71.15%, correspondiente a un sistema agroecológico avanzado. Los mayores valores se observaron en diversidad (87.50%), resiliencia (84.38%), sinergia (75.00%), cultura y tradiciones alimentarias (75.00%), valores humanos y sociales (75.00%) y gobernanza responsable (75.00%). Las principales áreas de oportunidad fueron eficiencia (50.00%), reciclaje (56.25%), economía circular y solidaridad (66.67%) y co-creación e intercambio de conocimientos (66.67%). La elevada diversidad y las sinergias reflejan la integración de bovinos, cacao, frutales, especies arbóreas y forraje multipropósito, mientras que los menores valores de reciclaje y eficiencia indican posibilidades de incrementar el aprovechamiento interno de biomasa y reducir la dependencia de insumos externos (Vall et al., 2023).
En 2024 los costos totales fueron de $202,067.64 y aumentaron a $296,559.00 en 2025. La mano de obra fue el principal componente del costo, con 48.10 y 36.70%, respectivamente; la renta de pastura representó 29.69 y 21.92%. Los ingresos totales aumentaron de $439,712.50 en 2024 a $547,344.00 en 2025, un incremento de 24.48%. La venta de becerros constituyó la principal fuente de ingresos (56.11 y 52.75%), seguida del cacao seco y verde (32.75 y 36.82%). La utilidad neta fue positiva en ambos años, con $237,644.86 y $250,785.00.
La RBC fue de 2.18 en 2024 y 1.85 en 2025, mientras que la rentabilidad fue de 54.00 y 45.82%. Aunque la rentabilidad disminuyó, el sistema mantuvo resultados económicos favorables. El costo de producción del kilogramo de carne aumentó de $24.10 a $30.30, pero el precio de venta del kilogramo de becerro pasó de $54.00 a $68.72. En conjunto, la diversificación permitió combinar ingresos pecuarios y agrícolas y contribuyó a amortiguar la variabilidad de costos y precios. Los resultados son congruentes con el enfoque de TAPE, que considera la diversidad, las sinergias y la resiliencia como dimensiones relevantes para valorar la transición agroecológica (Mottet et al, 2020).

Cuadro 1. Indicadores agroecológicos y económicos de la unidad de producción.

Indicador	2024	2025
Índice global CAET (%)	-	71.15*
Costos totales ($ Mx)	202,067.64	296,559.00
Ingresos totales ($ Mx)	439,712.50	547,344.00
Utilidad neta ($ Mx)	237,644.86	250,785.00
RBC	2.18	1.85
Rentabilidad (%)	54.00	45.82
Costo kg de carne ($ Mx)	24.10	30.30

* El CAET fue evaluado una sola vez, en diciembre de 2025; por ello, el valor de 71.15% no constituye una medición anual para 2024.

La diversificación sólo produce resultados tangibles cuando interactúan y se refuerzan todos los niveles del sistema, desde cultivo y finca hasta gobernanza y sistema alimentario. La diversificación del entorno tiende a mejorar la sostenibilidad agrícola al favorecer la integración de ecosistemas, al tiempo que mantienen los rendimientos (Beillouin *et al*., 2021). Otros beneficios tangibles de la integración y diversificación de los sistemas incluyen el incremento en la polinización, el control de plagas, la calidad del suelo y la regulación hídrica, además de la reducción de la dependencia de insumos sintéticos, tales como fertilizantes, sin comprometer los rendimientos (Beillouin *et al*., 2021, Sridhar *et al*., 2026). Asimismo, la evidencia a largo plazo sugiere mejoras en la rentabilidad, la biodiversidad, la calidad del suelo y la captura de carbono, con múltiples beneficios tanto para la productividad como para los servicios ecosistémicos (Raveloaritiana & Wanger, 2026).

Conclusiones

La unidad de producción presentó un nivel agroecológico avanzado sustentado principalmente por su diversidad, resiliencia y sinergias entre los componentes pecuario, agrícola y forestal. La actividad bovina y la producción de cacao fueron las principales fuentes de ingreso y permitieron mantener

una rentabilidad positiva en 2024 y 2025, aun con un incremento de los costos de producción. El fortalecimiento del reciclaje de biomasa, la eficiencia en el uso de recursos, la economía circular y el intercambio de conocimientos representan oportunidades para profundizar la transición agroecológica y mejorar la funcionalidad del sistema.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la unidad de producción y a las familias participantes.

Referencias bibliográficas

Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., & Makowski, D. (2021). Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. Global Change Biology, 27, 4697–4710. https://doi.org/10.1111/gcb.15747.

FAO. (2019). TAPE: Tool for Agroecology Performance Evaluation—2019 process of development and guidelines for application. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Jácome, A. G. (2022). Traditional Mexican agriculture: a basis for sustainable agroecological systems. First edition CRC Press, Florida, USA.

Juárez-García, A., Schmook, B. I., Gerritsen, P. R., Fernández, A. C., & Van Der Wal, J. C. (2025). Agricultura familiar y transformaciones socioproductivas en el sistema rural-urbano del municipio de Centro, Tabasco, en el sur de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, *22*. https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr22.afts.

Luna-Palomera, C., Sánchez-Romero, D., Cervantes-Hernández, R., Maldonado-García, N. M., Orlanzzini Rodríguez, J. E., & Cano-Ascencio, L. (2023). Productive performance and economic analysis of intensive fattening of lambs treated with injectable zeranol and androgens under tropical conditions. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 34(2), e23474.

Mottet, A., Bicksler, A., Lucantoni, D., De Rosa, F., Scherf, B., Scopel, E., et al. (2020). Assessing transitions to sustainable agricultural and food systems: A tool for agroecology performance evaluation (TAPE). Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 579154.

Rangel, J., Perea, J., De-Pablos-Heredero, C., Espinosa-García, J. A., Mujica, P. T., Feijoo, M., Barba, C., & García, A. (2020). Structural and technological characterization of tropical smallholder farms of dual-purpose cattle in Mexico. Animals, 10(1), 86.

Raveloaritiana, E., & Wanger, T. (2026). Long-term agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services: a second-order meta-analysis. *Nature Communications, 17*. https://doi.org/10.1038/s41467-025-67757-7.

Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D. A., Kumar, S., & Clay, S. (2021). Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security–A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *5*, 100190.

Srivastava, A. K., Rahimi, J., Alsafadi, K., Vianna, M., Enders, A., Zheng, W., ... & Gaiser, T. (2025). Modelling mixed crop-livestock systems and climate impact assessment in sub-Saharan Africa. *Scientific Reports*, *15*(1), 1399.

Sridhar, R., Longkumer, L., Pilla, A., Bharteey, P. K., Jatav, H., Hareesh, D., Vilakar, K., Singh, A. P., Srikar, K., Aruna, K., & Reddy, M. P. S. (2026). Diverse fields for stronger yields: crop diversification strategies for sustainable agriculture and climate-resilient ecosystems. *Frontiers in Agronomy*. https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1746895

Vall, E., Orounladji, B. M., Berre, D., Assouma, M. H., Dabiré, D., Sanogo, S., & Sib, O. (2023). Crop-livestock synergies and by-products recycling: major factors for agroecology in West African agro-sylvo-pastoral systems. Agronomy for Sustainable Development, 43(5), 70.

MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES

PRIORIZACIÓN DE CUENCAS DE MORELOS MEDIANTE ÍNDICES DE EROSIÓN, PRODUCCIÓN HÍDRICA, AGRICULTURA Y CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA

Walter López Báez[1]*, Alma Liz Vargas de la Mora[1], Ignacio Sánchez Cohen[2] y Sergio Esquivel Arriaga[2]

[1]Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP, 2 CENID-RASPA, INIFAP
*Autor para correspondencia: lopez.walter@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Deterioro, inversiones, política, pública*

Introducción

Con una superficie de 487,900 hectáreas, el estado de Morelos presenta una elevada heterogeneidad fisiográfica con gradientes altitudinales importantes que generan diferencias significativas en precipitación, escurrimiento, erosión y uso del suelo. La entidad se caracteriza por una importante actividad agrícola (240,437 ha) basada en sistemas de riego (55,079 ha) y temporal, cuya productividad depende directamente de los servicios hidrológicos generados por las zonas de cabecera de las cuencas. Sin embargo, el deterioro de las cuencas ha generado conflicto por la disponibilidad de agua para la agricultura de riego, erosión de los suelos y desastres por inundaciones, entre otros, los cuales representan grandes desafíos en el suministro de agua, producción de alimentos, conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y protección civil. Se requiere iniciar un proceso de restauración de las cuencas, pero no existe información para orientar las acciones de intervención de manera eficiente. Este estudio tuvo como objetivo desarrollar y comparar índices de priorización hidrológica que integran degradación, producción hídrica, agricultura y conectividad hidrológica, buscando identificar microcuencas estratégicas de conservación y dónde una intervención podría generar mayores beneficios en cascada.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en las 8 subcuencas (Apatlaco, Yuatepec, Cuautla, Nexapa, Bajo Amacuzac, Alto Amacuzac y Coatlán) que en conjunto ocupan la totalidad de la superficie del estado de Morelos. Cada subcuenca se dividió en microcuencas utilizando el nivel 12 de la clasificación HydroBASINS (HydroSHEDS, 2026) para hacer un total de 55 microcuencas (figura 1).

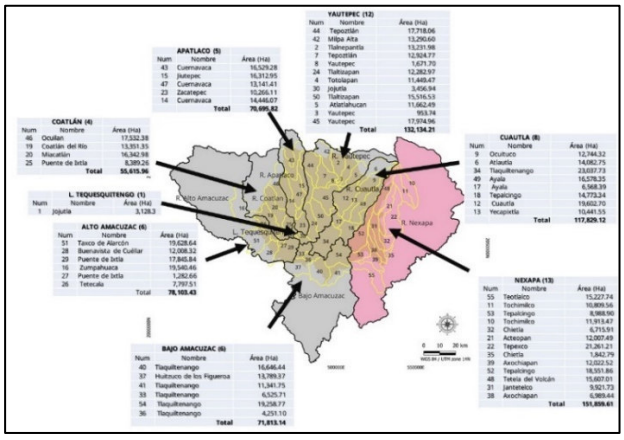


Figura 1. Subcuencas y microcuencas del estado de Morelos

Se construyeron tres índices para priorizar las subcuencas y microcuencas:

IPH (Índice de prioridad hidrológica): Clasifica en función de su producción de agua y de sedimentos. Responde la Pregunta: ¿Dónde están los procesos hidrológicos más importantes?
IPCH (Índice de prioridad para la conservación hidrológica): Es el IPH y su relación con la agricultura. Responde a la pregunta: ¿Dónde la conservación protege más actividad productiva?
IPCH-C (Índice de prioridad para la conservación hidrológica ajustado con efecto de cascada): Es el IPCH ajustada por la conectividad hidrológica o efecto de cascada. Responde a la pregunta: ¿Dónde una intervención genera el mayor beneficio acumulado en la subcuenca?
Los indicadores y sus ponderaciones usadas en el cálculo de los índices se muestran en la Cuadro 1. La información de los indicadores para las 55 microcuencas se obtuvo de la Aplicación Computacional para el Uso y Análisis de Agua en Cuencas Hidrológicas desarrollada por Sánchez, et al., (2025). Debido a que las variables presentaban diferentes escalas y unidades de medición, se aplicó una normalización de las mismas, de acuerdo a lo señalado por Jha, et al., (2010).

Cuadro 1. Indicadores y su ponderación utilizados para construir los índices.

Indicador	Unidad	Ponderación por índice (%)		
		IPH	IPCH	IPCH-C
Erosión total (ET)	t/año	30	25	25
Erosión específica (EE)	t/ha	20	15	15
Escurrimiento (E)	m³	30	25	25
Relación erosión-escurrimiento (RE)	t/m³	20	10	10
Agricultura de riego (AR)	Ha	—	15	15
Agricultura total (AT)	Ha	—	10	10
Índice de Influencia en Cascada (IIC)	N. A	—	—	Multiplicador IPCH × IIC

La formulación general fue:
IPH= 0.30ETn + 0.20EEn + 0.30En + 0.20REn
IPCH= 0.25ETn + 0.15EEn + 0.25En + 0.10REn + 0.15ARn + 0.10ATn
IPCH-C= IPCH * IIC

El IIC introduce conectividad hidrológica dentro del proceso de priorización. Representa la fracción del área total drenada de la subcuenca, que es drenada por una microcuenca a través de la red de drenaje. Por definición 0 ≤ IIC ≤ 1, los valores cercanos a 1 indican elevada influencia territorial.
La ET y el E recibieron la mayor ponderación debido a que representan los procesos de mayor relevancia para la degradación y la producción hídrica. La EE permite identificar áreas con alta intensidad erosiva independientemente de su tamaño. La RE representa la eficiencia con la que una microcuenca transforma el flujo hídrico en pérdida de suelo. La incorporación de AR y AT en el IPCH, responde a la necesidad de reconocer que los procesos hidrológicos tienen implicaciones directas sobre la producción agropecuaria; bajo este enfoque, una microcuenca adquiere relevancia no sólo por su degradación, sino también por la magnitud de la actividad agrícola que depende de los servicios hidrológicos que genera. Por último, el IIC integra explícitamente relaciones aguas arriba–aguas abajo. Los valores de IPH, IPCH e IPCH-C fueron clasificados mediante el método de Rupturas Naturales de Jenks (Jenks, 1967). Se evaluó el grado de similitud entre los índices a través de un análisis de correlación de Pearson (r).

Resultados y discusión

La Cuadro 2 muestra los valores promedios de los tres índices a nivel de subcuenca.

Cuadro 2. Resultados de los índices a nivel de subcuenca.

Subcuenca	Microcuencas	Valores promedios			IPCH-C máximo	Microcuencas Críticas*	Prioridad
		IPH	IPCH	IPCH-C			
R. Apatlaco	4	50.5	47.5	12.8	22.07	2	Muy alta
R. Cuautla	10	30.0	34.2	12.6	29.68	3	Muy alta
R. Yautepec	12	22.8	23.4	8.7	15.33	1	Alta
R. Coatlán	4	17.5	21.2	7.5	10.26	0	Media
R. Alto Amacuzac	7	14.4	13.5	6.5	10.58	0	Media
R. Nexapa	12	23.7	24.5	3.8	14.97	1	Media
R. Bajo Amacuzac	5	8.6	6.6	3.0	4.93	0	Baja
L. Tequesquitengo	1	13.7	10.9	10.9	10.91	0	Local

(*) Corresponde a las microcuencas clasificadas como Alto o Muy alto en IPCH-C (IPCH-C > 13.70).

IPH (Índice de prioridad hidrológica): Identificó a la subcuenca Río Apatlaco con la mayor intensidad de procesos erosivos e hidrológicos, asociada principalmente a los sistemas urbanos de Jiutepec y Cuernavaca, superando ampliamente al resto de las subcuencas. Desde una perspectiva convencional de manejo de cuencas, estos resultados indicarían que esta subcuenca sería la principal prioridad para conservación. Las microcuencas con mayores valores de IPH se presentan en el cuadro 3 y figura 2. La primera columna del cuadro es el numero con el cual la microcuenca se ubica en el mapa de la figura 1)

Cuadro 3. Microcuencas prioritarias de acuerdo al IPH.

Núm	Microcuenca	ET (t/año)	EE (t/ha)	E (m^3)	RE (t/m^3)	IPH	
						Valor	Clase
47	Cuernavaca1	314,465.00	24.01	54,421.20	5.78	80.51	Muy alto
15	Jiutepec	311,870.00	19.18	70,765.59	4.41	74.59	Muy alto
12	Cuautla	255,554.00	13.08	72,263.40	3.54	61.19	Muy alto
10	Tochimilco	153,427.00	12.92	50,379.68	3.05	45.06	Alto
48	Tetela del Volcán	107,076.00	6.88	122,277.82	0.88	42.34	Alto
22	Tepexco	67,941.00	3.21	150,580.37	0.45	39.67	Alto
6	Atlautla	104,022.00	7.41	99,029.88	1.05	38.4	Alto
43	Cuernavaca	124,161.00	7.54	73,350.34	1.69	37.51	Alto
3	Yautepec	19,173.00	20.17	3,515.87	5.45	37.37	Alto
11	Tochimilco1	99,407.00	9.23	68,217.00	1.46	34.71	Alto

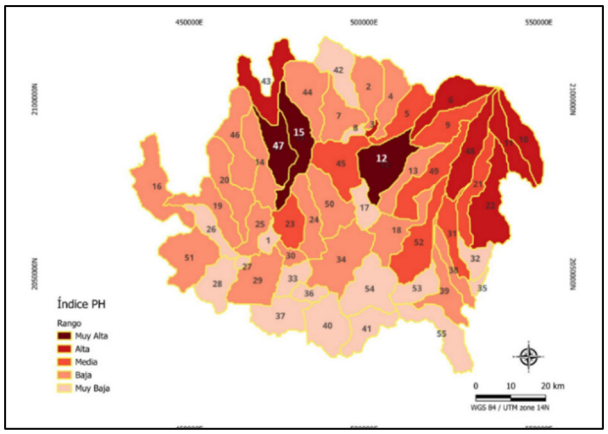


Figura 2. Clasificación de las microcuencas por IPH.

IPCH (Índice de prioridad para la conservación hidrológica): A nivel de subcuenca, no hubo diferencia entre IPH e IPCH indicando que la estructura general de priorización continúa dominada por procesos hidrológicos (cuadro 2). Sin embargo, algunas microcuencas incrementaron significativamente su importancia al concentrar superficies agrícolas importantes que dependen

fuertemente de los servicios hidrológicos generados en las partes altas de la cuenca (cuadro 4 y figura 3).

Cuadro 4. Microcuencas prioritarias de acuerdo al IPCH.

Núm	Microcuenca	Total agricultura (ha)	Agricultura de Riego (ha)	IPCH	
				Valor	Clase
12	Cuautla	9781.21	5268.68	71.08	Muy alto
47	Cuernavaca1	1671.68	1139.69	63.71	Muy alto
15	Jiutepec	1945.35	322.1	58.69	Muy alto
48	Tetela del Volcán	5219.45	674.23	41.21	Alto
52	Tepalcingo1	8183.36	2583.69	38.97	Alto
49	Ayala1	9082.87	1539.64	38.41	Alto
23	Zacatepec	4431.08	3766.82	36.8	Alto
45	Yautepec2	5037.05	2865.17	35.32	Alto
18	Tepalcingo	5887.75	4489.62	34.6	Alto
5	Atlatlahucan	3597.16	2970.97	33.25	Alto
10	Tochimilco	0	0	33.23	Alto
24	Tlaltizapan	4160.47	4127.47	32.9	Alto
22	Tepexco	0	0	32.49	Alto
6	Atlautla	1485.79	126.26	32.3	Alto
31	Jantetelco	5831.43	2548.5	31.82	Alto

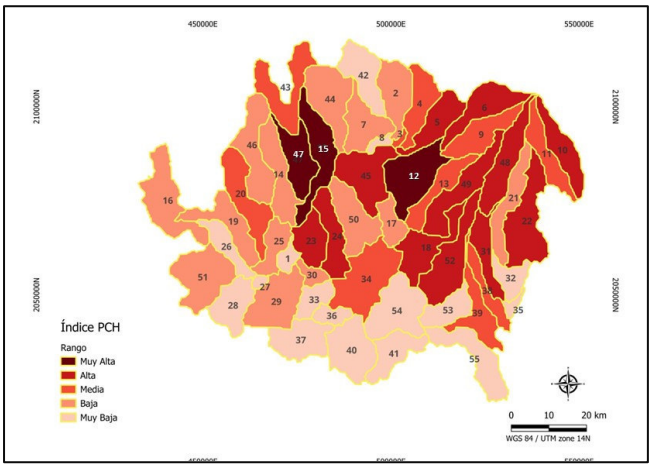


Figura 3. Clasificación de las microcuencas por IPCH

IPCH-C (Índice de prioridad para la conservación hidrológica ajustado con efecto de cascada): La figura 4 muestra una clasificación de las microcuencas por su nivel de conectividad aguas abajo dentro de la red de drenaje de cada subcuenca. Los colores más claros son las microcuencas ubicadas en las zonas de cabeceras, que son aportadores de agua y sedimentos para las microcuencas ubicadas aguas abajo; estas microcuencas al tener mayor conectividad aguas abajo, controlan la propagación de agua, sedimentos y nutrientes (Borselli et al., 2008; Bracken et al., 2013). En el cuadro 5 se muestran los datos del área drenada para cada microcuenca prioritarias según el IPCH-C.

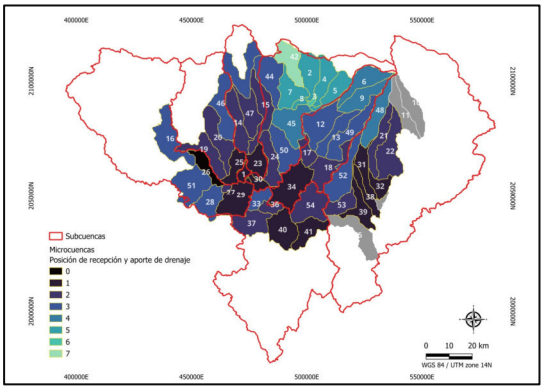


Figura 4. Clasificación de las microcuencas por su conectividad aguas abajo

El IPCH-C, modificó sustancialmente la priorización. A nivel de subcuenca (cuadro 2), Río Apatlaco dejó de ocupar el primer lugar y Río Cuautla pasó a ocupar la máxima prioridad al registrar el mayor valor máximo del índice (29.7), al presentar alta degradación hidrológica, importancia agrícola y elevada conectividad. R. Yautepec posee alta conectividad y microcuencas con impactos intermedios, mientras que R. Bajo Amacuzac muestra la menor propagación regional de impactos. A nivel de microcuencas (Cuadro 5 y figura 4), la subcuenca del R. Cuautla concentra los principales nodos del efecto de cascada regional a través de las microcuencas Cuautla, Ayala1 y Atlautla con clase muy alta y alta de IPCH-C. En la subcuenca R. Apatlaco, el patrón está dominado por impactos urbanos con alta propagación aguas abajo a través de las microcuencas Jiutepec, Cuernavaca1 con clase alta. Por su parte la subcuenca R. Yautepec presenta una red altamente conectada, con varios nodos de propagación intermedia a través de las microcuencas Atlatlahucan, Yautepec 2 y Totolapan con valores de 15.33, 13.2 y 12.9. En R. Nexapa aunque existen microcuencas con altos impactos locales como Tetela del Volcan y Tepalcingo 1, con valores de 15 y 10.1, la propagación regional es limitada.

Cuadro 5. Microcuencas prioritarias de acuerdo al IPCH-C

Núm	Microcuenca	Subcuenca	IPCH-C		
			Valor	Clase	Área drenada (ha)
12	Cuautla	Cuautla	29.68	Muy alto	49,208.82
15	Jiutepec	Apatlaco	22.07	Alto	26,579.06
47	Cuernavaca1	Apatlaco	21.09	Alto	23,407.51
49	Ayala1	Cuautla	17.73	Alto	54,389.42
6	Atlautla	Cuautla	17.35	Alto	63,291.57
43	Cuernavaca	Apatlaco	17.20	Alto	39,936.79
5	Atlatlahucan	Yautepec	15.33	Alto	60,893.89
48	Tetela del Volcán	Nexapa	14.97	Alto	55,170.29

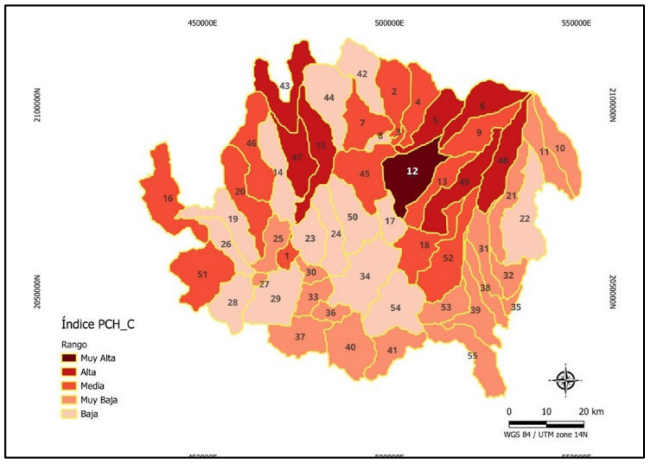


Figura 4. Clasificación de las microcuencas por IPCH-C

Conclusiones

La incorporación progresiva de agricultura y conectividad modifica significativamente la priorización de las microcuencas. Mientras el IPH identifica áreas con alta degradación local, el IPCH-C permite reconocer unidades estratégicas capaces de generar beneficios hidrológicos y productivos a escala regional. Las microcuencas de cabecera mostraron una importancia estratégica superior a la sugerida por los indicadores tradicionales de erosión y escurrimiento. En consecuencia, la conectividad hidrológica debe considerarse un criterio fundamental para la conservación, restauración y planificación territorial de cuencas agrícolas.

El IPCH-C al combinar mayor degradación, conectividad hidrológica y superficie agrícola influenciada aguas abajo, resulta más adecuado para identificar áreas prioritarias de intervención desde una perspectiva de manejo integrado de cuencas y maximización de beneficios hidrológicos en cascada.

Referencias bibliográgicas

Hydrosheds. 2026. Hidrocuencasa. https://www.hydrosheds.org/products/hydrobasins

Jenks, G.F. (1967). *The Data Model Concept in Statistical Mapping*. International Yearbook of Cartography, 7, 186–190.

Jha, M.K., Chowdary, V.M. & Chowdhury, A. (2010). Watershed prioritization using morphometric and land use analysis. *Environmental Earth Sciences*, 59, 239-250.

Sánchez, C. I., Jiménez, J. S. I., Inzunza, M. A. I., Díaz. P. G., Guajardo, R. A. P., & López, B. W. (2025). Toma de decisiones en cuencas. Aplicación computacional para el uso y análisis de agua en cuencas hidrológicas. Memoria 60ª reunión científica. Pp. 2039-2043.

Zhang, Y., et al. (2021). Hydrological connectivity and watershed management. Journal of Hydrology.

MODELOS DE CRECIMIENTO E INCREMENTO PARA *Bursera simaruba* (L.) SARG. EN EL SUR DE QUINTANA ROO, MÉXICO

Xavier García-Cuevas[1*], Ramiro Puc-Kahuil[2], Jonathan Hernández-Ramos[3] y Gerardo Lagunes-Rodríguez[4]

[1*]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Chetumal (INIFAP). Km 25 Carretera Chetumal-Bacalar 77930, Xul-ha, Quintana Roo, México. [2]Tecnológico Nacional de México (TECNM)-Instituto Tecnológico de Venustiano Carranza, Puebla, Av. Tecnológico S/N, Col. El Huasteco, Ciudad Lázaro Cárdenas C.P. 73049, Venustiano Carranza, Puebla, México. [3]INIFAP-Campo Experimental Bajío, km. 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, C.P. 38010, Celaya, Guanajuato, México. [4]TECNM-Instituto Tecnológico de Chetumal. Av. Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México.
*Autor de correspondência: garcia.xavier@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Regresión, cronosecuencia, alometría.*

Introducción

Los estudios del crecimiento e incremento de los árboles y especies forestales son fundamentales para determinar su manejo, asegurar la sostenibilidad y preservación del recurso. *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (chakah). Esta especie es una de las más abundantes y ampliamente distribuidas de las selvas tropicales de Quintana Roo, México, de la que existen estudios taxonómicos, ecológicos, fenológicos y de regeneración, pero investigaciones para la determinación del crecimiento e incremento son escasos (Hernández-Ramos et al, 2021).
Desde la época prehispánica, colonial y actual, el chaka fue y es aprovechado por las comunidades rurales como fuente de madera para construcción, elaboración de postes, cercas, viviendas tradicionales, artesanías y combustible doméstico. Su corteza y resina son utilizadas en la medicina tradicional para afecciones cutáneas e inflamaciones, por lo que, la especie forma parte de la economía de subsistencia en Quintana Roo, México. También se utiliza como tutor para producción de pitahaya y cercas vivas y sistemas agroforestales.
Por su parte, la madera de *Bursera simaruba* actualmente se utiliza en carpintería rural, fabricación de muebles rústicos, tarimas y embalajes. Aunque su precio de mercado es menor que el de la caoba u otras especies duras, su abundancia y disponibilidad permiten obtener volúmenes comerciales significativos y complementar la economía forestal regional. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es modelar el crecimiento e incremento en variables dasométricas en rodales naturales de *Bursera simaruba* en Quintana Roo, México.

Materiales y métodos

Este estudio se realizó en los ejidos de Blanca Flor, Buena Fe y en el Sitio Experimental San Felipe Bacalar del INIFAP, en el Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México, entre las coordenadas, 18° 40′ 37″ L.N. y 88° 23′ 43″ L.W., a una altitud promedio de 10 m. La topografía del terreno es casi plana y los suelos son Gleysol (Sabana), Vertisol (Ak´alché), Litosol (Tsek'el), Luvisol crómico (K´ankab), Vertisol pélico (Yax-hoom) y Rendzina (Kakab). La vegetación predominante de la región es la selva mediana subperennifolia con una altura del dosel de 15 a 25 m.
Se muestrearon 15 sitios de forma rectangular de 500 m^2) en cinco rodales de vegetación secundaria bajo un enfoque de cronosecuencias conformada por edades de siete, 15, 25, 35, 46 y 51 años. La edad se determinó mediante entrevistas con los propietarios de cada predio. En cada rodal seleccionado, se establecieron tres sitios permanentes con superficies de 500 m^2 y en cada uno dos sitios anidados de 100, 200 m^2 para edades de 7-15, 25-35 y >46 años, respectivamente. La colecta de datos de individuos juveniles ($2.5 \geq dn \leq 7.5$ cm) se realizó en subsitios de 9 m^2 (3 m x 3 m) anidados en cada una de los sitios. A cada uno de los individuos se le midieron su dn (1.30 m sobre

el nivel del suelo) en cm con una cinta diamétrica y la altura total en metros se obtuvo con una vara telescópica graduada en cm.

El ajuste de las ecuaciones no lineales (Cuadro 1) se realizó con el procedimiento *Gauss-Newton* (con derivadas parciales) del paquete estadístico SAS 9.0 (Statistical Analysis System, 1992). Los valores iniciales de los parámetros, se asignaron con base en los resultados obtenidos para otras especies. La selección de las mejores ecuaciones, se realizó con base en la significancia del modelo (α = 0.01), el cuadrado medio del error (CME), la raíz del cuadrado medio del error (*RCME*), el coeficiente de determinación (R^2) y la distribución de residuales. En cuanto a las medidas de precisión de las estimaciones realizadas en cada una de las ecuaciones seleccionadas, se estimó el sesgo ($\bar{E}$), mismo que indica la desviación de los valores predichos con respecto de los observados (Santiago-García et al., 2020).

Cuadro 1. Modelos matemáticos analizados para predecir variables de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (chacah) en Quintana Roo, México.

Modelo	Expresión integral	Expresión diferencial
Alométrico	$y = \beta_0 E^{\beta_1}$	$y' = \beta_0 \beta_1 E^{\beta_1 - 1}$
Schumacher	$y = \beta_0 e^{-\beta_1 / E}$	$y' = \beta_0 e^{-\beta_1 / E}$
Gompertz	$y = e^{\beta_0 - \beta_1 e^{-\beta_2 E}}$	$y' = \beta_1 \beta_2 e^{\beta_0 - \beta_2 E - \beta_1 e^{-\beta_2 E}}$
Hossfeld IV	$y = \frac{E^{\beta_2}}{\beta_0 + \beta_1 E^{\beta_2}}$	$y' = \frac{\beta_0 \beta_2 E^{\beta_2 - 1}}{(\beta_0 + \beta_1 E^{\beta_2})^2}$
Weber	$y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 E})$	$y' = \beta_0 \beta_1 (e^{-\beta_1 E})$

y= variable a ajustar, y´: derivada del modelo, β´s: parámetros a ser ajustados, E: edad (años).

Resultados y discusión

Estadísticos básicos

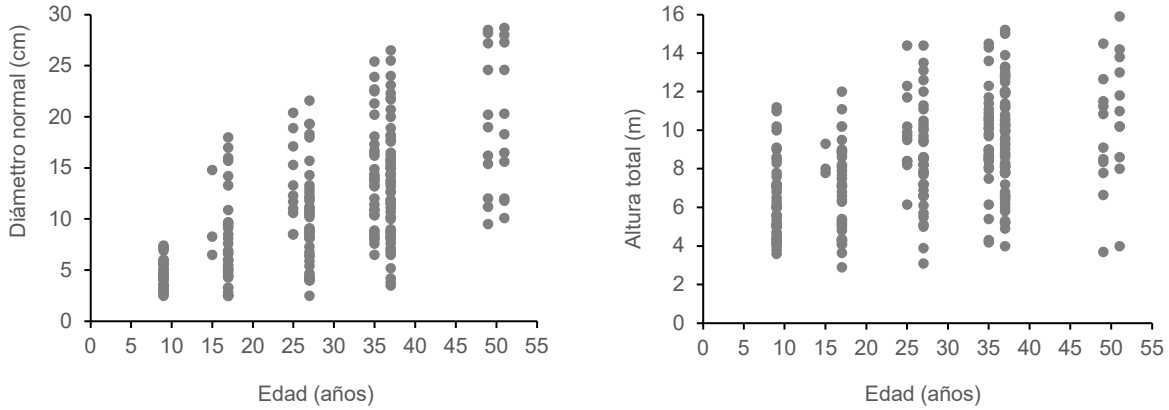
La edad promedio de los rodales forestales evaluados fue de 27.48 años, con valores extremos de siete a 51 años; el diámetro promedio de 11.56 cm e intervalo entre 2.50 a 32.40 cm, la altura total promedio fue de 8.56 m y presenta máximos entre 2.90 a 17.20 m (Cuadro 2). La curtosis para edad, diámetro y altura es platicúrtica (curtosis menor que 3) y para los incrementos es leptocúrtica (mayor que 3). La asimetría es positiva, excepto para la edad. Para la altura total, la curtosis negativa indica que los datos presentan valores atípicos menos extremados que una distribución normal (Cuadro 1).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos para árboles de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (Chacah) en el sur de Quintana Roo, México.

Estadístico	Edad (años)	Dn (cm)	At (m)	IMAD (cm año^{-1})	IMAA (m año^{-1})
Media	27.48	11.56	8.56	0.38	0.47
Mediana	27.00	10.65	8.50	0.31	0.41
Moda	37.00	2.50	7.80	0.24	0.32
Desviación estándar	12.44	6.43	2.88	0.22	0.29
Varianza de la muestra	154.87	41.38	8.30	0.05	0.08
Coeficiente de variación	45.28	55.66	33.66	57.88	60.59
Curtosis	-0.96	0.24	-0.38	3.23	7.59
Coeficiente de asimetría	-0.06	0.81	0.30	1.71	2.20
Rango	44.00	29.90	14.30	1.24	2.17
Mínimo	7.00	2.50	2.90	0.08	0.09
Máximo	51.00	32.40	17.20	1.31	2.27

DN: diámetro normal (cm), IMAD: incremento medio anual en diámetro normal (cm año^{-1}), At: altura total (m), IMAA: incremento medio anual en altura total (m año^{-1}).

En la Figura 1 se observa la dispersión de datos de diámetros (1a) y alturas (1b) observados y agrupados por edad, observándose una tendencia sigmoide.



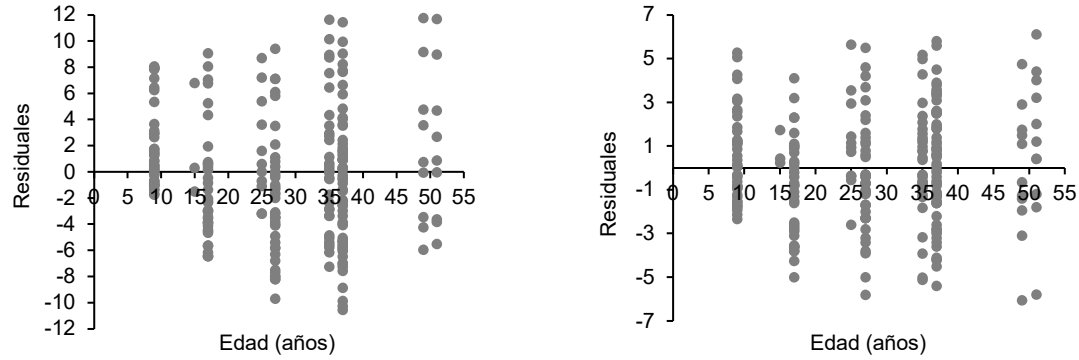
a b

Figura 1. Tendencias de diámetro normal (1a) y altura total (1b) observados de árboles de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (chacah) en Quintana Roo, México.

Crecimiento e incremento

Respecto del crecimiento diámetro normal, en el Cuadro 2 se observan los parámetros fijos de los modelos alométrico, Schumacher y Weber, siendo el de Schumacher el que presenta culminación del incremento, describe un 84.2% de la dispersión de los datos, minimiza la raíz del cuadrado medio del error (4.98 cm), presenta una adecuada distribución de residuales (Figura 2a), por lo que es la ecuación seleccionada para predecir el diámetro normal en función de la edad hasta los 55 años. El punto donde ocurre la máxima velocidad de crecimiento sucede a los 7.2 años (0.79 cm año^{-1}) y la edad donde ICA=IMA sucede alrededor de los 14.4 años para el diámetro normal, lo cual coincide con la máxima tasa de crecimiento (0.53 cm año^{-1}).

Por su parte, para la altura total, las ecuaciones que cumplen con tener una tendencia sigmoide, una asíntota horizontal y puntos de inflexión de los incrementos fueron la función de Schumacher, describe la tendencia de los datos en un 92.0%, minimiza la raíz del cuadrado medio del error (2.53 m) y tiene una adecuada distribución de residuales (Figura 2b). Para el modelo de Schumacher, el punto de máximo crecimiento ocurre a los 2.5 años (0.82 m año^{-1}) y la edad donde el ICA=IMA sucede alrededor de la edad de 5.4 años.



a b

Figura 2. Distribución de residuales para diámetro norma (2a) y altura total (2b) de árboles de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (chacah) en Quintana Roo, México.

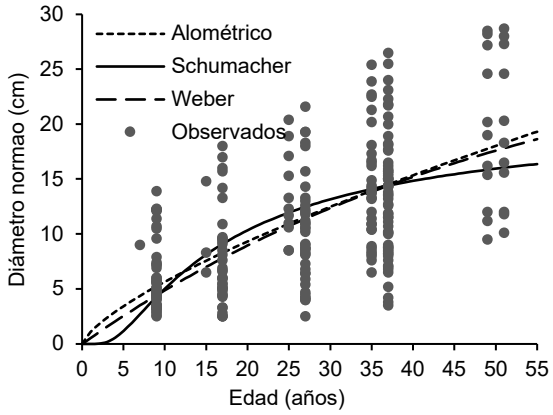
Las mejores ecuaciones obtenidas son las siguientes: $Dn = 21.2787e^{-14.4228/E}$ y $At = 10.91262e^{-5.4682/E}$. Donde: Dn: diámetro normal (cm), At: altura total (m), E: edad (años), e: base de los logaritmos neperianos.

Cuadro 2. Resumen de análisis de varianza de modelos ajustados para Bursera simaruba en Quintana Roo.

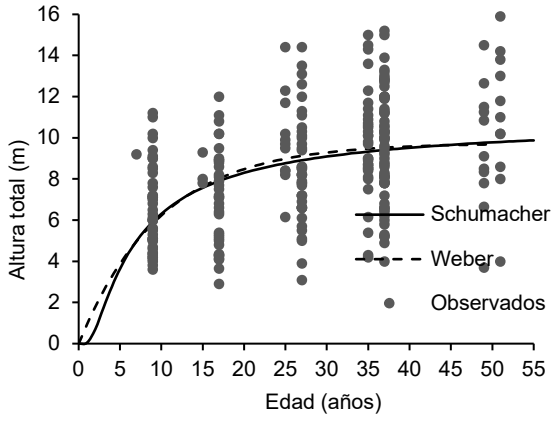
Var	Modelo	Par.	Est.	Error STD	CME	RCME	F cal	Pr > F	R^2
Dn	Alométrico	β_0	1.0757	0.2578	23.03	4.799	780.33	<0.0001	0.866
		β_1	0.7207	0.0681					
	Schumacher	β_0	21.2787	1.3106	24.77	4.98	716.73	<0.0001	0.842
		β_1	14.4228	1.6758					
	Weber	β_0	29.7460	8.1294	23.41	4.84	765.52	<0.0001	0.863
		β_1	0.0179	0.0067					
At	Alométrico	β_0	3.1861	0.4205	6.27	2.50	1467.54	<0.0001	0.922
		β_1	0.3027	0.0390					
	Schumacher	β_0	10.9126	0.3927	6.41	2.53	1432.55	<0.0001	0.920
		β_1	5.4682	0.7660					
	Gompertz	β_0	2.5141	0.2384	6.28	2.51	976.96	<0.0001	0.922
		β_1	0.8866	0.1533					
		β_2	0.0341	0.0224					
	Hossfeld IV	β_0	0.3814	0.5675	6.30	2.51	974.84	<0.0001	0.922
		β_1	-0.1075	0.6852					
		β_2	0.1616	0.4810					
	Weber	β_0	9.7291	0.2913	6.48	2.54	1417.27	<0.0001	0.919
		β_1	0.0973	0.0114					

Var: variable, Par.: parámetros, Est.: estimadores, Error STD: error estándar, CME: cuadrado medio del error, RCME: raíz del cuadrado medio del error, Pr>F: probabilidad mayor que F, R^2: Coeficiente de determinación.

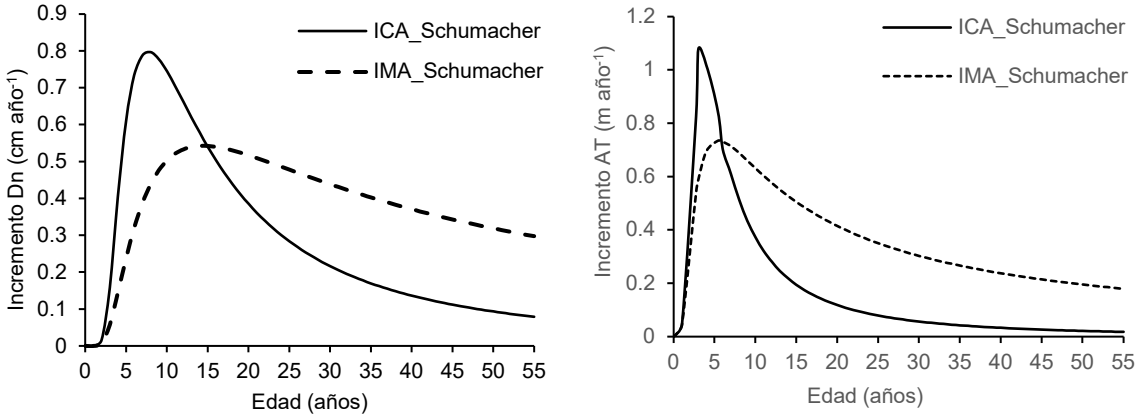
En las figuras 3a y 3b se observan los crecimientos en diámetro normal (cm) y altura total (m) y en las figuras 3c y 3d, el incremento corriente anual y medio anual (cm año^{-1} y m año^{-1}) respectivamente.



a



b



c d

Figura 3. Crecimiento e incremento en diámetro normal (3a y 3c) y altura total (3b y 3d) de árboles de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (chacah) en Quintana Roo, México.

De acuerdo a las figuras, la especie alcanza promedios de 15.95 cm y 9.78 m de diámetro normal y altura total a los 50 años cm.

Pineda-Herrera et al. (2019) determinaron las tasas de crecimiento diamétrico de *B. simaruba*, en selvas secundarias medianas subperennifolias de Quintana Roo, México, al obtener el mayor incremento medio anual en diámetro: 0.06 cm año^{-1}, en árboles cercanos a la categoría de a 20 cm. A diferencia, en este estudio, los mayores incrementos en diámetro normal suceden alrededor de los siete años, cuando se obtiene un incremento corriente anual de 0.79 cm año^{-1}.

Briceño Jiménez (2018) determinó que *B. simaruba* fue posible determinar la presencia de anillos de crecimiento anuales que permitan estudios dendrocronológicos, aunque esto fue complicada debido a la presencia de canales resiníferos. Mientras que, Aquino, et al. (2024) determinaron los años de formación de los anillos de crecimiento en *B. simaruba* de una selva mediana subperennifolia en Campeche, México mediante técnicas dendrocronológicas tradicionales y modelaron el crecimiento del diámetro de árboles individuales. El ancho promedio de los anillos fue de 2.28 mm (± 0.95 mm). Por su parte, el modelo de Von Bertalanffy explica el 99 % de la variabilidad registrada en los diámetros de *B. simaruba* y se determinó que la especie alcanza un diámetro de 30 cm a los 73 años, con un incremento promedio de 0.41 cm año^{-1}, el cual es mayor a los promedios obtenidos en este estudio, donde a la edad de 55 años se obtuvieron 0.30 cm año^{-1} y 0.39 cm año^{-1} para ICA e IMA, respectivamente.

Conclusiones

Las ecuaciones Dn = 21.2787 $e^{-14.4228}$/E y At = 10.9126 $e^{-5.4682}$/E fueron las únicas que cumplieron las condiciones biológicas deseables (R^2 de 0.842 y 0.920, respectivamente), y pueden aplicarse en planes de manejo forestal ejidal para estimar dimensiones de *Bursera simaruba* por edad sin mediciones dendrocronológicas costosas.

El turno biológico óptimo de la especie se ubica a los 14.4 años (ICA = IMA en diámetro), dato aplicable para que ejidos y autoridades forestales definan ciclos de corta que maximicen el rendimiento en madera para carpintería, postes y embalajes sin comprometer la regeneración del recurso.

El enfoque de cronosecuencias con rodales de 7 a 51 años demostró ser eficaz para reconstruir el crecimiento sin parcelas permanentes de largo plazo, y puede replicarse en otras especies tropicales poco estudiadas de la Península de Yucatán para acelerar la generación de modelos que soporten el manejo de selvas secundarias y programas de reforestación productiva.

Referencias bibliográficas

Aquino-Ramírez, M., J.C. Ríos-Saucedo, J. Sepúlveda-Vázquez y R. Fierros-Mateo (2024). Estimación del crecimiento diamétrico en árboles de Bursera simaruba en una selva mediana subperennifolia de campeche, México. Agrofaz, 6(1): 25-32.

Hernández-Ramos, J., J:C: Tamarit Urias, A. Hernández Ramos, X. García Cuevas y E. Buendía Rodríguez. (2021). Modelos para estimar el volumen comercial de Bursera simaruba (L.) Sarg. y de Metopium brownei (Jacq.) Urb. en Quintana Roo, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(68), 4-29. DOI: 10.29298/rmcf.v12i68.814.

Pineda-Herrera, E., R.J. Carreón-Santos, J.I. Valdez-Hernández y V.M. Interián-Ku (2019). Crecimiento en diámetro de tres especies arbóreas en una selva secundaria de Quintana Roo, México. Madera y Bosques, 25(1), e2511601.

Briceño Jiménez, A. M. (2018). Anatomía de los anillos de crecimiento de las especies del bosque seco tropical del Caribe de Colombia. Polibotánica, 46.

Santiago-García, W., Jacinto-Salinas, A.H., Rodríguez-Ortiz, G., Nava-Nava, A., Santiago-García, E., Ángeles-Pérez, G., & Enríquez-del Valle, J.R. 2020. Generalized height-diameter models for five pine species at Southern Mexico, Forest Science and Technology, DOI: 10.1080/21580103.2020.1746696. https://doi.org/10.1080/21580103.2020.1746696.

VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN FOLIOLOS DE TRES VARIEDADES DE COCOTERO (*Cocos nucifera* L.)

Eder Ramos Hernández[1]*, María del Carmen Silverio Gómez[2] y Matilde Cortazar Ríos[2]

[1]Campo Experimental Huimanguillo, CIR Golfo Centro, INIFAP. [2]Campo Experimental Chetumal, CIR del Sureste, INIFAP.
*Autor para correspondencia: ramos.eder@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Biomasa foliar, dióxido de carbono equivalente, almacenamiento de carbono.*

Introducción

El incremento de las concentraciones del dióxido de carbono (CO_2) en la atmosfera constituye uno de los principales impulsores del cambio climático (CC). De acuerdo con el Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), las actividades antropogénicas, principalmente la quema de combustibles fósiles, la deforestación y los cambios de uso del suelo, han provocado un aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (IPCC, 2023). Ante este escenario, existe un creciente interés en identificar sistemas productivos capaces de contribuir al almacenamiento de carbono en la biomasa vegetal, favoreciendo la mitigación de los efectos del CC.

Los cultivos perennes tropicales representan reservorios importantes de carbono debido a su elevada producción de biomasa y a la permanencia de sus estructuras vegetativas. Entre ellos, el cocotero (*Cocos nucifera* L.) destaca por su amplia distribución en regiones tropicales y por su capacidad para incorporar carbono atmosférico mediante la fotosíntesis. Estudios sobre el ciclo del carbono en plantaciones de cocotero han demostrado que una proporción importante del carbono fijado es en órganos con alta tasa de renovación, como hojas, raíces finas, inflorescencias y frutos, contribuyendo posteriormente a la acumulación de materia orgánica en el sistema (Roupsard et al., 2008).

La cuantificación del contenido de carbono en tejidos vegetales constituye un componente fundamental para mejorar las estimaciones de reservas de carbono en biomasa vegetal. Sin embargo, la información disponible sobre la concentración de carbono en variedades de cocotero cultivadas en México es limitada. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue determinar y comparar el contenido de carbono en foliolos de tres variedades de cocotero cultivadas en el estado de Tabasco, México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó con foliolos de tres variedades de cocotero: Alto del Pacífico Var. Felicitos, Enano Amarillo Malayo Var. Acapulco y el híbrido Chactemal, establecidas en huertas comerciales de 10 años en el municipio de Comalcalco, Tabasco, México. Se seleccionaron aleatoriamente 15 plantas de la variedad Alto del Pacífico Var. Felicitos, 10 plantas de Enano Amarillo Malayo Var. Acapulco y 12 plantas del híbrido Chactemal. De cada planta se recolectaron foliolos fisiológicamente maduros (hoja número 17), los cuales fueron transportados al laboratorio del Campo Experimental Huimanguillo del INIFAP para su procesamiento.

Los foliolos se secaron en estufa de aire forzado a 65 °C durante 72 h hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, el material vegetal se molió y homogenizó para su análisis. Para cada muestra se pesaron 10 g de biomasa seca, a partir de los cuales se determinó el porcentaje de materia orgánica (% MO) mediante el método de pérdida por ignición. Las muestras se sometieron a combustión en mufla a 550 °C durante 3 h y % de MO se calculó a partir de la diferencia entre el peso inicial y final de cada muestra.

El contenido de carbono orgánico total (COT) se estimó mediante el factor de transformación de Van Bemmelen, considerando que la materia orgánica contiene aproximadamente 58 % de carbono (Nelson y Sommers, 1996).

$$COT(\%) = \%MO / 1.724$$

Posteriormente, el dióxido de carbono equivalente (eCO_2) se estimó utilizando el factor de conversión entre el peso molecular del dióxido de carbono (44) y el carbono elemental (12):

$$eCO_2 = C \times 3.67$$

donde **C** corresponde a la cantidad de carbono contenida en la biomasa seca.

Las variables evaluadas fueron materia orgánica (%), carbono orgánico total (%) y dióxido de carbono equivalente (eCO_2). Los datos fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza de una vía para detectar diferencias entre variedades y, cuando se observaron efectos significativos ($p \leq 0.05$), las medias se compararon mediante la prueba de Tukey. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statgraphics Centurion XVI.I. El análisis estadístico se realizó únicamente sobre el COT (%), mientras que el eCO_2 se utilizó como una variable derivada para expresar el potencial de fijación de dióxido de carbono de los foliolos.

Resultados y discusión

El contenido de COT en foliolos presentó diferencias significativas entre las variedades de cocotero evaluadas ($F = 14.05$; $P < 0.001$). Los valores promedio oscilaron entre 53.04 y 54.58 % (Cuadro 1). La variedad Enano Amarillo Malayo registró el mayor contenido de carbono (54.58 %), seguida por Alto Felícito (54.08 %), mientras que el híbrido Chactemal presentó el valor más bajo (53.04 %).

Cuadro 7. Contenido de carbono orgánico total (COT) y dióxido de carbono equivalente (eCO_2) en foliolos de tres variedades de cocotero (Cocos nucifera L.).

Variedad	n	COT (%)	eCO_2 (g por 10 g de biomasa)
Enano Amarillo Malayo Var. Acapulco	10	54.58 ± 0.42 a	20.03
Alto del Pacífico Var. Felicitos	15	54.08 ± 0.72 a	19.85
Híbrido Chactemal	12	53.04 ± 0.86 b	19.47

Medias con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). El eCO_2 se estimó a partir del contenido de carbono utilizando un factor de conversión de 3.67.

La prueba de comparación múltiple de Tukey indicó que Alto del Pacífico Var. Felicitos y Enano Amarillo Malayo Var. Acapulco conformaron un grupo estadísticamente homogéneo ($P > 0.05$), mientras que el híbrido Chactemal mostró un contenido de carbono significativamente menor que ambas variedades ($P \leq 0.05$).

Los valores obtenidos coinciden con los reportados para tejidos vegetales de especies arbóreas y cultivos perennes tropicales, donde la concentración de carbono en biomasa seca generalmente oscila entre 45 y 55 % (Thomas y Martin, 2012). Los resultados sugieren que los foliolos de cocotero constituyen una importante reserva de carbono dentro de la biomasa aérea del cultivo. Asimismo, las diferencias observadas entre variedades podrían estar asociadas a características genéticas relacionadas con la composición estructural de los tejidos foliares y la acumulación de compuestos orgánicos carbonados.

Considerando que las hojas representan uno de los principales órganos fotosintéticos del cocotero y constituyen una fuente continua de aporte de materia orgánica al suelo mediante la producción de hojarasca, el contenido de carbono determinado en este estudio aporta información útil para futuras estimaciones de almacenamiento de carbono y balance de carbono en sistemas de producción de cocotero.

El dióxido de carbono equivalente estimado osciló entre 19.47 y 20.03 g eCO_2 por cada 10 g de biomasa seca de foliolos. Enano Amarillo Malayo Var. Acapulco presentó el mayor potencial teórico de fijación de CO_2, seguido de Alto Pacifico Var. Felícito y el híbrido Chactemal.

Conclusiones

Se identificaron diferencias varietales en el contenido de COT de los foliolos de cocotero. Las variedades Enano Amarillo Malayo Var. Acapulco y Alto Pacifico Var. Felícito presentaron los mayores porcentajes de carbono, mientras que el híbrido Chactemal mostró valores significativamente menores. Los foliolos de las variedades evaluadas contenían entre 53.04 y 54.58 % de carbono, lo que evidencia su importancia como reservorios de carbono dentro de la biomasa aérea del cultivo. Asimismo, los valores estimados de eCO_2 indican que los foliolos de cocotero poseen un potencial de almacenamiento de carbono que puede contribuir a futuras estimaciones del secuestro de carbono en sistemas de producción de cocotero y al entendimiento del papel del cultivo en la mitigación del cambio climático.

Agradecimientos y fuente financiadora

Financiamiento de CONAHCYT (actualmente SECIHTI) mediante el proyecto “Incremento en la competitividad de la producción in vitro de plantas de cocotero mediante enfoques innovadores, incluyendo la generación del insumo carbón activado a partir de residuos agrícolas”.

Referencias bibliográficas

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods (pp. 961–1010). Soil Science Society of America.

Ranasinghe, C. S., & Thimothias, K. (2012). Estimation of carbon sequestration potential in coconut plantations under different agro-ecological conditions. Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka, 40(1), 77–93. http://dx.doi.org/10.4038/jnsfsr.v40i1.4171.

Roupsard, O., Jourdan, C., Deheuvels, O., Arnaud, M., & Mialet-Serra, I. (2008). Coconut carbon sequestration and carbon balance in coconut plantations. CORD, 24(2), 1–21.

Thomas, S. C., & Martin, A. R. (2012). Carbon content of tree tissues: A synthesis. Forests, 3(2), 332–352. https://doi.org/10.3390/f3020332.

ZONIFICACIÓN EDAFOCLIMÁTICA MEDIANTE ANÁLISIS MULTIVARIADO COMO HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN AGRÍCOLA EN TABASCO, MÉXICO

Sergio Salgado-Velázquez[1]*, Fabiola Olvera-Rincón[2], Lucas Alejandro Fadda[3], Pablo Ulises Hernández-Lara[1], Dante Sumano-López[1] y Samuel Córdova-Sánchez[4].

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, C. E. Huimanguillo, km 1 Carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86400. [2]Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Moina km 3.5. Cardenas, Tabasco, México. C. P. 86500. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín de Bravo, Veracruz, México. C. P. 94270. [4]Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 2.0, Huimanguillo, Tabasco, México. C.P. 86500.
*Autor para correspondencia: salgado.sergio@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Componentes principales; k-means; propiedades del suelo; análisis espacial; ordenamiento territorial.*

Introducción

La planificación agrícola moderna requiere información espacial confiable que permita reconocer la variabilidad ambiental de un territorio y orientar la toma de decisiones en función de sus condiciones climáticas, edáficas y topográficas. En regiones tropicales como Tabasco, México, esta necesidad adquiere mayor importancia debido a la alta heterogeneidad de los paisajes, la influencia de la precipitación, la presencia de planicies aluviales, zonas de lomerío, suelos con diferente textura, drenaje, fertilidad y grado de acidez, así como la creciente presión por intensificar la producción agropecuaria de manera sostenible. En este contexto, la zonificación edafoclimática constituye una herramienta fundamental para delimitar áreas relativamente homogéneas con base en variables ambientales que influyen directamente en el potencial productivo, la aptitud agrícola, la gestión de insumos y la adaptación de los sistemas de producción al cambio climático. El conocimiento integrado de las condiciones de clima, suelo y relieve permite identificar unidades territoriales con características semejantes, lo que facilita la planeación del uso agrícola del suelo, la selección de cultivos, la definición de zonas de manejo y la priorización de estrategias de conservación y mejoramiento productivo. Tradicionalmente, este tipo de zonificación se ha desarrollado mediante la interpretación de cartografía temática; sin embargo, el avance de los sistemas de información geográfica, la disponibilidad de bases globales de clima y suelo, y el uso de métodos multivariados permiten generar mapas más objetivos, reproducibles y espacialmente explícitos.
En este sentido, fuentes como WorldClim, SoilGrids, modelos digitales de elevación y límites administrativos digitales ofrecen insumos relevantes para integrar variables climáticas, edáficas y topográficas en un mismo marco analítico. La integración de estas fuentes de información con técnicas estadísticas como el análisis de componentes principales y algoritmos de agrupamiento no supervisado permite reducir la redundancia entre variables ambientales y clasificar el territorio en zonas homogéneas. Esta aproximación resulta útil para estados como Tabasco, donde las condiciones de humedad, temperatura, relieve bajo, suelos aluviales y variabilidad textural determinan en gran medida la distribución de los sistemas agrícolas. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue generar una zonificación edafoclimática del estado de Tabasco, México, mediante la integración de variables climáticas, edáficas y topográficas en un sistema de información geográfica y su clasificación mediante análisis multivariado. Lo anterior, representa un insumo estratégico para fortalecer la planeación territorial, apoyar programas institucionales de fomento agrícola, orientar estudios de aptitud productiva y establecer bases técnicas para una agricultura más eficiente, sustentable y adaptada a las condiciones locales.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El área de estudio correspondió al estado de Tabasco, México. El límite estatal fue obtenido a partir de la base cartográfica GADM, nivel administrativo 1, y posteriormente fue utilizado como máscara espacial para recortar todas las capas ambientales. Todo el procesamiento espacial se realizó en coordenadas geográficas WGS84, y para el cálculo de superficies se utilizó la proyección UTM zona 15N.

Fuentes de información. Se utilizaron variables climáticas de WorldClim v2.1, propiedades edáficas de SoilGrids y variables topográficas derivadas de un Modelo Digital de Elevación. Las variables climáticas incluyeron temperatura media anual, estacionalidad térmica, precipitación anual y estacionalidad de la precipitación. La información edáfica consideró pH, arcilla, arena, carbono orgánico y capacidad de intercambio catiónico a una profundidad de 0–20 cm (Poggio et al., 2021). Finalmente, a partir del MDE SRTM de 30 m se calcularon la elevación y la pendiente, las cuales fueron incorporadas para representar el efecto del relieve sobre la distribución de las unidades edafoclimáticas (NASA JPL, 2020).

Preprocesamiento espacial

Todas las capas fueron recortadas al límite del estado de Tabasco y reproyectadas o remuestreadas para coincidir en extensión espacial, sistema de referencia, resolución y tamaño de celda. La malla climática fue utilizada como referencia espacial para homologar las capas de suelo y relieve. El remuestreo de variables continuas se realizó mediante interpolación bilineal. Posteriormente, las capas ambientales fueron integradas en un raster multibanda compuesto por variables climáticas, edáficas y topográficas. Los píxeles con valores faltantes en alguna de las variables fueron eliminados para evitar inconsistencias durante el análisis multivariado. A partir del raster multibanda se generó una base de datos espacial con coordenadas X-Y, y los valores de cada variable ambiental por celda.

Estandarización de variables

Debido a que las variables incluidas presentaban diferentes unidades y rangos de magnitud, los datos fueron estandarizados antes del análisis multivariado. La estandarización se realizó mediante la transformación a media cero y desviación estándar uno como se observa en la siguiente ecuación:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j}$$

donde:Z_{ij} es el valor estandarizado de la celda o píxel $i$para la variable j. X_{ij} es el valor original de la variable, por ejemplo, precipitación, pH, arcilla, elevación, etc. $\bar{X}_j$ es la media de la variable j. S_j es la desviación estándar de la variable j. Este procedimiento permitió que todas las variables contribuyeran de forma comparable al análisis, evitando que aquellas con valores numéricamente mayores dominaran el agrupamiento.

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales se aplicó sobre la matriz de variables ambientales estandarizadas. Cada componente principal fue definido como una combinación lineal de las variables originales estandarizadas, de acuerdo con $PC_k = a_{1k}Z_1 + a_{2k}Z_2 + \cdots + a_{pk}Z_p$, donde PC_krepresenta el componente principal k, $Z_p$las variables estandarizadas y a_{pk}las cargas asociadas a cada variable. La proporción de varianza explicada por cada componente se calculó como $VE_k = \lambda_k / \sum \lambda_j \times 100$, donde $\lambda_k$corresponde al eigenvalor del componente k. Se seleccionó el número mínimo de componentes necesarios para explicar aproximadamente el 80 % de la varianza acumulada. En este estudio, los primeros cuatro componentes explicaron alrededor del 82 % de la variación total y fueron utilizados como base para el agrupamiento edafoclimático.

Agrupamiento edafoclimático mediante k-means

La delimitación de las zonas edafoclimáticas se realizó mediante el algoritmo k-means, aplicado sobre los componentes principales seleccionados. Este algoritmo agrupa las celdas espaciales de acuerdo con su similitud ambiental, minimizando la suma de distancias cuadráticas entre cada celda y el centroide del grupo al que pertenece, de acuerdo con:

$$J = \sum_{k=1}^{K} \sum_{i \in C_k} || x_i - \mu_k ||^2$$

Donde Kes el número de grupos, $C_k$representa el conjunto de celdas asignadas al grupo k, $x_i$es el vector de componentes principales de la celda i, y $\mu_k$es el centroide del grupo correspondiente. Para evaluar el número de grupos se utilizó el índice de silueta, calculado como $s(i) = [b(i) - a(i)]/\max\{a(i), b(i)\}$, donde $a(i)$ representa la distancia promedio de la celda $i$respecto a las demás celdas de su mismo grupo, y $b(i)$corresponde a la menor distancia promedio respecto al grupo vecino más cercano. Con base en este criterio y en la interpretación espacial y ambiental de los resultados, se definieron seis zonas edafoclimáticas para Tabasco. Finalmente, las clases generadas por k-means fueron reasignadas al espacio geográfico para generar un raster clasificado. Los números de zona corresponden a etiquetas arbitrarias del algoritmo y no representan un orden jerárquico de calidad, aptitud o productividad.

Postprocesamiento espacial

Después de la clasificación inicial se aplicó un postprocesamiento espacial para mejorar la calidad cartográfica del mapa. Debido a la integración de capas de diferentes fuentes y resoluciones, algunos píxeles quedaron sin clasificación. Estos huecos fueron rellenados mediante un procedimiento iterativo de vecindad, asignando a las celdas sin dato la clase dominante de sus celdas vecinas. Posteriormente se aplicó un filtro espacial de mayoría con una ventana de 3 × 3 celdas para reducir el efecto de “sal y pimienta” y obtener unidades más continuas. Este procedimiento permitió mejorar la legibilidad cartográfica del mapa sin alterar la estructura general de las zonas edafoclimáticas.

Asignación e interpretación de macroclases

Una vez obtenidas las seis zonas edafoclimáticas, se calcularon los valores promedio de las variables climáticas, edáficas y topográficas para cada zona. Este cuadro resumen fue utilizada para interpretar ambientalmente cada grupo. La asignación de macroclases se realizó considerando principalmente la precipitación anual, elevación, pendiente, pH, contenido de arcilla, contenido de arena, carbono orgánico del suelo y capacidad de intercambio catiónico. Para facilitar la interpretación, las variables fueron clasificadas de forma relativa mediante cuantiles. La precipitación fue clasificada como menor precipitación relativa, humedad intermedia o muy húmeda. El relieve fue clasificado como planicie baja, planicie intermedia o lomerío/terraza alta. La textura fue interpretada como arenosa, franca o mixta, y arcillosa, de acuerdo con la dominancia relativa de arena y arcilla entre las zonas. El pH fue clasificado como ácido, ligeramente ácido a neutro o neutro a alcalino. Con base en esta caracterización, las zonas generadas por el algoritmo fueron renombradas como macroclases edafoclimáticas. Las seis macroclases resultantes fueron:
1. Planicies arenosas de menor precipitación relativa. 2. Lomeríos húmedos de mayor elevación. 3. Planicies bajas húmedas con alta fertilidad relativa. 4. Planicies arcillosas de menor precipitación relativa. 5. Planicies húmedas ligeramente ácidas. 6. Planicies bajas arcillosas de humedad intermedia.

Generación del mapa final

El mapa final fue elaborado en R a partir del raster clasificado y postprocesado. El raster de zonas fue convertido a polígonos, disuelto por clase y unido con el cuadro de macroclases. Posteriormente se calcularon las superficies por zona en hectáreas mediante la proyección UTM zona 15N. La representación cartográfica se realizó con ggplot2, sf, terra, ggspatial y cowplot. El mapa incluyó límite estatal, colores diferenciados por macroclase, leyenda descriptiva, flecha norte, barra de escala y fuente de información. Los productos finales fueron exportados en formato GeoTIFF, shapefile, PNG y PDF, permitiendo su uso tanto en sistemas de información geográfica como en informes técnicos y presentaciones institucionales.

Resultados y discusión

Análisis de componentes principales y reducción de dimensionalidad

El análisis de componentes principales permitió reducir la dimensionalidad de la matriz ambiental integrada por variables climáticas, edáficas y topográficas (Figura 1a). Los primeros componentes concentraron la mayor proporción de la variabilidad total, lo que indica que los gradientes ambientales dominantes del estado de Tabasco pueden resumirse en un número reducido de ejes sintéticos. El primer componente principal explicó 36.7 % de la varianza, el segundo 20.0 %, el tercero 14.6 % y el cuarto 10.7 %. En conjunto, los primeros cuatro componentes explicaron aproximadamente 82.0 % de la variación total, por lo que fueron considerados suficientes para representar la estructura ambiental de la zona de estudio.

Selección del número de grupos edafoclimáticos

La evaluación del número de grupos mediante el índice de silueta mostró diferencias en la separación promedio entre soluciones de agrupamiento (Figura 1b). El valor de silueta aumentó notablemente a partir de dos grupos y presentó valores relativamente altos entre seis y nueve grupos, con el máximo estadístico en k = 9. No obstante, para fines de zonificación territorial y planificación agrícola, la selección del número final de unidades no debe depender exclusivamente del valor máximo del índice, sino también de la coherencia espacial, la continuidad cartográfica y la posibilidad de interpretar ambientalmente cada clase. En este estudio se definieron seis macroclases edafoclimáticas como una solución de compromiso entre la separación estadística de los grupos, la simplificación cartográfica y la utilidad práctica para la toma de decisiones.

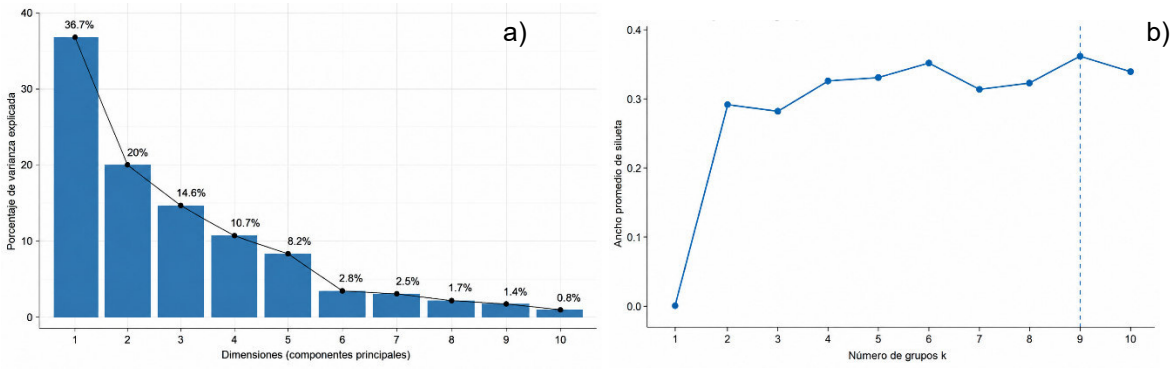


Figura 1. a) Porcentaje de varianza explicada por los componentes principales utilizados en la zonificación edafoclimática de Tabasco y b) evaluación del número óptimo de grupos mediante el índice de silueta para la clasificación edafoclimática.

Caracterización ambiental de las macroclases

La caracterización de las macroclases permitió identificar diferencias relevantes entre las unidades delimitadas. Las variables de precipitación, elevación, textura y pH fueron particularmente útiles para interpretar los grupos generados. Los lomeríos húmedos de mayor elevación presentaron los valores más altos de precipitación y elevación media, lo que los diferencia claramente de las planicies bajas. En contraste, las macroclases de menor precipitación relativa se asociaron con ambientes más cálidos, de menor humedad y con diferencias texturales marcadas entre zonas arenosas y arcillosas (Neto *et al.,* 2026).

Cuadro 1. Caracterización de las macroclases edafoclimáticas delimitadas para la planificación agrícola en Tabasco, México.

Zona	Macroclase	Área (Mha)	Superficie (ha)	%	Temp. (°C)	Precipitación (mm)	pH	Elevación (m)
1	Planicies arenosas de menor precipitación relativa	0.335	334659.6	13.21	26.7	1798	6.12	26.0
2	Lomeríos húmedos de mayor elevación	0.082	81780.0	3.23	25.3	2932	5.75	270.0
3	Planicies bajas húmedas con alta fertilidad relativa	0.573	572692.9	22.61	26.7	1859	6.58	2.6
4	Planicies arcillosas de menor precipitación relativa	0.316	316400.0	12.49	26.7	1847	6.34	43.2
5	Planicies húmedas ligeramente ácidas	0.410	409684.9	16.17	26.4	2701	5.63	30.8
6	Planicies bajas arcillosas de humedad intermedia	0.818	817696.9	32.28	26.3	2097	5.86	12.3

Distribución espacial de las macroclases edafoclimáticas

La zonificación final permitió delimitar seis macroclases edafoclimáticas en el estado de Tabasco. Estas unidades representan áreas con condiciones relativamente homogéneas de precipitación, temperatura, relieve, pH, textura y fertilidad relativa del suelo. La distribución espacial de las macroclases refleja la influencia combinada de los gradientes climáticos, las planicies aluviales, las zonas de mayor elevación y la variabilidad edáfica superficial (Castorena *et al.,* 2023).

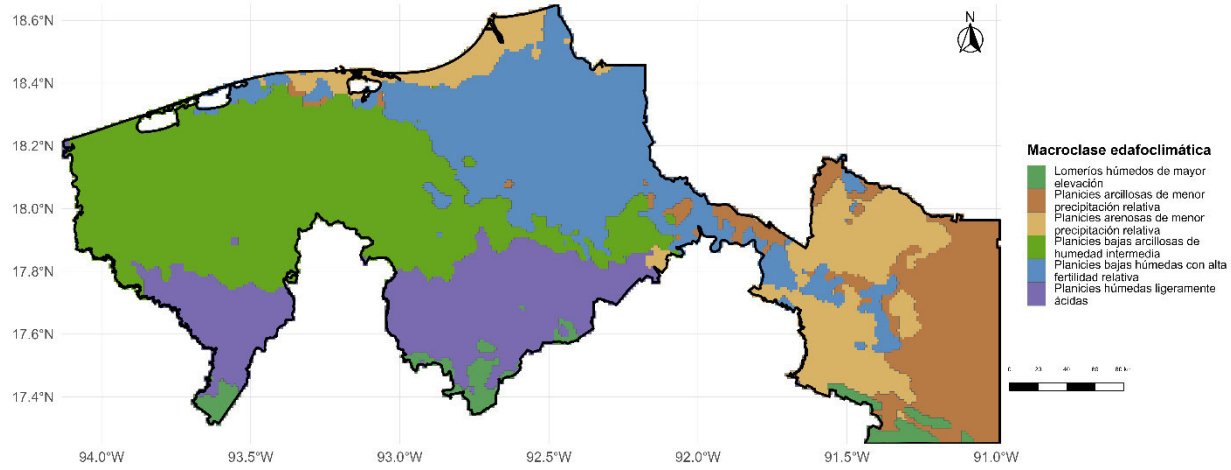


Figura 3. Zonificación edafoclimática de Tabasco basada en variables climáticas, edáficas y topográficas.

Conclusiones

Con la integración de variables climáticas, edáficas y topográficas fue posible delimitar seis macroclases edafoclimáticas para el estado de Tabasco. El análisis multivariado permitió identificar zonas ambientalmente homogéneas, diferenciadas principalmente por la precipitación, elevación, textura del suelo, pH y fertilidad relativa. La zonificación generada constituye una herramienta útil para la planificación agrícola, ya que permite reconocer áreas con condiciones similares para orientar la selección de cultivos, el manejo de insumos, la regionalización tecnológica y la toma de decisiones territoriales. Asimismo, los mapas obtenidos pueden servir como base para estudios posteriores de aptitud agrícola, manejo sitio-específico y diseño de estrategias productivas más eficientes y sostenibles en condiciones tropicales.

Referencias bibliográficas

Castorena, E. V. G., Gómez, G. A. R., & Solorio, C. A. O. 2023. The agricultural potential of a region with semi-dry, warm and temperate subhumid climate diversity through agroecological zoning. Sustainability 15(12): 9491. https://doi.org/10.3390/su15129491.

Leon-Rueda, W. A., Cárdenas-Urrego, W. F., Niño-Medina, R. C., & Ramirez-Gil, J. G. 2025. Edaphic homologous zones and digital tools as a basis for sustainable soil management in potato growing areas in Colombia. Scientific Reports 15(1): 42740. https://doi.org/10.1038/s41598-025-26824-1.

NASA JPL. (2020). NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.5067/MEASURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001.

Neto, V. R. P., Souza, A. S. N., Neto, J. A. B., Souza, G. N., Santos, L. D. V., Pedrotti, A., & Holanda, F. S. R. 2026. Agroclimatic Zoning to Optimize Crop Suitability under Soil, Water and Terrain Constraints in Tropical Conditions of Brazil. Journal of Experimental Agriculture International 48(6): 27-45.

Poggio, L., de Sousa, L. M., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Kempen, B., Ribeiro, E., & Rossiter, D. 2021. SoilGrids 2.0: Producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. SOIL, 7, 217–240. https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021.

CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE MICROCUENCAS MEDIANTE ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y MODELACIÓN ESTADÍSTICA EN EL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO

Walter López Báez[1]*, Ignacio Sánchez Cohen[2] y Alma Liz Vargas de la Mora[1]

[1]Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP, Ocozocoautla, Chiapas, México, [2]CENID-RASPA, INIFAP, Gómez Palacios, Durango, México
*Autor para correspondencia: lopez.walter@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Morfometría, microcuencas, concentración, hidrológica, Chiapas.*

Introducción

El estado de Chiapas, localizado en el sureste de México, presenta una de las mayores complejidades fisiográficas del país, caracterizada por la coexistencia de la Sierra Madre de Chiapas, la Meseta Central, los Altos de Chiapas y la Planicie Costera del Pacífico. Esta diversidad geomorfológica se traduce en fuertes gradientes altitudinales, pendientes pronunciadas y una marcada heterogeneidad climática, con precipitaciones intensas concentradas en periodos cortos. Estas condiciones favorecen una dinámica hidrológica altamente variable, incrementando la susceptibilidad a crecidas súbitas, procesos erosivos y transporte de sedimentos en microcuencas de montaña. Bajo estas circunstancias en manejo de cuencas es clave para la gestión del agua y del territorio.

En Chiapas, las microcuencas presentan alteraciones debido a las actividades agropecuarias, la expansión del cultivo de café en laderas, la deforestación localizada y los cambios de uso del suelo. Estas alteraciones, combinadas con pendientes elevadas y altos desniveles, intensifican la degradación del suelo y alteran los patrones de escurrimiento superficial, afectando la disponibilidad y calidad del agua.

Diversos estudios han demostrado que variables morfométricas como el área, la pendiente media, el desnivel altitudinal, la relación de relieve y la forma de la cuenca influyen significativamente en la respuesta hidrológica, particularmente en el tiempo de concentración (Tc), el cual sintetiza la rapidez con la que una cuenca responde a un evento de precipitación. Sin embargo, en el contexto de Chiapas, la mayoría de los estudios se han centrado en análisis descriptivos o en cuencas de mayor escala, existiendo una limitada integración de enfoques estadísticos multivariados aplicados específicamente a microcuencas.

El objetivo de este estudio fue realizar análisis integral de los parámetros geomorfológicos y una clasificación de las microcuencas, con el fin de evaluar la respuesta hidrológica y generar información útil para la gestión integral del recurso hídrico.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estado de Chiapas se localiza en el sureste de México y presenta una amplia diversidad fisiográfica. Se analizaron 79 microcuencas seleccionadas por el Gobierno del Estado de Chiapas en el marco del Programa de Rehabilitación y Saneamiento de Microcuencas, las cuales se distribuyen en diferentes regiones del estado, abarcando desde la Planicie Costera del Pacífico hasta zonas montañosas de la Sierra Madre de Chiapas y los Altos de Chiapas. Las elevaciones varían desde áreas cercanas al nivel del mar hasta altitudes superiores a los 3 000 m.s.n.m., con pendientes medias que en muchos casos superan el 20 %. Predomina el clima cálido húmedo a templado húmedo, con precipitaciones anuales elevadas e intensas, concentradas durante la temporada de verano. La combinación del clima con la complejidad topográfica, confieren a las microcuencas un comportamiento hidrológico altamente contrastante.

Se analizaron las siguientes variables morfométricas e hidrológicas: área (ha), perímetro (km), elevación mínima y máxima (m), desnivel altitudinal (m), pendiente media (%), índice de compacidad, relación de relieve (m km^{-1}), integral hipsométrica y Tc (min).

Se aplicaron estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, mínimos, máximos y cuartiles) para caracterizar la variabilidad morfométrica. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación de Pearson (α = 0.05) para evaluar las relaciones entre variables. Se ajustó un modelo de regresión lineal múltiple considerando el Tc como variable dependiente.
La clasificación hidrológica de las microcuencas se realizó integrando los parámetros morfométricos que mostraron mayor influencia sobre el Tc, de acuerdo con los análisis de correlación y el modelo de regresión múltiple. Los valores umbral utilizados para cada clase se definieron a partir de la distribución estadística de las variables, considerando cuartiles y rangos representativos de la energía del relieve y la respuesta hidrológica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Criterios y valores usados para la clasificación de las mcicrocuencas.

Clase hidrológica	Tipo de respuesta hidrológica	Pendiente media (%)	Desnivel altitudinal (m)	Relación de relieve (m km^{-1})	Tiempo de concentración (min.)
Clase I	Respuesta muy rápida (muy alta energía)	> 30	> 1 700	> 32	< 35
Clase II	Respuesta rápida (alta energía)	20 – 30	1 000 – 1 700	19 – 32	35 – 45
Clase III	Respuesta moderada (energía intermedia)	15 – 20	600 – 1 000	12 – 19	45 – 55
Clase IV	Respuesta lenta (baja energía)	< 15	< 600	< 12	> 55

Resultados y discusión

Las microcuencas presentan una alta variabilidad morfométrica (Cuadro 2). El área promedio es cercana a 10 000 ha, con pendientes medias superiores al 20 % y desniveles mayores a 1 000 m en gran parte de las microcuencas. El Tc presenta valores que reflejan respuestas hidrológicas contrastantes. La amplitud de rangos y las desviaciones estándar elevadas confirman una heterogeneidad morfométrica significativa. Desde el punto de vista hidrológico, esto implica la coexistencia de microcuencas con respuestas rápidas y energéticas junto a otras con mayor capacidad de regulación, lo cual es típico de regiones montañosas tropicales como Chiapas.

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables morfométricas e hidrológicas.

Variable	Media	Desv. Std.	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.
Área (ha)	9 992	5 235	3 981	6 609	8 968	11 380	32 430
Perímetro (km)	56.4	20.1	10.2	44.3	54.6	65.0	134.8
Elevación mínima (m)	714	650	-9	170	595	1 081	2 273
Elevación máxima (m)	1 919	752	38	1 581	2 011	2 470	3 603
Desnivel (m)	1 205	671	47	666	1 029	1 746	3 398
Pendiente media (%)	22.7	10.7	3.2	16.4	20.8	30.6	46.8
Índice de compacidad	2.79	1.05	1.47	2.13	2.42	3.27	6.45
Relación de relieve	23.4	15.2	0.67	11.8	18.9	32.1	66.1
Integral hipsométrica	0.37	0.13	0.10	0.27	0.36	0.48	0.70
Tc (min)	44.3	15.6	22.1	34.7	42.3	48.1	109.9

El Tc mostró correlaciones negativas significativas con la pendiente media (r = −0.70) y la relación de relieve (r = −0.60), y una correlación positiva moderada con el área (r = 0.56), evidenciando el control dominante del relieve sobre la respuesta hidrológica. Las correlaciones negativas fuertes entre Tc y pendiente, así como con la relación de relieve, indican que la energía topográfica es el principal controlador de la respuesta hidrológica. Microcuencas más escarpadas concentran el escurrimiento en intervalos de tiempo más cortos, incrementando el potencial de avenidas súbitas.

La correlación positiva entre área y Tc sugiere que microcuencas mayores tienden a respuestas más amortiguadas, aunque este efecto es modulado por la pendiente y el relieve.

El modelo de regresión explicó el 78 % de la variabilidad del Tc (R^2 ajustado = 0.76; $p < 0.001$). El desnivel y la relación de relieve presentaron coeficientes estadísticamente significativos, confirmando su papel como principales controladores hidrológicos.

Tc=18.47 + 0.00021 (Área) − 0.38 (Pendiente) − 0.0115 (Desnivel) + 0.053 (Compacidad) + 0.61 (Relación de relieva + 6.85 (Integral hipsométrica)

Los coeficientes estimados indican que el desnivel altitudinal presenta un efecto negativo y altamente significativo ($p < 0.001$), lo que confirma que microcuencas con mayores diferencias altitudinales concentran el escurrimiento en periodos más cortos. De manera similar, la relación de relieve muestra un efecto estadísticamente significativo ($p \approx 0.001$), reflejando el papel de la energía geomorfológica en la aceleración del flujo superficial.

La pendiente media contribuye de forma consistente al ajuste del modelo, reforzando su papel como variable clave en el control del escurrimiento. En contraste, el índice de compacidad y la integral hipsométrica no resultaron significativos de forma individual; sin embargo, su inclusión mejora el desempeño global del modelo, lo que sugiere un efecto indirecto asociado a la forma y al estado evolutivo del relieve.

Se identificaron cuatro clases hidrológicas. La Clase I (respuesta muy rápida) agrupa el 7.6 % de las microcuencas y presenta alta susceptibilidad a crecidas súbitas. La Clase IV (respuesta lenta) concentra aproximadamente el 90 % de las microcuencas, mostrando mayor capacidad de regulación hidrológica (Cuadro 3). Las microcuencas pertenecientes a las clases I y II se ubican en la Sierra Madre de Chiapas (Figura 1), zona de desastres recurrentes ante eventos extremos de precipitación.

Cuadro 3. Estadística descriptiva de las variables morfométricas e hidrológicas.

Clase	Microcuencas	Respuesta hidrológica	Energía del relieve	Tiempo de concentración	Prioridad de manejo
I	6	Muy rápida	Muy alta	Muy corto	Muy alta
II	1	Rápida	Alta	Corto	Alta
III	1	Moderada	Media	Intermedio	Media
IV	71	Lenta	Baja	Largo	Baja

Clase I. Esta clase agrupa 6 microcuencas, caracterizadas por pendientes elevadas (>30 %), altos desniveles (>1 700 m), relaciones de relieve elevadas y tiempos de concentración cortos. Estas condiciones favorecen una respuesta hidrológica extremadamente rápida y una elevada capacidad erosiva. Microcuencas representativas incluyen, entre otras: El Cerrón (Pijijiapan), Las Palmas (Tonalá) y Los Amates, las cuales presentan condiciones topográficas críticas y alta susceptibilidad a crecidas súbitas. Estas microcuencas deben considerarse de **prioridad muy alta** para acciones de conservación de suelos, estabilización de laderas y control de escurrimientos.

Clase II. Esta clase está representada por **1 microcuenca**, que presenta pendientes y desniveles elevados, aunque ligeramente menores que los de la Clase I, con tiempos de concentración cortos. Un ejemplo representativo es la microcuenca **Julián Grajales (Jiquipilas)**, que combina alta eficiencia hidrológica con una respuesta rápida ante eventos de precipitación intensa. Requieren estrategias preventivas enfocadas en la reducción del escurrimiento superficial y el manejo adecuado del uso del suelo en laderas.

Clase III. Esta clase incluye **1 microcuenca**, caracterizada por pendientes y desniveles intermedios, con tiempos de concentración moderados. Un ejemplo representativo es la microcuenca Aguacatenango (Amatenango del Valle), que muestra un equilibrio relativo entre escurrimiento superficial e infiltración. Estas microcuencas son aptas para usos productivos condicionados, siempre que se implementen prácticas de conservación de suelos y manejo de escurrimientos.

Clase IV. La Clase IV concentra el 90% de las microcuencas, caracterizadas por pendientes bajas a moderadas, menores desniveles y tiempos de concentración largos, lo que indica una mayor

capacidad de regulación hidrológica. Entre las microcuencas representativas de esta clase se encuentran: Abelardo L. Rodríguez (Comitán), Adolfo López Mateos (Cintalapa) y Álvaro Obregón (Huehuetán), presentan respuestas más amortiguadas y menor riesgo relativo de crecidas súbitas. El manejo de estas microcuencas debe enfocarse en la protección de zonas de recarga, el ordenamiento territorial y la planificación integral del uso del suelo.

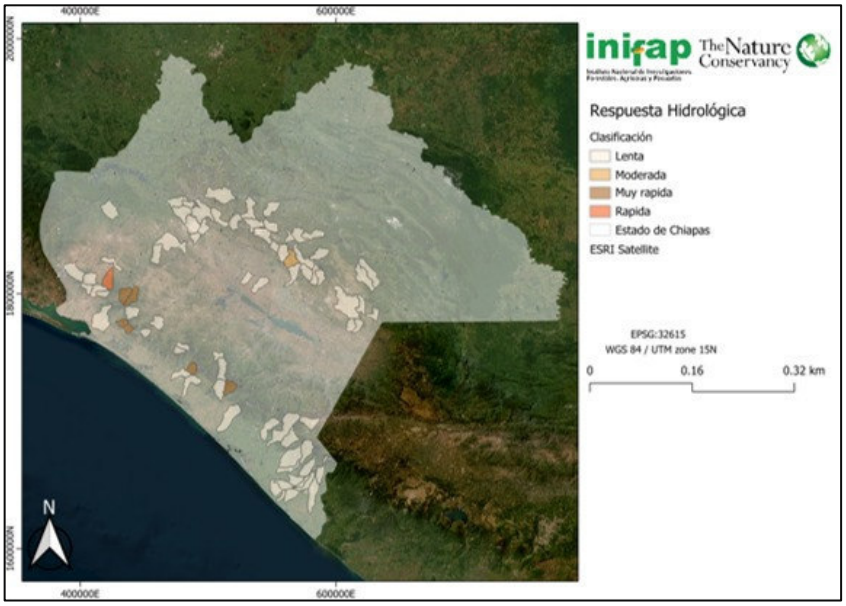


Figura 1. Ubicación de las microcuencas según respuesta Hidrológica

Los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado por Singh, (1992), señalaron que el Tc está dominado por variables que representan la energía del relieve, particularmente la pendiente y el desnivel altitudinal. Strahler (1957) demostró que cuencas con mayor gradiente altitudinal presentan respuestas hidrológicas más rápidas debido al incremento en la velocidad del escurrimiento, de forma similar, señalo que la pendiente y el relieve relativo son variables fundamentales para explicar la sincronización del escurrimiento en cuencas montañosas. Estudios recientes en regiones montañosas tropicales han encontrado relaciones negativas entre el tiempo de concentración y la pendiente media, confirmando la rápida respuesta hidrológica de microcuencas escarpadas (Yadav et al., 2014).

Por otro lado, la no significancia individual del índice de compacidad concuerda con trabajos que señalan que la forma de la cuenca influye en la respuesta hidrológica principalmente cuando se analiza de manera conjunta con variables topográficas (Rai et al., 2017). De igual forma, la integral hipsométrica, aunque ampliamente utilizada para inferir el estado evolutivo del relieve, ha mostrado una influencia indirecta sobre los procesos hidrológicos, actuando como modulador de la energía del sistema más que como un controlador directo del escurrimiento (Pérez-Peña et al., 2009).

Desde un punto de vista hidrológico, el modelo confirma que las microcuencas con altos desniveles, pendientes pronunciadas y relaciones de relieve elevadas presentan tiempos de concentración cortos, lo que incrementa su susceptibilidad a crecidas súbitas, erosión hídrica y transporte de sedimentos. En contraste, microcuencas de mayor área y menor energía del relieve muestran respuestas más amortiguadas, con mayor capacidad de regulación hidrológica.

La clasificación hidrológica propuesta permite identificar de manera clara las microcuencas con mayor riesgo hidrológico y erosivo, facilitando la priorización de acciones de manejo y conservación. La dominancia de microcuencas de Clase IV sugiere un alto potencial de regulación hidrológica a escala regional; sin embargo, la presencia de microcuencas de Clase I y II representa focos críticos que requieren atención inmediata para reducir riesgos locales.

Este enfoque demuestra la utilidad de los parámetros morfométricos como herramientas cuantitativas para la gestión del riesgo hidrológico, el manejo integral de cuencas y la planificación territorial, en concordancia con lo reportado en estudios previos (Rai et al., 2017).
Estos resultados refuerzan la utilidad de los parámetros morfométricos como herramientas cuantitativas para la evaluación del riesgo hidrológico y la priorización de microcuencas en programas de manejo integral.

Conclusiones

El análisis integral de las 79 microcuencas permitió identificar una marcada heterogeneidad en la respuesta hidrológica, controlada principalmente por la pendiente media, el desnivel altitudinal y la relación de relieve. Los análisis estadísticos y el modelo de regresión múltiple demostraron que estas variables explican de manera significativa el tiempo de concentración, confirmando que la energía del relieve constituye el principal factor de control hidrológico en regiones montañosas.
La clasificación hidrológica propuesta permitió diferenciar microcuencas con respuestas muy rápidas, rápidas, moderadas y lentas, evidenciando que, aunque la mayoría de las microcuencas presentan una alta capacidad de regulación hidrológica (Clase IV), existe un subconjunto crítico de microcuencas altamente reactivas (Clases I y II) que concentran el mayor riesgo hidrológico y erosivo. Estas microcuencas deben ser priorizadas en programas de manejo integral, conservación de suelos y reducción del riesgo por avenidas súbitas. La integración de parámetros morfométricos, análisis estadísticos y clasificación hidrológica proporciona una herramienta robusta y replicable para la evaluación del comportamiento hidrológico de microcuencas, con aplicaciones directas en el ordenamiento territorial, la gestión del riesgo y la planificación de estrategias de adaptación al cambio climático.

Agradecimientos

Se agradece a The Nature Conservancy México, su apoyo económico parcial para la realización de este estudio.

Referencias bibliográficas

Pérez-Peña, J.V., et al. (2009). Quantitative geomorphic analysis applied to drainage basins. Geomorphology, 104, 171–182.
Rai, P.K., et al. (2017). Morphometric analysis for watershed prioritization. Applied Water Science, 7, 141–158.
Singh, V.P. (1992). Elementary Hydrology. Prentice Hall.
Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union, 38, 913–920.
Yadav, S.K., et al. (2014). Morphometric analysis and hydrological response. Arabian Journal of Geosciences, 7, 3083–3095.

ALMACENAMIENTO A BAJA TEMPERATURA Y BAJO CONTENIDO DE HUMEDAD FAVORECEN LA CONSERVACIÓN DE SEMILLAS DE CHILE XCAT'IK (*Capsicum annuum* L.)

Manuel Jesús Zavala León[1]*, María Alma Rangel Fajardo[1] y Felipe Santamaría Basulto[1]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRSE. Campo Experimental Mocochá. Km 25 de la antigua carretera Mérida-Motul, C.P. 97450, Mocochá, Yucatán, México.
*Autor para correspondencia: zavala.manuel@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Germinación, modelo lineal generalizado, distribución binomial.*

Introducción

El chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.) es una variedad criolla de importancia económica, gastronómica y cultural en la Península de Yucatán. La conservación de semillas con alta calidad fisiológica es fundamental para garantizar la disponibilidad de germoplasma para la producción agrícola, los programas de mejoramiento genético y la conservación de la diversidad genética de este cultivo. Sin embargo, la viabilidad de las semillas disminuye durante el almacenamiento debido a procesos naturales de deterioro, cuya velocidad depende principalmente del contenido de humedad de la semilla y de la temperatura de almacenamiento. En semillas ortodoxas, la reducción de ambos factores (humedad y temperatura) permite disminuir la actividad metabólica y retrasar el deterioro fisiológico, prolongando su longevidad (Ellis y Roberts, 1980). No obstante, la información sobre las condiciones óptimas de almacenamiento para semillas de chile xcat'ik es limitada. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del contenido de humedad de la semilla, la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre la probabilidad de germinación de semillas de chile xcat'ik, con el fin de identificar las condiciones más adecuadas para su conservación.

Materiales y métodos

Se cosecharon aproximadamente 350 frutos de chile xcat'ik en estado de madurez parcial y maduros, los cuales se almacenaron durante siete días para alcanzar la maduración antes de la extracción de las semillas. Posteriormente, los frutos se cortaron manualmente y las semillas se separaron mediante flotación en agua, descartando las que flotaban y conservando las que permanecían en el fondo. Las semillas seleccionadas se desinfestaron con hipoclorito de sodio al 3 % durante 3 min, se enjuagaron tres veces con agua destilada y se secaron durante 24 h sobre papel absorbente. Después, se colocaron en bolsas de tela tipo tul y se mantuvieron en secado a la sombra durante una semana. Posteriormente, el contenido de humedad de las semillas (CHS) se ajustó a 10 %, 15 % y 20 % siguiendo la metodología de Hay et al. (2008). Para ello, las semillas se colocaron durante 27 días en desecadores de vidrio con soluciones de cloruro de litio preparadas con 60 g, 20 g y 4 g de sal disueltos en 200 mL de agua desionizada, respectivamente. Debido a que algunos lotes no alcanzaron los contenidos de humedad objetivo, se realizó un ajuste mediante la adición controlada de agua en recipientes plásticos con cierre hermético. La cantidad de agua requerida se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de agua requerida} = \left[\left(\frac{100 - \text{CHS inicial}}{100 - \text{CHS final}} \times \text{Peso de la semilla}\right) - \text{Peso de la semilla}\right]$$

Una vez obtenidos los contenidos de humedad deseados, las semillas se almacenaron en dos tipos de empaque: hermético (bolsas plásticas laminadas) y poroso (bolsas de papel manila), bajo tres temperaturas de almacenamiento (5 °C, 10 °C y temperatura ambiente). Cada tres meses se extrajeron muestras de cada combinación de contenido de humedad, tipo de empaque y temperatura para evaluar el porcentaje de germinación durante el periodo de almacenamiento de 15 meses. El experimento se estableció bajo un diseño completo al azar con arreglo factorial (humedad, empaque,

temperatura y almacenamiento). La prueba de germinación consistió en colocar 25 semillas por caja de Petri de un total de 4 repeticiones. El sustrato fue papel filtro humedecido con agua destilada estéril. Las cajas se colocaron dentro una cámara de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) durante 14 días a una temperatura fija de 25 °C y un fotoperiodo de 8 h luz/16 h oscuridad. La semilla se consideró germinada cuando la radícula presentó 2 mm de longitud. Los datos de germinación se transformaron en una variable binaria, asignando el valor de 1 a las semillas que germinaron y 0 a aquellas que no germinaron durante los 14 días de evaluación (ISTA, 2005) con ligeras modificaciones. La variable respuesta fue la probabilidad de germinación de cada semilla, mientras que las variables explicativas fueron el contenido de humedad de la semilla, el tipo de empaque, la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Los datos se analizaron mediante un modelo lineal generalizado (MLG) con distribución binomial y función de enlace logit. Posteriormente, las estimaciones del modelo se transformaron a la escala original de respuesta mediante la función inversa del enlace logit, para obtener las probabilidades de germinación. Todos los análisis se realizaron en el software R versión 4.5.2.

Resultados y discusión

En total, se utilizaron 10,800 semillas de chile xcat'ik distribuidas entre los distintos tratamientos del estudio. De este total, germinaron 8,551 semillas y 2,249 semillas no germinaron. La probabilidad estimada de germinación estuvo determinada por la interacción entre el contenido de humedad de la semilla, la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Figura 1). Las semillas con 10 % de humedad y temperatura de almacenamiento de 5 y 10 °C, la probabilidad de germinación se mantuvo cercana a 0.93 durante los 15 meses de almacenamiento, aunque a los 12 meses se observó una ligera disminución hasta aproximadamente 0.85. En contraste, cuando la temperatura aumentó a 35 °C, la probabilidad de germinación disminuyó conforme avanzó el almacenamiento, alcanzando un valor mínimo de 0.30 a los 12 meses. A los 15 meses se registró un incremento de la probabilidad de germinación hasta valores similares a los observados al inicio del almacenamiento.

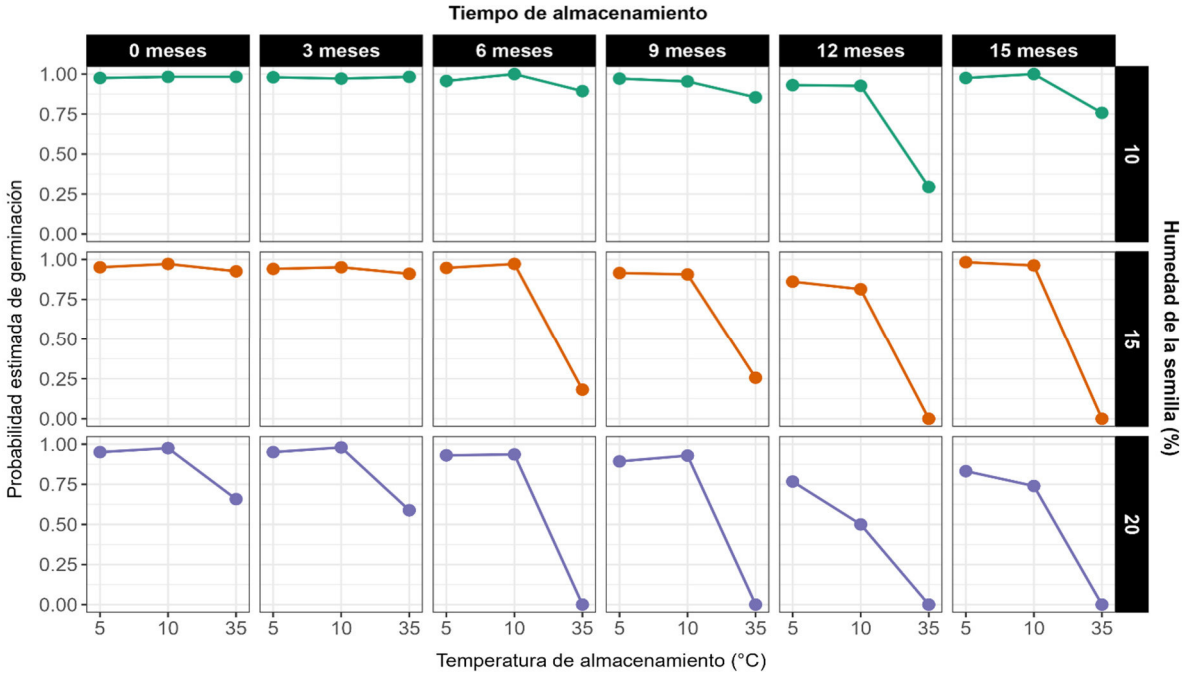


Figura 1. Probabilidad estimada de germinación de semillas de chile xcat'ik en función del contenido de humedad de la semilla (10, 15 y 20 %), temperatura de almacenamiento (5, 10 y 35 °C) y tiempo de almacenamiento (0–15 meses), obtenida mediante un modelo lineal generalizado con distribución binomial.

Estos resultados evidencian que la conservación de la capacidad germinativa de las semillas de chile xcat'ik estuvo determinada por la interacción entre el contenido de humedad y la temperatura de almacenamiento. La elevada probabilidad de germinación observada con 10 % de humedad a 5 y 10 °C confirma que la combinación de baja humedad y temperatura favorece la longevidad de las semillas, ya que la reducción simultánea de ambos factores disminuye la intensidad de la respiración y de las reacciones metabólicas, retrasando el deterioro fisiológico y prolongando la viabilidad durante el almacenamiento (Ellis y Roberts, 1980).

Con 15 % de contenido de humedad, la probabilidad de germinación fue cercana a 0.90–0.98 durante los primeros tres meses en todas las temperaturas. Posteriormente, se observó una disminución progresiva, particularmente a 35 °C, donde la probabilidad descendió a valores cercanos a 0.18 a los seis meses y fue prácticamente nula a partir de los 12 meses. En cambio, a 5 y 10 °C la probabilidad de germinación permaneció elevada durante el periodo de almacenamiento, con una ligera reducción a los 9 y 12 meses y un incremento a los 15 meses, alcanzando valores similares a los registrados al inicio de la evaluación (~0.95–0.98).

La tendencia observada en las semillas con 15 % de humedad indica que este contenido aún permite conservar una elevada capacidad germinativa cuando las semillas se almacenan a baja temperatura (5 y 10 °C); sin embargo, el incremento de la temperatura (35 °C) acelera considerablemente su deterioro. Este efecto puede atribuirse a que la combinación de mayor contenido de humedad y elevada temperatura incrementa la actividad metabólica, favorece la producción de especies reactivas de oxígeno, acelera el deterioro de las membranas celulares y promueve la desnaturalización de proteínas, reduciendo progresivamente la viabilidad de las semillas (Bewley et al., 2013). Asimismo, estos resultados concuerdan con el modelo de viabilidad de Ellis y Roberts (1980), el cual establece que la temperatura y el contenido de humedad interactúan para determinar la velocidad de deterioro y la longevidad de las semillas.

Finalmente, el tratamiento con 20 % de humedad presentó la mayor pérdida de probabilidad de germinación. Desde el inicio del almacenamiento a 35 °C, la probabilidad fue inferior a la observada con los demás contenidos de humedad, disminuyendo de aproximadamente 0.65 a los 0 meses. Sin embargo, a partir de los seis meses, la probabilidad de germinación fue nula y permaneció así hasta el final del periodo de almacenamiento. Bajo refrigeración (5 y 10 °C), la probabilidad de germinación mostró una germinación elevada los primeros 9 meses, y de allí en adelante se observó una disminución gradual, registrándose los valores más bajos a los 12 y 15 meses (~0.75–0.82).

La pérdida total de la capacidad germinativa observada en las semillas con 20 % de humedad a partir de los seis meses confirma que estas condiciones son inadecuadas para el almacenamiento de semillas de chile xcat'ik. Los resultados demuestran que el efecto negativo de la temperatura se intensifica a medida que aumenta el contenido de humedad de la semilla, evidenciando la interacción de ambos factores sobre la longevidad (Ellis y Roberts, 1980). El incremento en la probabilidad de germinación observado a los 12 y 15 meses en los tratamientos almacenados a 5 y 10 °C se atribuye al uso de lotes independientes de semillas en cada evaluación, y no a una recuperación de la viabilidad de las semillas.

Conclusiones

El almacenamiento a 5 y 10 °C con 10 % de humedad fue la condición más eficiente para mantener una alta probabilidad de germinación durante los 15 meses de almacenamiento.

La combinación de 35 °C y contenidos de humedad de 15 y 20 % fue la condición más desfavorable para la conservación de semillas de chile xcat'ik, al reducir significativamente la probabilidad de germinación durante el almacenamiento.

Agradecimientos y fuente financiera

Se agradece al INIFAP por el apoyo económico brindado mediante el proyecto fiscal con el número 16583535758.

Referencias bibliográficasg

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4.

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany, 45*(1), 13–30. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085797.

Hay, F. R., Adams, J., Manger, K., & Probert, R. (2008). The use of non-saturated lithium chloride solutions for experimental control of seed water content. *Seed Science and Technology*, 36(3), 737–746. https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.3.23

ISTA (2005) - International Rules for Seed Testing. Edition 2005. *International Seed Testing Association*.
Bassersdorf, CH- Swizerland.

CONSERVACIÓN DE SEMILLAS DE CHILE DULCE (*Capsicum annuum* L.*)* BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Manuel Jesús Zavala León[1]*, Felipe Santamaría Basulto[1], María Alma Rangel Fajardo[1] y Mariela Vázquez Calderón[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRSE. Campo Experimental Mocochá. Km 25 de la antigua carretera Mérida-Motul, C.P. 97450, Mocochá, Yucatán, México. [2]Centro de Investigación Científica de Yucatán. CICY. Calle 43 No. 130-x 32 y 34 Col. Chuburna de Hidalgo, Pinzón II, C.P. 97205 Mérida, Yucatán, México.
*Autor para correspondencia: zavala.manuel@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Germinación, modelo binomial, probabilidad.*

Introducción

La conservación de la calidad fisiológica de las semillas es un factor determinante para garantizar el establecimiento de los cultivos, la producción de semilla de alta calidad y la preservación de los recursos fitogenéticos. Durante el almacenamiento, las semillas experimentan un deterioro progresivo e inexorable que reduce su capacidad germinativa como consecuencia de procesos bioquímicos y fisiológicos asociados con el envejecimiento. La velocidad de este deterioro depende principalmente del contenido de humedad de la semilla y de la temperatura de almacenamiento, factores que regulan la actividad metabólica, la respiración y las reacciones oxidativas responsables de la pérdida de viabilidad (Ellis y Roberts, 1980; Bewley et al., 2013). Además, el tipo de empaque puede modificar la velocidad de deterioro al influir en el intercambio de humedad y gases entre la semilla y el ambiente, afectando su longevidad durante el almacenamiento. En semillas de chile dulce (*Capsicum annuum* L.), la información sobre la interacción entre el contenido de humedad, tipo de empaque y temperatura de almacenamiento es aún limitada, particularmente durante periodos prolongados de conservación. El conocimiento de la interrelación entre estos factores es fundamental para desarrollar estrategias de almacenamiento que permitan mantener la calidad fisiológica de las semillas y optimizar su conservación en bancos de germoplasma y programas de producción de semilla. El objetivo del presente estudio fue identificar la combinación de contenido de humedad de la semilla, tipo de empaque y temperatura de almacenamiento que maximiza la probabilidad de germinación de semillas de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) durante 15 meses de almacenamiento.

Materiales y métodos

Se cosecharon aproximadamente 300 frutos de chile dulce en estado semimaduros y maduros, los cuales se almacenaron durante siete días para uniformizar su maduración antes de la extracción de las semillas. Posteriormente, los frutos se cortaron manualmente y las semillas se separaron mediante flotación en agua, descartando las que flotaban y conservando las que permanecían en el fondo. Las semillas seleccionadas se desinfestaron con hipoclorito de sodio al 3 % durante 3 min, se enjuagaron tres veces con agua destilada y se secaron durante 24 h sobre papel absorbente. Después, se colocaron en bolsas de tela tipo tul y se mantuvieron en secado a la sombra durante una semana. El contenido de humedad de las semillas (CHS) se ajustó a 10 %, 15 % y 20 % siguiendo la metodología propuesta por Hay et al. (2008). Para ello, las semillas se colocaron durante 27 días en desecadores de vidrio con soluciones de cloruro de litio preparadas con 60 g, 20 g y 4 g de sal disueltos en 200 mL de agua desionizada, respectivamente. Debido a que algunos lotes no alcanzaron los contenidos de humedad objetivo, se realizó un ajuste mediante la adición controlada de agua en recipientes plásticos con cierre hermético. La cantidad de agua requerida se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de agua requerida} = \left[\left(\frac{100 - \text{CHS inicial}}{100 - \text{CHS final}} \times \text{Peso de la semilla}\right) - \text{Peso de la semilla}\right]$$

Una vez obtenidos los contenidos de humedad deseados, las semillas se almacenaron en dos tipos de empaque: hermético (bolsas plásticas laminadas) y poroso (bolsas de papel manila), en tres temperaturas de almacenamiento (5 °C, 10 °C y temperatura ambiente). De manera que cada tres meses se extrajeron muestras de cada combinación de contenido de humedad, tipo de empaque y temperatura para evaluar el porcentaje de germinación durante el periodo de almacenamiento de 15 meses. El experimento se estableció bajo un diseño completo al azar con arreglo factorial (humedad, empaque, temperatura y almacenamiento). La prueba de germinación consistió en colocar 25 semillas por caja de Petri de un total de 4 repeticiones. Como sustrato se utilizó papel filtro humedecido con agua destilada estéril. Las cajas se colocaron dentro una cámara de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) durante 14 días a una temperatura fija de 25 °C y ajustada a un fotoperiodo de 8 h luz/16 h oscuridad. La semilla se consideró germinada cuando la radícula presentó 2 mm de longitud. Los datos de germinación se transformaron en una variable binaria, asignando el valor de 1 a las semillas que germinaron y 0 a aquellas que no germinaron durante los 14 días de evaluación, periodo establecido para la prueba de germinación de *Capsicum annuum* (ISTA, 2005) con ligeras modificaciones. La variable respuesta fue la probabilidad de germinación de cada semilla, mientras que las variables explicativas fueron el contenido de humedad de la semilla, el tipo de empaque, la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Los datos se analizaron mediante un modelo lineal generalizado (MLG) con distribución binomial y función de enlace logit. Las estimaciones del modelo obtenidas se transformaron a la escala original, para obtener las probabilidades de germinación. Todos los análisis se realizaron en el software R versión 4.5.2.

Resultados y discusión

En total, se utilizaron 10,800 semillas de chile dulce distribuidas entre los distintos tratamientos del estudio. De este total, germinaron 9,472 semillas y no germinaron 1,328 semillas.

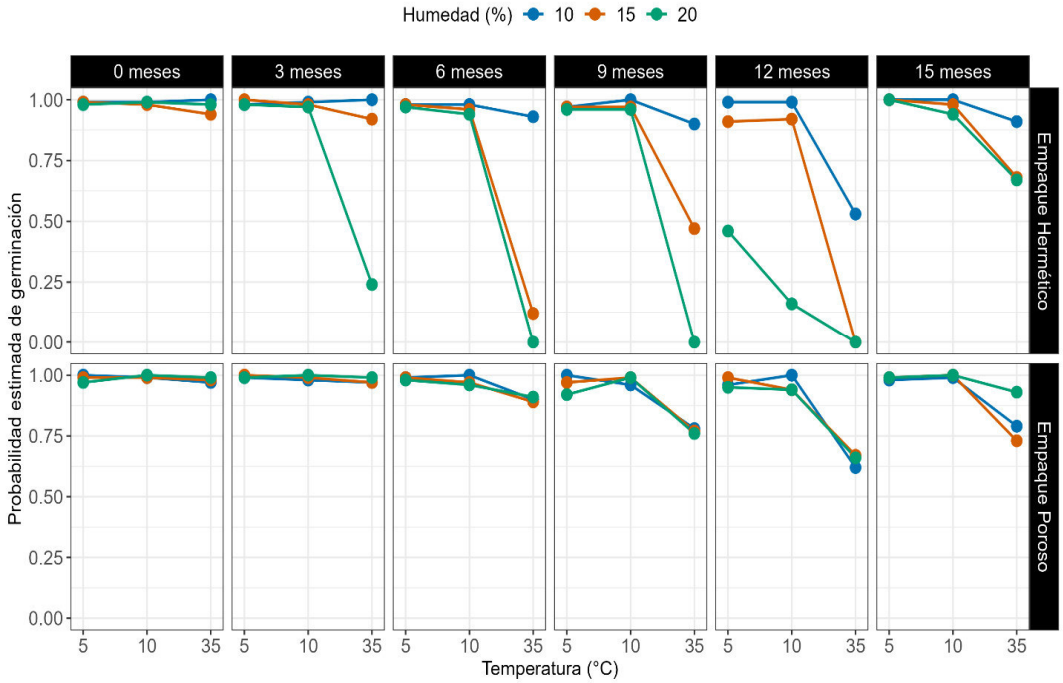


Figura 1. Probabilidad estimada de germinación de semillas de chile dulce en función del contenido de humedad (10, 15 y 20 %), tipo de empaque (hermético y poroso), temperatura de almacenamiento

(5, 10 y 35 °C) y tiempo de almacenamiento (0–15 meses), obtenida mediante un modelo lineal generalizado con distribución binomial.

La probabilidad de germinación se mantuvo alrededor de 100 % en los primeros 3 meses de almacenamiento en el empaque poroso, mientras que en el empaque hermético se observó una disminución significativa de la probabilidad de germinación, a un valor ~0.25 a los 3 meses de almacenamiento. En particular, en el empaque hermético, la combinación de contenidos de humedad de 15 % y 20 % con temperatura ambiente (35 °C) provocó una disminución acelerada de la probabilidad de germinación, alcanzando valores próximos ~0 entre los 6, 9 y 12 meses de almacenamiento. En contraste, las semillas con 10 % de humedad conservaron probabilidades de germinación mayores a 0.90 cuando se almacenaron a 5 °C y 10 °C durante 15 meses de evaluación. En el empaque poroso, la pérdida de germinación fue considerablemente menor, observándose una mayor estabilidad de las semillas incluso a contenidos de humedad elevados, aunque la temperatura ambiente (35 °C) redujo la probabilidad de germinación hacia el final del periodo de almacenamiento. A los 15 meses de almacenamiento, en ambos empaques se observó un aumento de la probabilidad de germinación (Fig. 1).

Los resultados demuestran que la conservación de la germinación en semillas de chile dulce dependió de la interacción entre contenido de humedad, tipo de empaque y temperatura de almacenamiento. La rápida disminución de la probabilidad de germinación observada en semillas con 15 %, y principalmente 20 % de humedad almacenadas en empaque hermético y a temperatura ambiente (35 °C) puede atribuirse a que este tipo de empaque restringe el intercambio de humedad y gases con el ambiente, lo que acelera el deterioro fisiológico debido al incremento de la actividad metabólica y los procesos oxidativos asociados con el envejecimiento de las semillas (Bewley et al., 2013). En contraste, las semillas ajustadas a 10 % de humedad y almacenadas a 5 y 10 °C conservaron una alta probabilidad de germinación durante los 15 meses de evaluación, lo que coincide con la teoría de longevidad de semillas propuesta por Ellis y Roberts (1980), quienes establecieron que la reducción simultánea del contenido de humedad y la temperatura incrementa la vida útil de las semillas ortodoxas. El incremento observado en la probabilidad de germinación a los 15 meses de almacenamiento responde a la variabilidad inherente entre los lotes evaluados, ya que cada tiempo de almacenamiento correspondió a un lote independiente de semillas. En general, los resultados confirman que el almacenamiento a baja temperatura en combinación con un bajo contenido de humedad representa una estrategia eficaz para preservar la calidad fisiológica de las semillas de chile dulce.

Conclusiones

El almacenamiento de semillas con 10 % de humedad a 5 °C y 10 °C mantuvieron una alta probabilidad de germinación (0.90) durante 15 meses en ambos empaques.

El almacenamiento de semillas con 15 y 20 % de humedad en empaque hermético a 35 °C aceleró el deterioro fisiológico, reduciendo progresivamente la probabilidad de germinación hasta anularla en las semillas con 20 % de humedad a partir de los 6 meses de almacenamiento.

Agradecimientos y fuente financiera

Se agradece al INIFAP por el apoyo económico brindado mediante el proyecto fiscal con el número 16583535758.

Referencias bibliográficas

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4.

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany, 45*(1), 13–30. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085797.

Hay, F. R., Adams, J., Manger, K., & Probert, R. (2008). The use of non-saturated lithium chloride solutions for experimental control of seed water content. *Seed Science and Technology*, 36(3), 737–746. https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.3.23.

ISTA (2005) - International Rules for Seed Testing. Edition 2005. *International Seed Testing Association*.

Bassersdorf, CH- Swizerland.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN PORCÍCOLA MEDIANTE UN FILTRO PERCOLADOR

Celia de la Mora-Orozco[1], Gerardo Domínguez Araujo[1], Edgardo Martínez-Orozco[2*] y Laura Izascum Pérez-Valencia[2]

[1]CIRPAC- C.E. Centro Altos de Jalisco, INIFAP. [2] Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Arandas
*Autor para correspondencia: edgardo.martinez@arandas.tecmm.edu.mx

Palabras clave: *Depuración, efluente pecuario, pos tratamiento, remoción de contaminantes.*

Introducción

La porcicultura es una de las actividades pecuarias de mayor importancia en México; sin embargo, su desarrollo también se asocia con la generación de residuos sólidos y líquidos con elevada concentración de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y sólidos. La composición de estos efluentes puede variar considerablemente en función del sistema de producción, el manejo de las excretas, la cantidad de agua utilizada para la limpieza y las condiciones de operación. Debido a esta elevada carga contaminante, el tratamiento adecuado de las aguas residuales porcícolas resulta fundamental para reducir los impactos ambientales que ocasiona y su reutilización (Chen et al., 2023; Li et al., 2023).

Existen tecnologías para el tratamiento de aguas residuales de origen pecuario se encuentran los procesos anaerobios, particularmente los biodigestores, los cuales permiten reducir la materia orgánica y recuperar energía en forma de biogás; sin embargo, el efluente anaerobio puede conservar concentraciones importantes de materia orgánica y nutrientes, por lo que generalmente requiere tratamientos posteriores antes de su descarga o reutilización (Bressani-Ribeiro et al., 2018; Chen et al., 2023). En este sentido, los filtros percoladores constituyen una tecnología de interés debido a que permiten el desarrollo de biopelículas microbianas adheridas a un material de soporte, favoreciendo la oxidación de materia orgánica y, bajo condiciones apropiadas, la nitrificación. Su eficiencia depende de factores como la carga orgánica, el tiempo de retención hidráulica, las características del material de soporte y la disponibilidad de oxígeno (Chaali et al., 2018; Abdelfattah et al., 2020).

La disponibilidad de oxígeno es particularmente importante para el desarrollo de biopelículas aerobias y para la actividad de los microorganismos responsables de la oxidación del nitrógeno amoniacal (Chaali et al., 2018; Abdelfattah et al., 2020). Los filtros percoladores pueden constituir una alternativa de postratamiento de bajo costo y operación relativamente sencilla para efluentes anaerobios (Bressani-Ribeiro et al. 2018). Resultados de investigación con filtros empacados con roca volcánica para el tratamiento de efluentes de biodigestores provenientes de una granja porcina demostraron una remoción de DQO de entre 90 y 96 % con un tiempo de retención hidráulica de nueve horas (Torres-Trinidad et al. 2017). Zhao et al. (2020) demostraron que los biofiltros percoladores pueden favorecer simultáneamente procesos de nitrificación y desnitrificación en efluentes digeridos de origen porcino, así como disminución de altas concentraciones de nitrógeno (Forbis-Stokes et al. 2018).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de un filtro percolador empacado con piedra volcánica para el tratamiento de aguas residuales porcícolas con concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) cercanas a 3,000 mg/L.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en la granja Santa Ana, ubicada en el municipio de Arandas, Jalisco, México. La unidad de producción cuenta con aproximadamente 12,000 cerdos y genera alrededor de 30,000 L diarios de aguas residuales como consecuencia de las actividades de limpieza de las instalaciones. La granja dispone de un biodigestor anaeróbico para el tratamiento inicial de las aguas residuales. El efluente generado era almacenado en una laguna artificial y posteriormente utilizado para riego.

Debido a la elevada concentración inicial de DQO, el agua almacenada fue diluida con agua de pozo para obtener las concentraciones requeridas durante la evaluación experimental.

El sistema de tratamiento consistió en un filtro percolador construido con un cilindro de aluminio de 3 m de altura y 1 m de diámetro. El influente se distribuía radialmente en la parte superior del sistema para favorecer una distribución uniforme sobre el material de soporte (Figura 1 y 2).

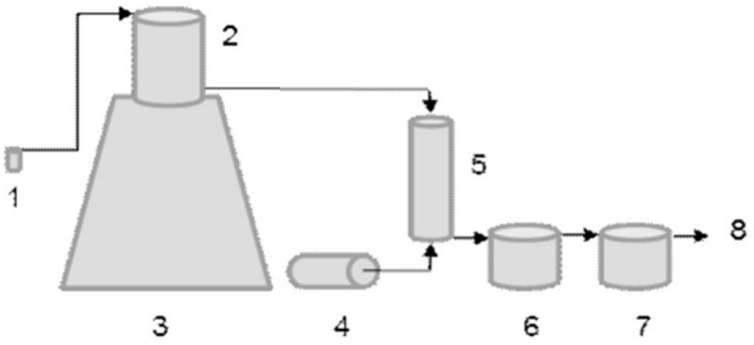


Figura 1. Representación esquemática del sistema de tratamiento de aguas residuales. 1. Bomba. 2. Tanque de dilución. 3. Bordo. 4. Compresor. 5. Biofiltro. 6. Preclarificador. 7.Clarificador. 8. Efluente final.



Figura 2. Vista lateral del sistema de tratamiento en el que se aprecia el filtro percolador (izquierda) y los tanques seriados de clarificación del efluente (derecha).

El filtro fue empacado con piedra volcánica de forma semiesférica y un tamaño aproximado de 2 a 4 cm de diámetro. El empleo de materiales minerales como soporte permite proporcionar superficies para la adhesión y desarrollo de biopelículas microbianas. En este sentido, el empleo de roca volcánica en filtros percoladores ha demostrado resultados favorables en el tratamiento de efluentes de biodigestores porcinos con elevada carga orgánica (Pedraza et al., 2022). En la parte inferior del biofiltro se instaló un sistema de aireación conectado a un compresor, con el propósito de mantener condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos aerobios. La disponibilidad de oxígeno constituye un factor fundamental para los procesos de oxidación de materia orgánica y nitrificación en sistemas de biopelícula (Chaali et al., 2018; Abdelfattah et al., 2020). Posteriormente, el efluente fue conducido hacia un sistema de sedimentación compuesto por un preclarificador y un clarificador

dispuestos en serie.

La evaluación experimental comprendió tres corridas con una duración de 20 días cada una. La concentración de DQO en el influente varió entre 2,002 y 3,074 mg/L, mientras que el tiempo de retención hidráulica se mantuvo constante en nueve horas. Para evaluar la eficiencia del sistema se determinaron las concentraciones de DQO, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo total, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto en el influente y el efluente.

Resultados y discusión

El filtro percolador presentó una elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica. La concentración de DQO en el influente osciló entre 2,002 y 3,074 mg/L, mientras que la eficiencia de remoción varió entre 90 y más de 96 %, con un promedio de 93 %. La concentración media de DQO en el efluente fue de 172 mg/L. La elevada remoción de materia orgánica observada coincide con los resultados reportados para filtros percoladores aplicados al tratamiento de efluentes anaerobios de origen porcino. Torres-Trinidad et al. (2017) obtuvieron eficiencias de remoción de DQO de 90–96 % utilizando un filtro percolador empacado con roca volcánica y operado con un tiempo de retención hidráulica de nueve horas. Estos resultados respaldan el potencial de los sistemas de biopelícula para el tratamiento de efluentes con elevada carga orgánica. Po otro lado, también se ha reportado que los reactores de biopelícula pueden alcanzar elevadas eficiencias de remoción de materia orgánica en aguas residuales con elevada carga orgánica, ya que el material de soporte retiene una elevada concentración de biomasa activa (Abdelfattah et al., 2020; Chaali et al., 2018).

En relación con el nitrógeno total, la concentración promedio disminuyó de 145 mg/L en el influente a 75 mg/L en el efluente, lo que correspondió a una eficiencia promedio de remoción cercana al 48 %. Aunque se obtuvo una reducción significativa, la concentración final indica que podrían requerirse tratamientos complementarios para alcanzar condiciones de calidad más estrictas. En sistemas que reciben efluentes anaerobios con elevada concentración de nitrógeno, se ha demostrado que los filtros percoladores pueden favorecer procesos de nitrificación, mientras que la desnitrificación requiere condiciones adicionales o etapas complementarias (Forbis-Stokes et al., 2018).

La remoción de nitrógeno amoniacal fue uno de los resultados más relevantes en esta investigación. La concentración inicial fluctuó aproximadamente entre 66 y 71 mg/L y se redujo hasta un promedio de 2.4 mg/L en el efluente, con una eficiencia promedio de remoción cercana al 98 %. Este resultado evidencia la elevada capacidad del sistema para disminuir la concentración de nitrógeno amoniacal bajo condiciones aerobias. La elevada remoción de nitrógeno amoniacal puede asociarse con la actividad de microorganismos nitrificantes establecidos en la biopelícula, la cual depende principalmente de la disponibilidad de oxígeno y de las condiciones de crecimiento de las comunidades microbianas responsables de la oxidación del amonio y del nitrito (Chaali et al., 2018; Forbis-Stokes et al., 2018). De manera particular, Zhao et al. (2020) demostraron que los biofiltros percoladores pueden favorecer procesos simultáneos de nitrificación y desnitrificación durante el tratamiento de efluentes digeridos de origen porcino. Estos resultados respaldan el potencial de los filtros percoladores para el control de las formas nitrogenadas presentes en aguas residuales porcícolas.

Respecto al fósforo total, la concentración promedio disminuyó de 70 mg/L en el influente a 29 mg/L en el efluente, con una eficiencia promedio de remoción de 58 %. La variabilidad observada en las concentraciones finales indica la necesidad de mantener un monitoreo continuo de este parámetro, particularmente cuando el efluente se destina a reutilización agrícola. Estudios recientes sobre tratamiento de aguas residuales porcícolas señalan que el fósforo representa uno de los principales nutrientes que deben ser considerados en los esquemas de tratamiento y reutilización de estos efluentes (Chen et al., 2023; Meng et al., 2023).

La conductividad eléctrica presentó una reducción promedio de aproximadamente 35 %, al disminuir de 1.57 a 1.02 mS/cm. La conductividad eléctrica constituye un parámetro relevante para evaluar la aptitud del agua tratada para reutilización agrícola, debido a su relación con la concentración de sales disueltas y con posibles efectos sobre suelo, cultivos y sistemas de riego (ISO 16075-1, 2020).

Por otra parte, la concentración de oxígeno disuelto aumentó de un promedio de 0.2 mg/L en el influente a 3.1 mg/L en el efluente. Este incremento es relevante para el funcionamiento del proceso

biológico, debido a que la disponibilidad de oxígeno condiciona la actividad de las comunidades microbianas aerobias y, particularmente, de los microorganismos responsables de la nitrificación (Chaali et al., 2018; Abdelfattah et al., 2020).

Conclusiones

El un filtro percolador empacado con piedra volcánica mostró ser altamente eficiente para el tratamiento de aguas residuales porcícolas con concentraciones de DQO de alrededor de 3000 mg/L. Los efluentes generados cumplen con todas las especificaciones respecto a los límites máximos permisibles para su uso como agua de riego, así como para su descarga en ríos y embalses naturales o artificiales que almacenan
agua para riego de cultivos agrícolas. El tiempo de retención hidráulica con el que se llevó a cabo la evaluación del filtro percolador fue de nueve horas, de tal modo que se plantea la necesidad de llevar a cabo otras evaluaciones con menores tiempos de retención, lo que implicaría mayores volúmenes de tratamiento en función del tiempo y, por lo tanto, menores costos de operación.

Agradecimientos y fuente financiadora

Esta investigación fue financiada con recursos fiscales del INIFAP.

Referencias bibliográficas

Abdelfattah, A., Hossain, M. I., & Cheng, L. (2020). High-strength wastewater treatment using microbial biofilm reactor: A critical review. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 36(5), 75. https://doi.org/10.1007/s11274-020-02853-y.

Bressani-Ribeiro, T., Almeida, P. G. S., Volcke, E. I. P., & Chernicharo, C. A. L. (2018). Trickling filters following anaerobic sewage treatment: State of the art and perspectives. Environmental Science: Water Research & Technology, 4(11), 1721–1738. https://doi.org/10.1039/C8EW00330K.

Chaali, M., Naghdi, M., Brar, S. K., & Avalos-Ramirez, A. (2018). A review on the advances in nitrifying biofilm reactors and their removal rates in wastewater treatment. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 93(11), 3113–3124. https://doi.org/10.1002/jctb.5692.

Chen, N., Zhang, X., Du, Q., Huo, J., Wang, H., Wang, Z., Guo, W., & Ngo, H. H. (2023). Advancements in swine wastewater treatment: Removal mechanisms, influential factors, and optimization strategies. Journal of Water Process Engineering, 54, 103986. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103986.

Forbis-Stokes, A. A., Rocha-Melogno, L., & Deshusses, M. A. (2018). Nitrifying trickling filters and denitrifying bioreactors for nitrogen management of high-strength anaerobic digestion effluent. Chemosphere, 204, 119–129. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.137.

International Organization for Standardization. (2020). ISO 16075-1:2020: Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects—Part 1: The basis of a reuse project for irrigation. ISO.

Li, C., Lin, Y., Li, X., Cheng, J. J., & Yang, C. (2023). Cupric ions inducing dynamic hormesis in duckweed systems for swine wastewater treatment: Quantification, modelling and mechanisms. Science of the Total Environment, 866, 161411. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161411.

Li, C., Lin, Y., Li, X., Cheng, J. J., & Yang, C. (2023). Cupric ions inducing dynamic hormesis in duckweed systems for swine wastewater treatment: Quantification, modelling and mechanisms. Science of the Total Environment, 866, 161411.

Meng, X., Jin, M., Feng, Q., Sha, A., Bai, S., & Zhao, X. (2023). Resource and energy utilization of swine wastewater treatment: Recent progress and future directions. Separations, 10(12), 591. https://doi.org/10.3390/separations10120591.

Pedraza, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., & Giraldo, L. (2002). Evaluation of polyethylene and PVC tubular biodigesters in the treatment of swine wastewater. Livestock Research for Rural Development, 14(1). https://www.lrrd.org/lrrd14/1/Pedr141.htm.

RECONOCIMIENTO DE LA FAUNA ASOCIADA AL MANGLAR COMO EXPRESIÓN DEL CONOCIMIENTO ECOLÓGICO LOCAL EN LA ZONA COSTERA DE TABASCO, MÉXICO

Carlos Alberto Martínez-Márquez[1*], Juan Manuel Zaldívar-Cruz[2], Saúl Sánchez-Soto[2], Ángel Sol-Sánchez[2] y Mario Manuel Aliphat Fernández[3]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental El Palmar, Km 16 Carretera Tezonapa-El Palmar, Tezonapa C.P. 95080, Veracruz, México. [2]Colegio de Postgraduados, Área de Agricultura, Km 3.5 Cárdenas-Huimanguillo, Ranchería Rio Seco y Montaña, Cárdenas C.P. 86500, Tabasco, México. [3]Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Colegio de Postgraduados, Boulevard nte Forjadores de Puebla, Núm 205 Santiago Momoxpan, Mpio San Pedro Cholula C.P. 72760, Puebla, México
*Autor para correspondencia: martinez.carlos@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Conservación, aprovechamiento sustentable, biodiversidad, ecosistemas costeros.*

Introducción

Los ecosistemas de manglar constituyen uno de los ambientes costeros más productivos y biodiversos del mundo. Además de proteger la línea de costa frente a la erosión y los eventos hidrometeorológicos, desempeñan un papel fundamental en el almacenamiento de carbono, el mantenimiento de la calidad del agua y el ciclado de nutrientes, proporcionando múltiples servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano (Friess *et al*., 2020). Asimismo, estos ecosistemas funcionan como áreas de alimentación, refugio y reproducción para una amplia diversidad de peces, crustáceos, moluscos, reptiles, aves y mamíferos, los cuales sustentan procesos ecológicos y actividades productivas de gran importancia para las comunidades costeras.
La estrecha interacción entre las comunidades humanas y los ecosistemas de manglar ha favorecido el desarrollo de un amplio conocimiento ecológico local (CEL), entendido como el conjunto de conocimientos, experiencias y prácticas que las personas adquieren mediante la observación, el uso y la interacción continua con su entorno natural. Este conocimiento constituye una fuente de información complementaria al conocimiento científico, ya que permite comprender aspectos relacionados con la biodiversidad, el funcionamiento de los ecosistemas y el aprovechamiento de los recursos naturales desde la perspectiva de quienes mantienen un contacto cotidiano con ellos.
Una de las manifestaciones más evidentes del conocimiento ecológico local es la capacidad para reconocer las especies presentes en un ecosistema. El reconocimiento de la fauna refleja la experiencia acumulada por las comunidades a través de la observación, el aprovechamiento y la convivencia permanente con la biodiversidad local. En consecuencia, las diferencias en el grado de reconocimiento entre los distintos grupos faunísticos pueden aportar información sobre la frecuencia de interacción con las especies, su importancia ecológica, económica o cultural y los procesos mediante los cuales se construye y transmite el conocimiento ecológico local.
Diversos estudios han demostrado que el conocimiento ecológico local está influenciado por factores como la frecuencia de uso de los recursos, la ocupación, la edad, el contexto sociocultural y la participación de las personas en actividades relacionadas con el aprovechamiento de los ecosistemas. En los manglares, el reconocimiento de la fauna suele ser mayor para aquellas especies que forman parte de las actividades productivas o del consumo local, mientras que los organismos de hábitos crípticos, menor abundancia o escasa interacción con las comunidades podría presentar niveles inferiores de reconocimiento.
En México, la mayoría de las investigaciones relacionadas con el conocimiento ecológico local en ecosistemas de manglar se han enfocado en documentar el uso tradicional de los recursos naturales, las prácticas de aprovechamiento y la percepción de los servicios ecosistémicos. No obstante, aún son escasos los estudios que evalúan cuantitativamente el reconocimiento de la fauna asociada al manglar como una expresión del conocimiento ecológico local y que, además, analicen si la estructura de dicho reconocimiento difiere entre hombres y mujeres. Generar este tipo de información permite comprender cómo las comunidades perciben la biodiversidad del manglar y aporta

elementos útiles para fortalecer estrategias de conservación, manejo participativo y educación ambiental.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue analizar el reconocimiento de la fauna asociada al manglar como una expresión del conocimiento ecológico local de productores con permiso de aprovechamiento del manglar en la zona costera de Tabasco, México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la zona costera del estado de Tabasco, México, donde se localizan importantes extensiones de ecosistemas de manglar sujetos a aprovechamiento forestal autorizado. El estado se ubica entre los 17°15' y 18°39' N y los 90°59' y 94°07' O, limitando al norte con el Golfo de México, al este con Campeche y Guatemala, al sur con Chiapas y al oeste con Veracruz. La región presenta un clima tropical húmedo y concentra una elevada diversidad biológica, además de sostener actividades productivas estrechamente vinculadas con los recursos del manglar.

Previamente al trabajo de campo se realizaron visitas a las comunidades para establecer contacto con las autoridades locales, presentar los objetivos del estudio y solicitar su autorización para el desarrollo de las actividades. Posteriormente se identificó a los productores dedicados al aprovechamiento tradicional del manglar (mangleros) que contaban con permisos vigentes expedidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

El tamaño de muestra se determinó mediante la fórmula para poblaciones finitas, considerando como población de referencia el total de productores con permiso de aprovechamiento del manglar. A partir de este procedimiento se seleccionaron aleatoriamente 74 participantes, quienes aceptaron colaborar voluntariamente en el estudio. Durante todo el proceso se garantizó la confidencialidad de la información proporcionada.

La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas, metodología que permite combinar preguntas previamente definidas con la flexibilidad necesaria para profundizar en aspectos relevantes del conocimiento de los participantes (Díaz-Bravo *et al*., 2013; Tejero, 2021). En cada entrevista se registró el sexo, la edad y el número de integrantes del hogar. Posteriormente, se solicitó a los participantes identificar las especies de fauna asociadas al ecosistema de manglar que reconocían a partir de su experiencia y conocimiento local. Las especies reconocidas se agruparon en categorías taxonómicas, y para cada entrevistado se calculó el porcentaje de reconocimiento correspondiente a cada grupo.

Los porcentajes se compararon entre grupos faunísticos mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis, seguida de comparaciones múltiples utilizando la prueba de Dunn con ajuste de Bonferroni ($\alpha = 0.05$). Los resultados se presentan como media ± error estándar.

Con el propósito de explorar la estructura general del conocimiento ecológico local sobre la fauna del manglar, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) utilizando los porcentajes de reconocimiento de cada grupo taxonómico. Posteriormente, las puntuaciones obtenidas para los dos primeros componentes principales se compararon entre hombres y mujeres mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

Todos los análisis se realizaron con el software R versión 4.2.1 para Windows.

Resultados y discusión

Se entrevistaron 74 personas, de las cuales 16 fueron mujeres y 58 hombres, con edades comprendidas entre 37 y 85 años. El número de integrantes por hogar osciló entre 1 y 8 personas. Los productores reconocieron un total de 89 especies de fauna asociadas al manglar, agrupadas en seis categorías taxonómicas, distribuidas en 49 peces, 14 aves, 10 reptiles, seis crustáceos, seis mamíferos y cuatro moluscos.

El grado de reconocimiento difirió significativamente entre los grupos (Kruskal–Wallis: $\chi^2 = 76.53$; gl = 5; $p < 0.001$). evidenciando que el conocimiento ecológico local no se distribuye de manera homogénea entre los distintos componentes de la fauna asociada al manglar. Los moluscos registraron el mayor porcentaje promedio, mientras que las aves y los mamíferos presentaron los valores más bajos (Figura 1). Este patrón probablemente refleja las diferencias en la frecuencia de

interacción entre las personas y cada grupo taxonómico. El mayor reconocimiento de los moluscos probablemente responde a su importancia como recurso de aprovechamiento tradicional, ya que los distintos grupos humanos a lo largo del mundo y del tiempo los han aprovechado de distintas maneras (Burgos *et al*., 2019). El menor reconocimiento de aves y mamíferos podría relacionarse con su mayor movilidad, hábitos, y características ecológicas propias de cada especie factores que reducen las oportunidades de observación e identificación por parte de los habitantes.

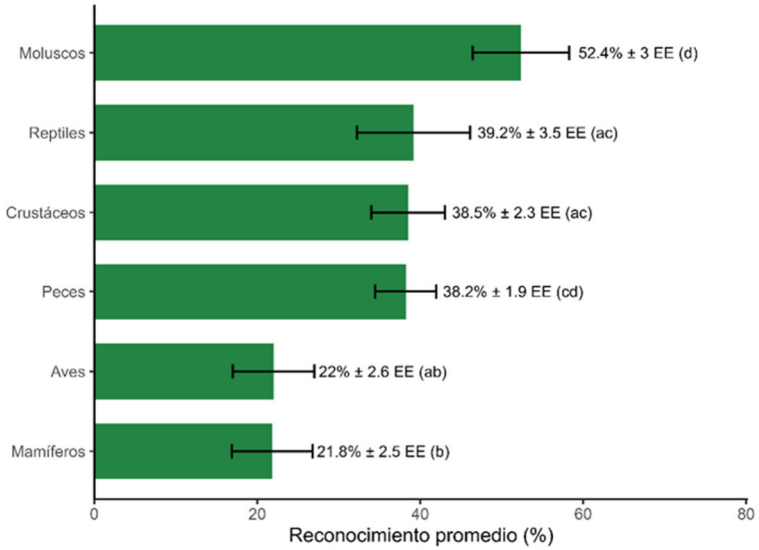


Figura 1. Porcentaje promedio de reconocimiento de los grupos faunísticos por los entrevistados. Las columnas muestran la media, las barras de error representan el error estándar (EE) y los números sobre cada barra corresponden al valor medio (%). Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos.

Las comparaciones múltiples mediante la prueba de Dunn con ajuste de Bonferroni mostraron que los moluscos difirieron de reptiles, crustáceos, aves y mamíferos, aunque no de los peces. Asimismo, reptiles, crustáceos, peces y aves compartieron algunas comparaciones sin diferencias estadísticas, mientras que los mamíferos únicamente no difirieron de las aves (Figura 1). Estos resultados indican que el conocimiento ecológico local sobre la fauna del manglar no se organiza en categorías taxonómicas claramente diferenciadas, sino que responde a un gradiente de experiencia asociado con la frecuencia de uso y observación de las especies. En este sentido, el reconocimiento de la fauna parece construirse de manera progresiva mediante la interacción cotidiana con el ecosistema, más que a partir de una clasificación taxonómica formal. Ya que como señala Keleman et al. (2026) la capacidad para identificar especies asociadas al manglar se desarrolla mediante la práctica, la experiencia y la participación en las actividades cotidianas.

El análisis de componentes principales reveló que los dos primeros componentes explicaron el 73.4 % de la variación total del reconocimiento de la fauna (PC1 = 60.8 %; PC2 = 12.6 %). La distribución de los entrevistados mostró un amplio traslape entre hombres y mujeres en el espacio de ordenación (Figura 2), lo que indica que ambos grupos comparten una estructura general semejante del conocimiento ecológico local sobre la fauna del manglar. Aunque el primer componente principal presentó diferencias significativas entre hombres y mujeres (Wilcoxon: $W = 305$; $p = 0.037$), el segundo componente no mostró diferencias estadísticas ($W = 407$; $p = 0.458$). La orientación de los vectores indica que el primer componente representa un gradiente general de reconocimiento de la fauna, ya que todos los grupos taxonómicos contribuyeron positivamente a este eje. En consecuencia, los entrevistados con valores elevados en PC1 tendieron a reconocer un mayor número de especies en la mayoría de los grupos evaluados. Por el contrario, el segundo componente explicó una proporción menor de la variación y reflejó diferencias específicas en la composición del conocimiento, sin evidenciar una separación consistente entre hombres y mujeres. Estos resultados

sugieren que las diferencias observadas entre ambos sexos corresponden principalmente al nivel de conocimiento acumulado y no a formas distintas de organizar o comprender la biodiversidad del manglar. Este patrón coincide con lo reportado por Keleman et al. (2026), quienes señalan que el conocimiento ecológico local es un proceso dinámico construido a partir de la experiencia, la participación en las actividades productivas y la interacción continua con el ecosistema, más que una característica determinada exclusivamente por el género. Asimismo, la disposición de los vectores evidenció una tendencia a agrupar los grupos faunísticos asociados a ambientes predominantemente acuáticos y terrestres, lo que sugiere que el conocimiento ecológico local también refleja la forma en que las comunidades perciben y utilizan los diferentes ambientes que conforman el ecosistema de manglar.

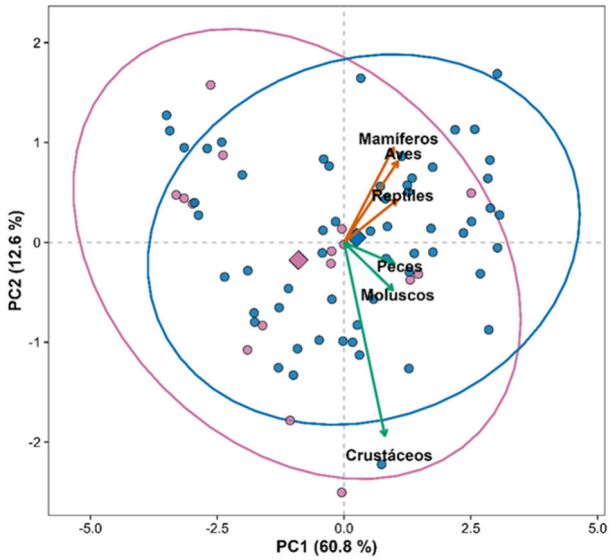


Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA) del reconocimiento de los grupos faunísticos asociados al manglar según el sexo de las personas entrevistadas. Cada punto representa un entrevistado (mujeres = fucsia; hombres = azul). Las elipses corresponden al intervalo de confianza del 95 % de cada grupo y los rombos indican sus centroides. Las flechas representan los vectores de los grupos faunísticos (verde = afinidad acuática; naranja = afinidad terrestre). Los porcentajes indicados en los ejes corresponden a la varianza explicada por cada componente principal.

Conclusiones

El conocimiento ecológico local de los productores permitió documentar una amplia representación de la fauna asociada al ecosistema de manglar, evidenciando que el reconocimiento de las especies no se distribuye de manera uniforme entre los diferentes grupos faunísticos. Los mayores niveles de reconocimiento registrados para los moluscos sugieren que la frecuencia de interacción y el aprovechamiento tradicional constituyen factores determinantes en la construcción del conocimiento ecológico local, mientras que el menor reconocimiento de aves y mamíferos probablemente refleja una menor oportunidad de observación derivada de sus características ecológicas.

Aunque el análisis multivariado detectó diferencias en el grado de conocimiento entre hombres y mujeres, ambos grupos compartieron una estructura general semejante del conocimiento ecológico local. Este resultado indica que la experiencia acumulada mediante la interacción cotidiana con el manglar tiene una mayor influencia en la construcción del conocimiento que el género de los participantes, destacando el carácter dinámico y colectivo del conocimiento ecológico local.

Los resultados obtenidos confirman que el conocimiento ecológico local constituye una fuente de información complementaria al conocimiento científico para comprender los patrones de

reconocimiento de la biodiversidad asociada al manglar. Su integración en programas de conservación, manejo participativo y educación ambiental puede fortalecer la gestión sostenible de estos ecosistemas, al incorporar la experiencia y el conocimiento de las comunidades locales en la toma de decisiones. Asimismo, futuras investigaciones deberán profundizar en la influencia de variables como la ocupación, el tiempo de residencia, la experiencia de aprovechamiento y el recambio generacional, con el propósito de comprender los procesos de adquisición, transmisión y conservación del conocimiento ecológico local.

Agradecimientos

A los productores de mangle (mangleros) de la costa de Tabasco, México.

Referencias bibliográficas

Burgos, A., Younger, A.C., & Wolverton, S. (2019). Human Mollusk Interactions in a Changing World. Journal of Ethnobiology, 39 (2): 175–181

Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M. y Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. Investigando. Educativo. Medicina. 2:162–167.

Friess, D. A., Yando, E. S., Alemu, J. B., Wong, L.W., Soto, S. D. & Bhatia, N. (2020). Ecosystem services and disservices of mangrove forests and salt marshes. p. 107–141. In: Hawkins, S. J., Allcock, A. L., Bates, A. E., Evans, A. J., Firth, L. B., McQuaid, C. D., Russell, B. D., Smith, I. P., Swearer, S. E., Todd, P. A. (Eds.) Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. Taylor & Francis: Oxfordshire, UK, Volume 58.

Keleman, PJ., Nacutum, L. N. O., Mané, A. B., Sá R. M. & Temuto, M. P. (2026). Species Naming as Child's Play? Generational and Gendered Knowledge of Fishery Resources in Bissau-Guinean Mangroves. Ethnobot. Econ. Bot. 80, 285–303. https://doi.org/10.1007/s12231-026-09666-4

Tejero, G. J. M. (2021). Técnicas de Investigación Cualitativa en los Ámbitos Sanitarios y Sociosanitarios. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha: Cuenca, España. 180 p.

DESEMPEÑO FISICOQUÍMICO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO DE RECIRCULACIÓN BAJO CONDICIONES DE CLIMA TROPICAL HÚMEDO

María Elena Cárdenas-Córdova[1], Carlos Alberto Martínez-Márquez[2]*, Hugo Alvarado-Diaz[3], Rudy Solís-Silván[1] y Litzy Flor Javier-Velázquez[1].

[1]Tecnológico Nacional de México / ITS de Comalcalco, Carretera Vecinal Comalcalco–Paraíso Km 2, Ranchería Occidente 3ra. Sección, Comalcalco, Tabasco, México, C.P. 86651. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental El Palmar, Km 16 Carretera Tezonapa-El Palmar, Tezonapa C.P. 95080, Veracruz, México [3]División Académica de Ciencias de la Salud – UJAT, Av. Coronel Gregorio Méndez Magaña, No 2838-A, Col. Tamulté de las Barrancas, Villahermosa, Tabasco, México, C.P. 86150
*Autor para correspondencia: martinez.carlos@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Contaminación, acuicultura, sostenible, recirculación, nutrientes.*

Introducción

La acuaponía está considera como un sistema de producción sostenible que integra la acuicultura y la hidroponía mediante un circuito de recirculación, en el cual peces, plantas y bacterias nitrificantes interactúan para transformar los desechos metabólicos en nutrientes que pueden ser aprovechables. Esta tecnología favorece un uso eficiente del agua y reduce la aplicación de fertilizantes sintéticos, representando una alternativa sustentable con menor impacto ambiental respecto a los sistemas convencionales (Goddek *et al*., 2020). La calidad del agua es uno de los principales factores que determinan el funcionamiento de los sistemas acuapónicos, ya que esta influye en el bienestar de los peces, en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y en la actividad de las bacterias nitrificantes. En este sentido, el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y nutrientes en el agua permiten evaluar la estabilidad del sistema y detectar oportunamente alteraciones que puedan afectar su desempeño (Chandramenon *et al*., 2024; Anila & Daramola, 2025). Aunque la acuaponía ha sido ampliamente estudiada, la información sobre el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua en sistemas establecidos bajo las condiciones climáticas del sureste de México continúa siendo limitada. Esta situación evidencia la necesidad de generar información local que contribuya al manejo y optimización de estos sistemas en instituciones de educación superior. El objetivo del presente estudio fue evaluar la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en un sistema acuapónico de recirculación bajo condiciones de clima tropical húmedo.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y un diseño no experimental, en un sistema de producción acuapónico ubicado en la División Académica de Ciencias de la Salud de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México (Figura 1).

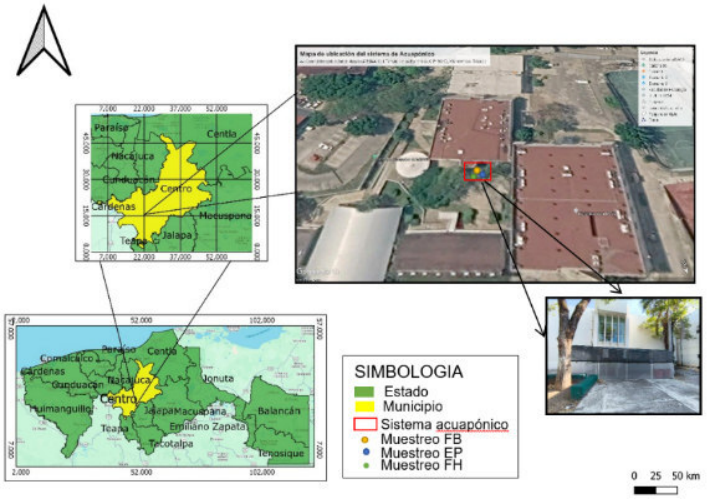


Figura 1. Ubicación del sistema acuapónico.

El monitoreo se realizó de marzo a julio de 2026 con una frecuencia de un muestreo semanal, obteniéndose un total de diez momentos de muestreo. Se establecieron tres puntos de evaluación: estanque de peces (EP), filtración mecánico-biológico (FB) y sistema hidropónico (FH) (Figuras 2).



Figura 2. Configuración del sistema acuapónico experimental. A) estanque de peces (EP), B) filtración mecánico-biológico (FB), C) sistema hidropónico (FH).

Las variables evaluadas fueron temperatura (T), potencial de hidrogeno (pH), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), turbiedad (los cuales se realizaron en los tres puntos de evaluación (EP, FB) y FH). En relación a nitritos (NO_2) y fosfatos (PO_4) (estas fueron realizadas en dos puntos de monitoreo EP y FH). Las mediciones de temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales se realizaron *in situ* con ayuda del multiparamétrico portátil Hanna HI9829, mientras que las concentraciones de nitritos y fosfatos se determinaron con el colorímetro Hach DR900. Los datos obtenidos se registraron en bitácoras de campo y posteriormente se integraron en una base de datos de Excel para su procesamiento.
El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics Centurion XIX. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas para seleccionar la prueba estadística correspondiente. Las variables que cumplieron dichos supuestos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ($\alpha = 0.05$), mientras que aquellas que no los cumplieron se evaluaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis. Los resultados se compararon con los límites permisibles del criterio ecológico de calidad del agua CA-CCE-001/89.

Resultados y discusión

El pH permaneció estable entre los tres puntos de monitoreo del sistema acuapónico, sin detectarse diferencias estadísticamente significativas (ANOVA; p = 0.9337). La distribución de los datos (Figura 3) evidencia una baja variabilidad durante el periodo de estudio, lo que sugiere un comportamiento homogéneo del sistema. No obstante, el valor promedio registrado (5.61) fue inferior al intervalo de compromiso (7–8) recomendado para el cultivo de tilapia de acuerdo con los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 (SEDUE, 1989). Aunque un pH por debajo del intervalo óptimo puede disminuir la disponibilidad de algunos nutrientes y reducir la actividad de las bacterias nitrificantes (Goddek *et al*., 2020), la ausencia de diferencias entre los puntos de monitoreo indica que esta condición se mantuvo constante a lo largo del sistema, favoreciendo un ambiente relativamente estable para los procesos biológicos.

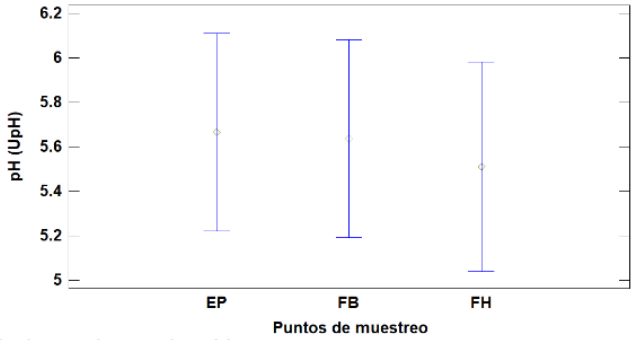


Figura 3. Distribución de los valores de pH.

En cuanto al oxígeno disuelto, las concentraciones permanecieron uniformes entre los puntos de monitoreo, sin diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Kruskal–Wallis (p = 0.9881), aplicada debido al incumplimiento del supuesto de normalidad. La distribución observada en la Figura 4 confirma la escasa variabilidad espacial de este parámetro y refleja condiciones adecuadas de aireación y recirculación del agua. Mantener concentraciones estables de oxígeno disuelto resulta esencial para sostener el metabolismo de los peces, la respiración radicular de las plantas y la actividad de las bacterias nitrificantes, procesos que, en conjunto, favorecen el equilibrio biológico y la eficiencia de los sistemas acuapónicos (Chandramenon *et al*., 2024).

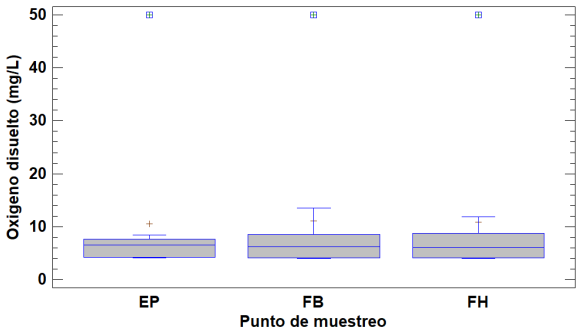


Figura 4. Comparación de las concentraciones de oxígeno disuelto.

Respecto a la temperatura, tampoco se detectaron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo del sistema (ANOVA; p = 0.9636), registrándose un promedio de 29.24 °C. Como se observa en la Figura 5, la variación fue mínima durante todo el periodo de monitoreo, indicando una adecuada estabilidad térmica. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Kok et al. (2024), quienes señalan que, en sistemas acuapónicos establecidos en regiones tropicales,

temperaturas relativamente constantes favorecen la actividad metabólica de peces, plantas y microorganismos, además de contribuir al mantenimiento de la calidad del agua.

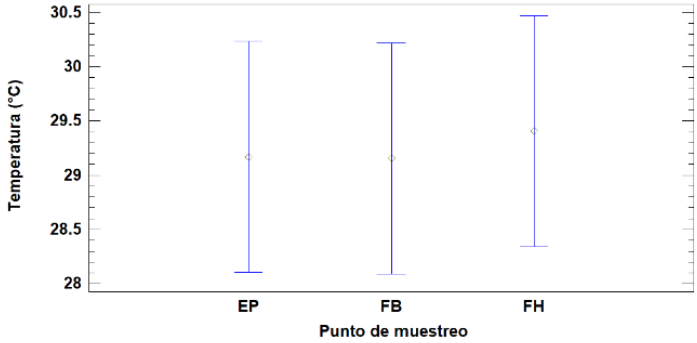


Figura 5. Comparación de la temperatura.

De manera consistente con los parámetros anteriores, las concentraciones de nitritos tampoco presentaron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo (ANOVA; p = 0.2661). La distribución de los datos (Figura 6) sugiere que el proceso de nitrificación ocurrió de manera continua a lo largo del sistema, evitando la acumulación de compuestos potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos. Este resultado constituye un indicador indirecto del adecuado funcionamiento del biofiltro y de la eficiencia de los procesos de transformación del nitrógeno bajo las condiciones de operación evaluadas.

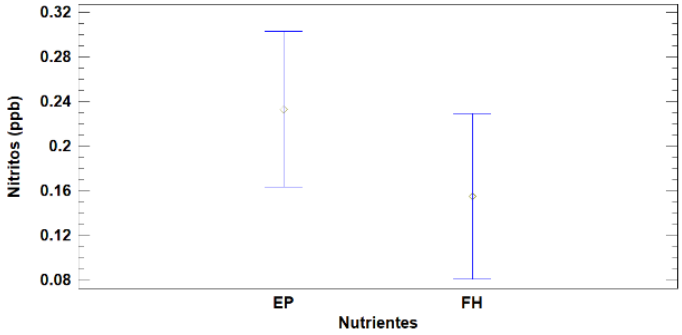


Figura 6. Comparación de los puntos de muestreo EP y FH para nitritos.

En cuanto a los fosfatos, aunque el sistema hidropónico presentó un promedio ligeramente superior al registrado en el estanque de peces, las diferencias no fueron estadísticamente significativas, tanto en el análisis de varianza (p = 0.1626) como en la prueba de Kruskal–Wallis (p = 0.1914). La distribución de los datos mostrada en la Figura 7 evidencia un comportamiento similar entre ambas etapas, lo que sugiere una disponibilidad relativamente uniforme de este nutriente y un adecuado proceso de recirculación y aprovechamiento dentro del sistema acuapónico.

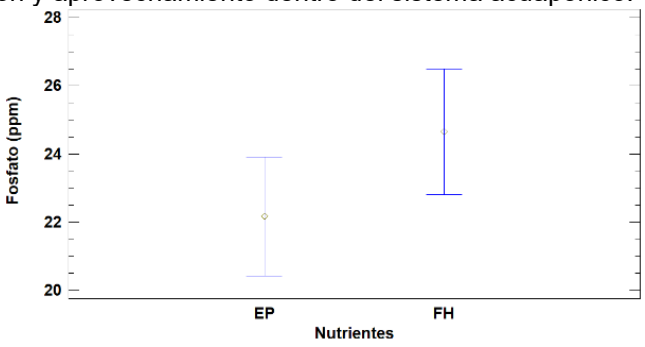


Figura 7. Comparación del fosfato (ppm) entre los puntos de muestreo EP y FH mediante intervalos de Fisher (95 %).

La estabilidad observada también fue consistente en otros indicadores de calidad del agua. Los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica no mostraron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo ($p > 0.05$), indicando que durante el periodo de evaluación no ocurrió una acumulación importante de sales ni de compuestos disueltos. De acuerdo con Anila y Daramola (2025), ambos parámetros constituyen indicadores del equilibrio iónico y del funcionamiento de los procesos de mineralización en sistemas acuapónicos de recirculación, por lo que su comportamiento homogéneo refleja un adecuado aprovechamiento de los nutrientes. Asimismo, la turbidez no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$), lo que evidencia un funcionamiento eficiente del sistema de filtración mecánico-biológico y una adecuada remoción de partículas suspendidas.
Estos los resultados demuestran que los parámetros fisicoquímicos evaluados mantuvieron un comportamiento estable entre los diferentes puntos del sistema acuapónico durante el periodo de monitoreo. La ausencia de diferencias estadísticas significativas sugiere que los procesos de alimentación de los peces, biofiltración, absorción de nutrientes por las plantas y recirculación del agua operaron de manera integrada, favoreciendo el equilibrio funcional del sistema. Este comportamiento coincide con lo descrito por Goddek et al. (2020), quienes identifican como esenciales para el funcionamiento eficiente de sistemas acuapónicos de recirculación.

Conclusiones

El sistema acuapónico evaluado mantuvo una calidad del agua estable durante el periodo de monitoreo, evidenciada por la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en los parámetros fisicoquímicos entre los puntos de muestreo. Lo cual nos permite indicar que los procesos de recirculación, biofiltración y aprovechamiento de nutrientes operaron de manera integrada, favoreciendo el equilibrio entre los componentes biológicos del sistema y contribuyendo a su funcionamiento adecuado bajo las condiciones de operación evaluadas.
Aunque el pH registró valores inferiores al intervalo de referencia recomendado para el cultivo de tilapia, su comportamiento fue uniforme durante todo el sistema y no se observaron evidencias de desequilibrio en las variables fisicoquímicas analizadas. La estabilidad observada sugiere que el sistema fue capaz de mantener condiciones ambientales favorables para el desarrollo simultáneo de peces, plantas y microorganismos.
Este tipo de información obtenida aporta evidencia sobre el desempeño de sistemas acuapónicos operados bajo condiciones de clima tropical húmedo en el sureste de México y constituyen una base para fortalecer estrategias de monitoreo y manejo de la calidad del agua. No obstante, es recomendable que futuras investigaciones amplíen el periodo de evaluación e incorporen variables relacionadas con la dinámica del nitrógeno (amonio y nitratos), la alcalinidad y la caracterización de las comunidades microbianas, con el propósito de comprender de manera más integral la estabilidad y eficiencia de estos sistemas a largo plazo.

Referencias bibliográficas

Anila, K., & Daramola, O. (2024). Smart aquaponics: A systematic review of monitoring and automation technologies. Artificial Intelligence Review. https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-024-11003-x.

Chandramenon, P., Aggoun, A., & Tchuenbou-Magaia, F. (2024). *Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality – Comprehensive review*. Computers and Electronics in Agriculture, 225, 109256. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109256.

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (Eds.). (2020). *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). (1989). *Criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89*. Diario Oficial de la Federación, México.

Kok, K., Lim, C., Abdullah, N., et al. (2024). Development of an automated aquaponic monitoring system using IoT technologies. Electronics, 13(5), 820. https://doi.org/10.3390/electronics13050820.

CAMBIOS A LARGO PLAZO EN LA ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD ARBÓREA DE LAS SELVAS DEL TORMENTO, CAMPECHE

Omar Alejandro Bravo Hernández[1], Alfaro Reyna Teresa[2*], José Joaquín Ríos Gómez[3], Julio Calán Zetina[3], Delgado Balbuena Josué[4, 5] y Maya Martínez Aixchel[2]

[1]Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carret. San Luis - Matehuala Km. 14.5, Ejido Palma de la Cruz, 78321, S.L.P.; [2] INIFAP/C.E. Edzná, Km 15.5 Carretera Campeche-Pocyaxum, San Francisco de Campeche, México. [3]Universidad Tecnológica de Calakmul, Carret. Dzibalchén - Xpujil, Km. 2, C.P. 24640, Calakmul, Camp.; [4]INIFAP/CENID Agricultura Familiar. Km 8.5, Lagos de Moreno - San Luis Potosí, 47540 Ojuelos de Jalisco, Jal.; [5]Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 Sur, Ciudad Obregón, Sonora, México.
*Autor para correspondencia: alfaro.teresa@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Parcelas permanentes*, *diversidad arbórea*, *dinámica forestal*.

Introducción

Las selvas de la Península de Yucatán constituyen sistemas forestales de alta importancia para la conservación de la biodiversidad, la regulación hídrica y el almacenamiento de carbono. Su estructura actual responde a una historia de aprovechamiento, conversión agropecuaria y abandono, por lo que en un mismo paisaje pueden coexistir remanentes de selva madura y vegetación secundaria en diferentes etapas de recuperación. En este contexto, las parcelas permanentes permiten evaluar de manera temporal los procesos de crecimiento, mortalidad, reclutamiento y sucesión, mediante el seguimiento de los mismos sitios e individuos.
En el Campo Experimental “El Tormento”, municipio de Escárcega, Campeche, se establecieron 30 parcelas permanentes para generar información de largo plazo sobre la dinámica de la vegetación y apoyar el manejo sostenible. El presente trabajo tuvo como objetivo general analizar los patrones de cambio a largo plazo en la estructura y composición arbórea de las selvas del sitio mediante el análisis de parcelas permanentes e identificar tendencias ecológicas asociadas con la dinámica forestal.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología Forestal “El Tormento”, Campeche, en áreas representativas de selva mediana y acahual. Se establecieron 30 parcelas permanentes circulares de 1,000 m² (0.1 ha), distribuidas de manera estratificada entre dos coberturas: 15 parcelas en acahual y 15 en selva mediana, con una superficie total de muestreo de 3.0 ha. Cada parcela presentó un radio de 17.84 m y se subdividió en ocho sectores de 45° para facilitar la ubicación y seguimiento de los individuos.
Todos los árboles fueron etiquetados individualmente y se registraron el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, altura de fuste limpio, condición del individuo e identificación taxonómica. Se realizaron mediciones en 2018 y 2026 para evaluar los cambios en la estructura y composición arbórea durante el periodo de seguimiento.
La base de datos se depuró considerando individuos vivos con DAP registrado e identificación taxonómica válida; los individuos muertos en pie y los tocones se analizaron por separado. Se estimaron densidad, área basal, riqueza específica e índices de diversidad y equidad, incluyendo Shannon-Wiener, Pielou, Simpson, Margalef, alfa de Fisher, números de Hill y Chao1. La diversidad beta se evaluó mediante el índice de Whittaker y las similitudes florísticas mediante los índices de Sørensen, Jaccard y Bray-Curtis. La distribución de individuos por clases diamétricas se analizó mediante el cociente de De Liocourt.
Para establecer la correspondencia entre las mediciones de 2016 y 2026, se empleó una doble estrategia de validación basada en la coincidencia de placas de identificación y en la correlación de Pearson entre los valores de DAP de individuos homólogos. Los datos se analizaron mediante

estadística descriptiva, índices ecológicos y análisis de correlación, con el propósito de caracterizar los cambios temporales en la estructura, composición y diversidad de las comunidades arbóreas.

Resultados y discusión

Se registraron 3,132 árboles vivos, pertenecientes a 92 especies y 33 familias botánicas, con una densidad promedio de 1,044 árboles ha^{-1} y un área basal de 27.12 m^2 ha^{-1}. El diámetro medio fue de 15.14 cm y el máximo de 106 cm, mientras que la altura media alcanzó 10.13 m y la máxima 28 m. Fabaceae fue la familia dominante, con 16 especies, 26.95 % de los individuos y 40.26 % del área basal. *Lysiloma latisiliquum* presentó el mayor valor de importancia (37.02), asociado principalmente con su elevada dominancia, ya que representó 23.94 % del área basal, aunque constituyó 9.13 % de los individuos.
La distribución diamétrica presentó un patrón de J invertida y un cociente de De Liocourt de 1.41, compatible con una comunidad estructuralmente balanceada y con capacidad de reemplazo del dosel. Los individuos menores de 10 cm representaron 33.9 % del total, mientras que los árboles de 60 cm o más constituyeron únicamente 0.7 %, pero concentraron 11.9 % del área basal. Esto evidencia la importancia estructural de un número reducido de árboles de gran tamaño y, simultáneamente, una reserva considerable de individuos en las clases diamétricas inferiores (Figura 1).

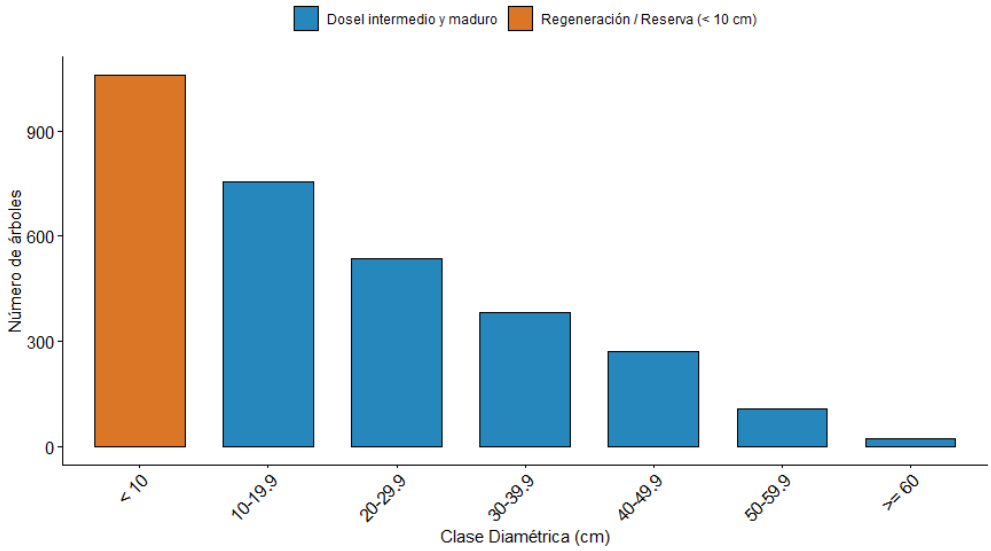


Figura 1. Distribución diamétrica cociente *De Liocourt*.

El contraste entre coberturas mostró diferencias principalmente estructurales. El acahual presentó mayor densidad (1,159 árboles ha^{-1}), pero menor área basal (24.05 m^2 ha^{-1}), mientras que la selva mediana registró 929 árboles ha^{-1} y 30.18 m^2 ha^{-1}. La diferencia fue particularmente evidente en las clases diamétricas intermedias y altas; por ejemplo, en la clase de 40–45 cm se registraron 20.0 árboles ha^{-1} en selva mediana frente a 0.7 en acahual. En contraste, la diversidad alfa fue semejante entre coberturas, con valores de Shannon de 3.566 y 3.577, respectivamente, y riquezas de 79 y 76 especies. Estos resultados sugieren que la recuperación de la composición florística del acahual puede preceder a su recuperación estructural.
A escala del paisaje, la diversidad fue elevada, con Shannon-Wiener de 3.686, equidad de Pielou de 0.815 y Simpson de 0.961. El estimador Chao1 calculó una riqueza esperada de 105.1 especies, por lo que las 92 especies observadas representan aproximadamente 87.5 % de la riqueza estimada. La diversidad beta también fue elevada ($\beta w = 3.19$), con similitud media de Sørensen de 0.429 y disimilitud media de Bray-Curtis de 0.746. El elevado recambio florístico confirma que el área

estudiada es espacialmente heterogénea y que la clasificación por cobertura no explica por sí sola toda la variación en la composición de la comunidad (Figura 2).

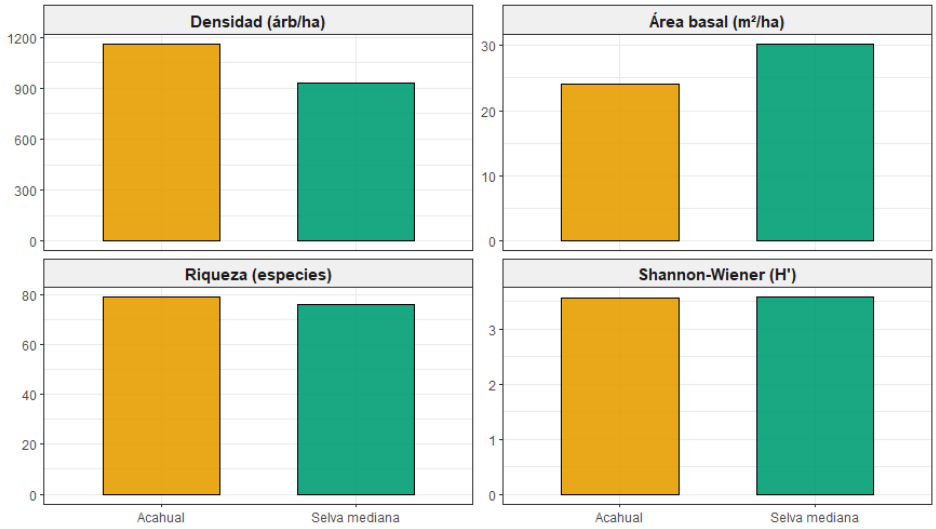


Figura 2. Comparación de indicadores estructurales y de diversidad en acahual y selva mediana.

En cuanto a la dinámica forestal, el incremento diamétrico medio de los individuos con seguimiento fue de 3.52 cm, con una mediana de 1.50 cm y desviación estándar de 5.77 cm. La diferencia entre media y mediana refleja una distribución asimétrica, en la que la mayoría de los individuos presentó incrementos relativamente bajos, mientras que un grupo reducido mostró crecimientos elevados. *Dendropanax arboreus* y *Simarouba amara* presentaron los mayores incrementos medios, con 11.34 y 7.55 cm, respectivamente, mientras que *Piscidia piscipula* y *Luehea speciosa* registraron los menores valores, con 0.94 y 0.38 cm. Este comportamiento es consistente con diferencias en la posición de los individuos dentro del dosel y sus condiciones de crecimiento (Figura 3).
La mortalidad acumulada de los individuos con seguimiento fue de 9.6 %. Esta mortalidad equivale a tasas anuales a 1.25 %. Los valores obtenidos son comparables con las tasas reportadas en bosques tropicales. Asimismo, se registró un número importante de reclutas, lo que evidencia un proceso activo de renovación de la comunidad y un ingreso continuo de individuos a las clases diamétricas inferiores.

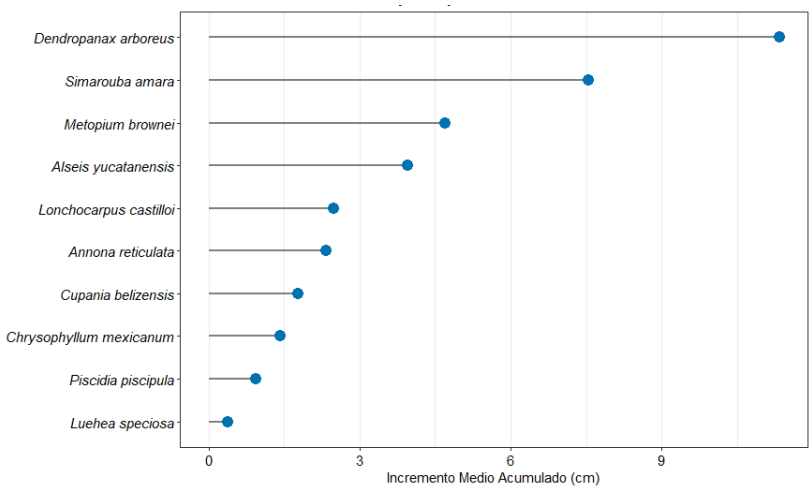


Figura 3. Incremento diamétrico medio por especie

La mortalidad también fue particularmente elevada en *Gmelina arborea*, especie introducida asociada con las antiguas plantaciones, con 52.2 %, mientras que entre las especies nativas el valor máximo fue de 25.6 %. Este patrón es consistente con un proceso de sustitución progresiva de elementos de las plantaciones forestales por regeneración natural; sin embargo, la confirmación de una trayectoria sucesional requiere clasificar las especies por gremios ecológicos.

Conclusiones

La línea base de las 30 parcelas permanentes caracteriza a El Tormento como un sistema forestal diverso, con estructura diamétrica balanceada y elevada heterogeneidad espacial. La comunidad presenta alta diversidad, mientras que la distribución en J invertida y el cociente de De Liocourt de 1.41 indican capacidad de regeneración y reemplazo del dosel.
El acahual y la selva mediana muestran una composición florística y diversidad alfa semejantes, pero difieren claramente en tamaño y acumulación de biomasa estructural, lo que indica que la recuperación de la composición puede avanzar más rápido que la recuperación de la estructura. La elevada mortalidad de *Gmelina arborea* también es compatible con la sustitución de plantaciones antiguas por vegetación nativa en regeneración. El incremento diamétrico medio y la mortalidad acumulada observados son compatibles con una comunidad en renovación.

Agradecimientos

A la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y al CITTFOR, por el apoyo y las facilidades otorgadas durante la toma de datos.

Referencias bibliográficas

Brower, J. E., Zar, J. H. y Von Ende, C. N. (1997). Field and laboratory methods for general ecology (4.ª ed.). McGraw-Hill.
Chao, A. (1984). Nonparametric estimation of the number of classes in a population. Scandinavian Journal of Statistics, 11(4), 265–270.
Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. Blackwell Publishing.
Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. Taxon, 21(2/3), 213–251.

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE LA ESPECIE SILVESTRE DE ALGODÓN *Gossypium lobatum* Gentry

Claudia Pérez Mendoza[1*], Ma. del Rosario Tovar Gómez[1], Gabriela Ramírez Ojeda[2] y Martha Elena Pedraza Santos[3]

[1]Campo Experimental Valle de México, [2]Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, [3]Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
*Autor para correspondencia: perez.claudia@inifap.gob.mx

Palabras Clave: *Especie endémica, conservación, herbarios.*

Introducción

México es el centro de origen de la especie cultivada de algodón con mayor producción: *Gossypium hirsutum* L. (Ulloa *et al*., 2013). La producción mundial de algodón para el ciclo 2025/2026 se estima, aproximadamente, en 25.5 millones de toneladas, en donde China liderea con cerca del 25.6% del total de la producción mundial de algodón (6.8 millones de toneladas), seguido por India, Brasil, Estados Unidos y Pakistán como los principales países productores y, juntos representan más de las tres cuartas partes de la producción mundial (FAO, 2026). En México, la superficie y producción intensiva del cultivo de algodón se concentra principalmente en cuatro entidades sobresaliendo Chihuahua con 89,529 ha (75.5%), Baja California con 10,196 ha (8.6%), Tamaulipas con 5,111 ha (4.31%) y Coahuila con 8,883 ha (7.49%), con rendimiento promedio de 4.05 t ha^{-1} (SIAP, 2026).
En México se localizan también 11 especies silvestres de algodón (*Gossypium)*: *armourianum, lobatum, gossypioides*, *aridum*, *laxum*, *shwendimanii*, *turberi, trilobum, davisonii, turneri y harknesii* (Ulloa *et al*., 2013). Diversas expediciones fueron realizadas por científicos del extranjero, esto con el fin de recolectar la diversidad del género *Gossypium* para utilizarlas en los programas de mejoramiento genético para la formación de nuevas variedades convencionales (Pérez *et al.,* 2011). En esa búsqueda de diversidad, en el año de 1956, fue reportada por primera vez, la especie silvestre de algodón *Gossypium lobatum* Gentry, la cual tiene su hábitat principalmente en el estado de Michoacán (Gentry, 1956). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar la distribución geográfica potencial de la especie silvestre *G. lobatum* Gentry.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica sobre los datos de la presencia de la especie silvestre *Gossypium lobatum*. Se elaboró una base de datos pasaporte con las colectas reportadas para *G. lobatum*, del periodo de 1951 a 2014. La información incluyó los datos georreferenciados recolectados por integrantes de la Red de Algodón, así como de colectas realizadas por diferentes investigadores, tanto nacionales como internacionales y depositadas en los Herbarios del Instituto Nacional de Ecología (INECOL) de Xalapa y del Instituto de Biología de la Universidad Autónoma Nacional de México (MEXU), además de los ejemplares del Banco de Germoplasma Vegetal (BANGEV) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh) y del Herbario-Hortorio Chapa del Colegio de Postgraduados, así como de la consulta en herbarios virtuales (Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB).
La distribución geográfica potencial se calculó utilizando el principio de máxima entropía con el uso del software Maxent 3.4.4. Como información ambiental se emplearon 20 variables provenientes de Worldclim con resolución espacial de 1 km^2 (altitud y 19 bioclimáticas). Además de esta información, se empleó la base de datos de accesiones de *G. lobatum* (Red de Algodón) El mapa final corresponde a un modelo ensamble de 10 réplicas por validación cruzada.

Resultados y discusión

Tomando en cuenta la información consultada en los herbarios y en la base de datos de la Red de Algodón, los resultados indicaron que, del periodo de 1951 a 2014 investigadores estadounidenses,

rusos y chinos, así como nacionales, recolectaron en total 43 accesiones de algodón de la especie endémica *Gossypium lobatum*, principalmente en el estado de Michoacán (93%) seguido de los estados de Jalisco (4.7%) y Guerrero (2.3%; Figura 1).
Los resultados también mostraron, que *Gossypium lobatum* es una especie de distribución muy restringida. Esta especie fue reportada por primera vez en el año de 1956 por Howard Scott Gentry (Gentry, S. H.). De acuerdo con Obispo (1978), a *Gossypium lobatum,* se le encontró situada en el Cañón del Marqués a 4 kilómetros de Nueva Italia, Michoacán. Ulloa *et al.,* (2006) reportan que, a *G. lobatum*, también se le encontró en un radio de 50 km cerca de la localidad de Cuatro Caminos, Michoacán.

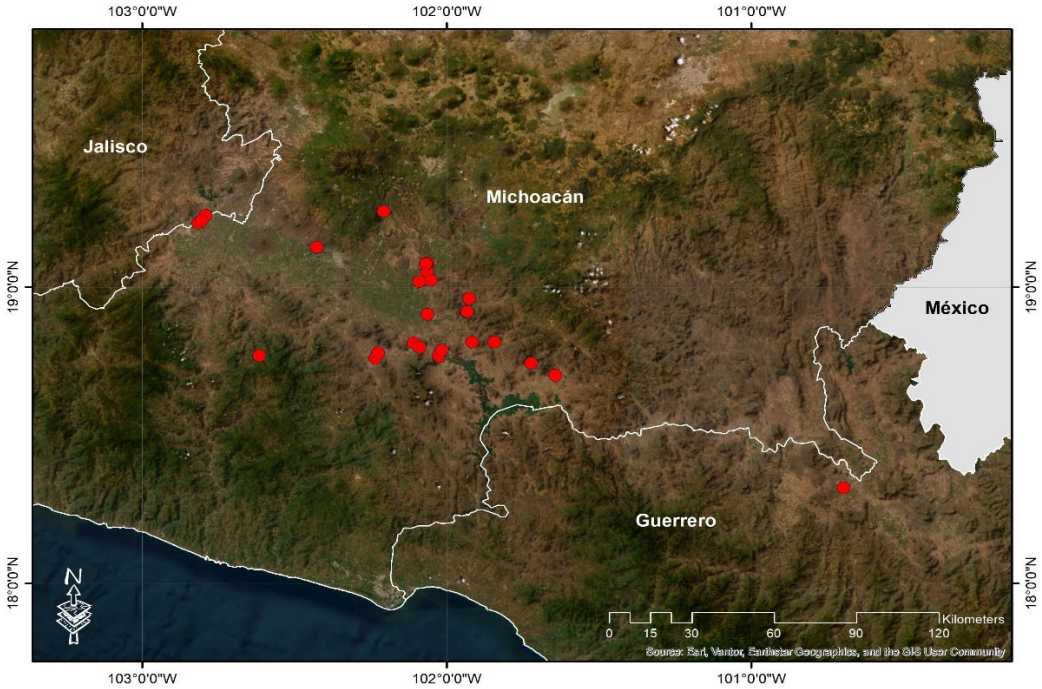


Figura 1. Distribución potencial de la especie silvestre *Gossypium lobatum* Gentry*,* en los estados de Guerrero, Jalisco y Michoacán.

Esta especie se adapta a altitudes que van de los 200 a 400 msnm. Es importante mencionar, que el área de distribución de esta especie se amplió hacia el oeste del estado de Michoacán. Es probable que este taxón se distribuya por toda la cuenca del río Tepalcatepec, con una extensión hacia el este a lo largo de la cuenca del río Balsas (Ulloa *et al.,* 2006).
De acuerdo con los datos recabados, se observó también que el área más amplia que ocupa la especie *Gossypium lobatum* se localiza en el municipio de la Huacana (20 accesiones), seguido de los municipios de Gabriel Zamora (4 acc.), Churumuco (4 acc.), Mugica (4 acc.) Tumbiscatio (3 acc.) y Apatzingán (2 acc.)
Michoacán, este último municipio coincide con lo reportado por Gentry (1956) quien menciona que *G. lobatum* se encontró por primera vez en la carretera entre Uruapan y Apatzingán, Michoacán.
La clasificación taxonómica de la especie *Gossypium lobatum* (conocida comúnmente como algodón silvestre), se presenta a continuación:

Reino: Plantae
Subreino: Viridiplantae
Infrareino: Streptophyta
Superdivisión: Embryophyta
División: Tracheophyta
Subdivisión: Spermatophytina
Clase: Magnoliopsida
Superorden: Rosanae
Orden: Malvales
Familia: Malvaceae
Género: *Gossypium* L.
Especie: *Gossypium lobatum* Gentry

Entre la información filogenética y genética relevante de *G. lobatum* sobresale lo siguiente:

Grupo genómico: Pertenece al genoma D (específicamente D_7), el cual agrupa a las especies diploides del Nuevo Mundo.
Número cromosómico: 2n = 26 (es una especie diploide, n = 13)

Por otra parte, en el hábitat natural, los arbustos o árboles de la especie *G. lobatum*, miden hasta 10 m de altura. Esta especie posee hojas y tallos con mucha pubescencia, hojas caducas, características muy importantes para las especies cultivadas, evitando con ello el uso de defoliantes y, así, tener una cosecha más limpia y de mejor calidad de fibra (Obispo, 1978). Las semillas están contenidas en una cápsula trilocular con ocho semillas de un tamaño promedio de 10,0 x 1,8 mm con fibras densamente pubescentes (Figura 2; Ulloa, 2014).



Figura 2. Morfología de la Especie silvestre *Gossypium lobatum* Gentry.

Considerando lo anterior, es importante efectuar estudios ecológicos y genéticos para dilucidar el panorama actual de la especie, principalmente, en el estado de Michoacán; sin embargo, esto se vuelve complicado ya que el área en donde se distribuye esta especie, presenta altos índices de inseguridad, lo que pone en riesgo al personal investigador interesado en realizar actividades de conservación *in situ* en el género *Gossypium*.
La información de este trabajo de investigación es relevante, por lo que en la toma de decisiones a nivel gubernamental, se debería considerar el diseño de un programa para la protección y conservación de las especies nativas de México, las cuales están en riesgo por cambio de uso de suelo, tal es el caso de *Gossypium lobatum* Gentry, que es una especie en Peligro de Extinción (P); esto, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT (2019) y en la categoría *En Peligro* (EN) en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

Conclusiones

De acuerdo al estudio realizado se concluye que, la presencia de algodón de la especie endémica *Gossypium lobatum* Gentry en México, fue reportada por primera vez en 1956 por el botánico estadounidense Howard Scott Gentry, como una especie con distribución muy restringida. Se han recolectado 43 accesiones de *G. lobatum*, en donde el 93% de estas accesiones están ubicadas en el estado de Michoacán, el 4.7% en Jalisco y el 2.3% en Guerrero. Es trascendental, el diseño de programas para la protección y conservación *in situ* de la especie nativa de *Gossypium lobatum* Gentry; esto, por ser una especie que se encuentra registrada en la categoría de *Peligro de Extinción*.

Agradecimientos

Las autoras desean expresar sus agradecimientos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por las facilidades otorgadas para la realización de este estudio y a la Secretaria de Agricultura (SADER) que, a través del entonces Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI)-SNICS, otorgaron apoyo económico para la recolección del germoplasma de algodón nativo de México.

Referencias bibliográficas

Obispo, G.Q. 1978. Especies silvestres y semidomesticas nativas de México. Revista Algodón Mexicano. 93: 24-26.

Gentry, S. H. 1956. A new *Gossypium* from Michoacan, México. Madroño 13(8): 261-265. https://www.jstor.org/stable/41423791.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Dia Mundial del Algodón. 7 de octubre. En línea]. Disponible en https://www.fao.org/world-cotton-day/es (Revisado el 30 de julio de 2026).

Pérez M., C.; Tovar G., M. R.; Obispo G., Q.; Ruíz C., J. A.; Tavitas F., L.; Jolalpa B., J.L. 2011. Los recursos genéticos del algodón en México. Libro Técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 120 p. ISBN 978-607-425-728-1.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avance de siembras y cosechas año agrícola 2024 en México. [En línea]. Disponible en https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/ (Revisado el 30 de julio de 2026).

Ulloa, M. 2014. The Diploid D Genome Cottons (*Gossypium* spp.) of the New World. InTech. doi: 10.5772/58387.

Ulloa, M.; Abdurakhmonov, I. Y.; Pérez, M. C.; Percy, R. and Stewart, J M. 2013. Genetic diversity and population structure of cotton (*Gossypium* spp.) of the new world assessed by SSR Markers. Botany. 91(4):251-259. https://doi.org/10.1139/cjb-2012-019.

EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD FUNCIONAL Y RESISTENCIA DEL PAISAJE ANTE LA FRAGMENTACIÓN EN EL CITTFOR "EL TORMENTO", CAMPECHE.

Carmen Alicia Valenzuela Alfaro[1], Josué Delgado Balbuena[2] y Teresa Alfaro Reyna[3]*

[1]Departamento de Ciencias de Agua y Medio Ambiente. Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de febrero 818 Sur, Ciudad Obregón, Sonora, México. [2]INIFAP/CENID Agricultura Familiar. Km 8.5, Lagos de Moreno - San Luis Potosí, 47540 Ojuelos de Jalisco, Jal. [3]NIFAP/C.E. Edzná, Km 15.5 Carretera Campeche-Pocyaxum, San Francisco de Campeche, Mexico.
*Autor para correspondencia: alfaro.teresa@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Cambio de uso de suelo, deforestación, pérdida de hábitat*

Introducción

Las selvas tropicales representan uno de los biomas de mayor relevancia ecológica a nivel mundial, al concentrar la mayor diversidad de especies del planeta y desempeñar un papel determinante en la regulación del clima, el ciclo hidrológico y el almacenamiento de carbono (Brandon, 2014). Estos ecosistemas albergan más de dos terceras partes de la biodiversidad terrestre conocida, por lo que su pérdida constituye una de las principales amenazas para la conservación global. Además de su riqueza biológica, estos bosques proveen servicios ecosistémicos indispensables, tales como la provisión de agua, la polinización, la protección de suelos y la oferta de recursos maderables y no maderables, los cuales dependen directamente de la integridad funcional del ecosistema (Brandon, 2014).

No obstante, las selvas tropicales han experimentado tasas de degradación sin precedentes debido a la expansión agropecuaria, la extracción forestal y el desarrollo de infraestructura. Este proceso ha reducido la extensión de bosques primarios y ha modificado la estructura de los remanentes, muchos de los cuales persisten como fragmentos aislados dentro de matrices dominadas por actividades humanas (Fahrig, 2003). En este escenario, la fragmentación, definida como la transformación de un hábitat continuo en un conjunto de parches aislados, compromete la conectividad del paisaje, dificultando el movimiento de los organismos y reduciendo la viabilidad de especies con requerimientos específicos de hábitat (Fahrig, 2003; Haddad et al., 2015).

El CITTFOR "El Tormento", en Campeche, representa un enclave estratégico de selva mediana subperennifolia. Sin embargo, se enfrenta a una fragmentación progresiva exacerbada por el cambio de uso de suelo debido a la expansión de la agricultura y a la construcción y ampliación de infraestructura vial, la cual actúa como una barrera lineal permanente que subdivide el hábitat y limita el flujo génico (Forman y Alexander, 1998). Comprender cómo estos procesos de transformación afectan la capacidad de desplazamiento de la fauna resulta indispensable para diseñar estrategias de conservación efectivas y anticipar los impactos de nuevas obras de desarrollo.

Ante esta problemática, el presente estudio tuvo como objetivo simular y mapear escenarios de conectividad y resistencia del paisaje en el CITTFOR "El Tormento", bajo diferentes condiciones de fragmentación y capacidad de desplazamiento de fauna. A través de este análisis, se identificaron parches críticos y cuellos de botella en la movilidad de especies focales, proporcionando bases científicas para la ubicación estratégica de medidas de mitigación y la gestión adaptativa de esta área protegida frente a paisajes rurales altamente fragmentados. Para analizar el uso de hábitat, se monitorearon las tropas de monos aulladores (*Alouatta pigra)* registrando sus actividades y área de ocupación.

Materiales y métodos

Esta investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología Forestar (CITTFOR) “El Tormento”, administrado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). El predio se localiza en el municipio de Escárcega, al suroeste de la península de Yucatán, Campeche; específicamente a 7 km al oeste de la cabecera municipal, Escárcega. “El Tormento” se se ubica las

coordenadas 18°36’ N y 90°48’ O, y comprende una extensión de 1,400 ha. A pesar de estar inmerso en un entorno dominantemente agropecuarios, este sitio representa el segundo macizo forestal continuo de mayor relevancia en el estado de Campeche, superado únicamente por la Reserva de la Biosfera de Calakmul (Cedeño, 1981; Maya-Martinez et al., 2026).

Para evaluar la dinámica de fragmentación histórica de los últimos 35 años, se utilizaron datos multiespectrales de los sensores Landsat 5 TM (1986) y Landsat 8 OLI (2024), ambos con una resolución espacial de 30 m. El preprocesamiento se basó en el uso de colecciones de reflectancia de superficie, las cuales cuentan con ortorrectificación, corrección atmosférica y enmascaramiento de nubes integrados.

La clasificación de las coberturas se realizó mediante un algoritmo supervisado de *Random Forest*, entrenado con muestras de control categorizadas en tres clases temáticas: Selva, Pastizal/Agrícola y Urbano/Suelo desnudo. Finalmente, el análisis de cambio se ejecutó mediante álgebra de mapas para cuantificar la pérdida neta de selva.

Para evaluar la conectividad alrededor de El Tormento, se realizaron análisis espaciales de conectividad y uso de hábitat. El análisis espacial se delimitó a un área de influencia de 15 km alrededor del CITTFOR "El Tormento", dividiéndose en dos enfoques principales:

1. Modelación de la Conectividad del Paisaje: Con el objetivo de evaluar el grado de aislamiento espacial y la continuidad funcional de los parches de selva mediana, se configuró un parámetro de dispersión (*max_dist*) de 25 a 200 m. Este rango representa un rango de desplazamiento para especies de muy baja movilidad entre copas como el mono araña (menos de 25 m) y para fauna con capacidades de desplazamiento muy altas para cruzar brechas cortas o transitar entre copascomo el mono aullador (*Alouatta pigra*) u otros mamíferos de mayor tamaño (200 m). Se calcularon métricas estructurales como el Número de Componentes (NC), para cuantificar la división del hábitat en redes aisladas (islas), y los Índices de Conectividad (LCP y CPL), los cuales determinan la probabilidad de coherencia espacial y el costo energético de tránsito a través de la matriz alterada, respectivamente.
2. Rango de Hogar e Intensidad de Ocupación: Utilizando el paquete adehabitatHR, se realizó una estimación no paramétrica para delimitar las áreas de actividad de tropas de mono aullador como un caso de estudio de un mamífero de alta uimportancia ecológica en el CITTFOR El Tormento. Mediante la Estimación de Densidad por Kernel (KDE), se mapeó el Área Total de Acción (isopleta del 95%), representativa de los límites exteriores de forrajeo y desplazamiento general. Adicionalmente, se delimitó el Área Núcleo (isopleta del 50%), permitiendo identificar los parches críticos de alta intensidad de uso, correspondientes a zonas de descanso y árboles de alimentación clave, como el chicozapote y el ramón.

El monitoreo de primates se llevó a cabo mediante el censo directo de tropas y recorridos por transectos lineales sobre la red de senderos y brechas existentes dentro de El Tormento, registrando para cada avistamiento la coordenada geográfica obtenida mediante GPS, la especie, el tamaño y composición del grupo, y la actividad observada al momento del registro. Los recorridos se replicaron en múltiples jornadas ente junio y julio de 2026 con el fin de incrementar la probabilidad de detección de tropas de monos.

Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software R (The RCRAN project). El análsisi espacial de clasificación de uso de suelo se realizó en la plataforma de Google Earth Engine, y el software QGIS se utilizó para las tareas de visualización de la información.

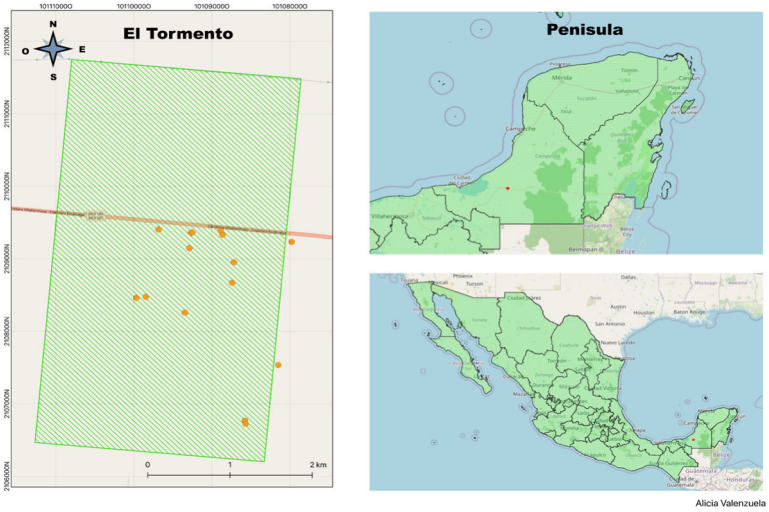


Figura 1. Ubicación del Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología El Tormento, en Escárcega, Campeche, México.

Resultados y discusión

Dinámica de Fragmentación y Conectividad (1986–2024).
El análisis espacial del paisaje en el área de influencia del CITTFOR "El Tormento" evidencia un incremento sustancial en la fragmentación del hábitat a lo largo de los últimos 35 años. La comparativa de las métricas de paisaje muestró lo siguiente: el número de componentes (NC) aumentó de 2,171 en 1986 a 2,607 en 2024, indicando una mayor subdivisión del hábitat en redes aisladas. La probabilidad de conectividad (LCP) disminuyó del 5.17% al 4.11%, lo que refleja una pérdida en la coherencia espacial del paisaje. Por otra parte, la longitud de ruta característica (CPL) descendió de 4.66 a 3.88, apuntando a un mayor costo de tránsito a través de la matriz alterada.
En conjunto, la alteración visualizada entre ambos escenarios corrobora el aumento en la resistencia de la matriz antrópica, lo que exacerba el aislamiento espacial de los remanentes de selva mediana (Fig. 2).

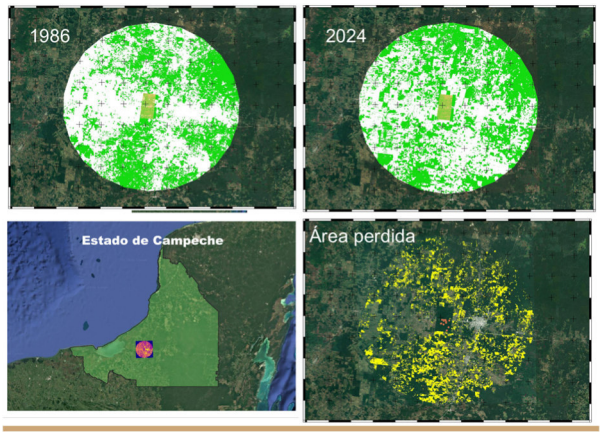


Figura 2. Cambio de la cobertura de selva entre 1986 y 2024, en un área de 15 km de radio alrededor del CITTFOR El Tormento, Campeche.

La comparación de las redes de conectividad entre los escenarios históricos y actuales evidencia una severa contracción en la continuidad del hábitat ante barreras físicas. Al evaluar la topología del paisaje bajo múltiples umbrales de movilidad, emergieron dos patrones críticos para la conservación regional: primero, la proliferación de clústers (fragmentación regional). En el escenario actual (2024),

se observó la formación de un número significativamente mayor de clústers de hábitat aislados en comparación con las condiciones de 1986 (Figura 3). Esta subdivisión del paisaje se agudizó drásticamente en los umbrales de menor dispersión (25 m y 50 m), reflejando el incremento en la resistencia de la matriz circundante, la cual impide el libre flujo biológico entre los remanentes forestales.

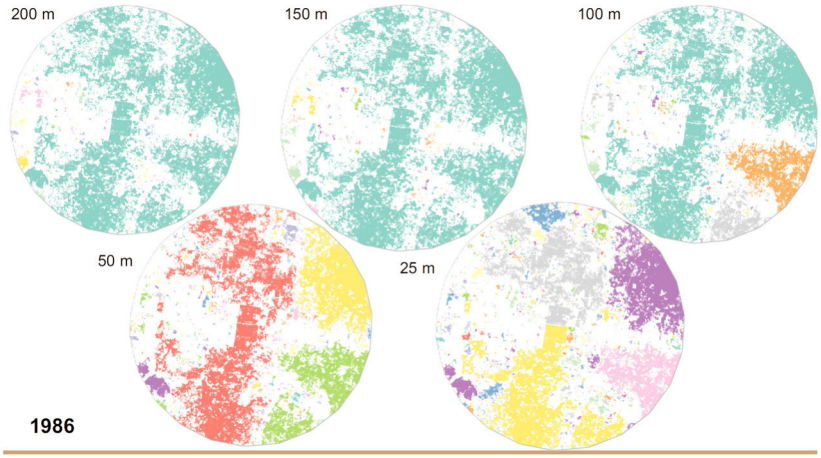


Figura 3. Conectividad de parches en un área de 15 km de radio alrededor del CITTFOR El Tormento para el año de 1986. Colores difedrentes indican clústers de parches aislados que están desconectados por la distancia entre parches de vegetación de selva. Los números indican la distancia máxima de dispersión o movilidad de la fauna.

Segundo, la división del CITTFOR "El Tormento" (efecto barrera). El impacto más alarmante se manifestó al simular las distancias de dispersión más restrictivas (25 m y 50 m). Bajo estas condiciones, el macizo forestal continuo de "El Tormento" sufrió una fragmentación interna crítica, dividiéndose en dos bloques totalmente aislados (sur y norte). Esta ruptura funcional es consecuencia directa de la carretera que atraviesa longitudinalmente el sitio, la cual actúa como una barrera infranqueable ante la interrupción del dosel (Figura 4).

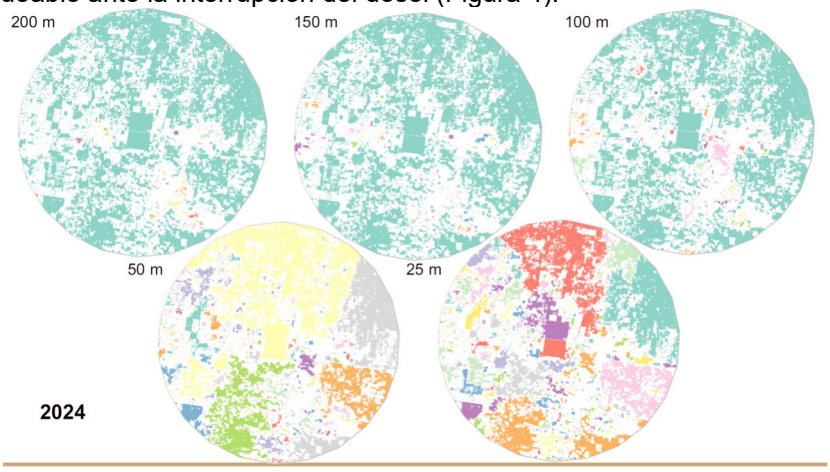


Figura 4. Conectividad de parches en un área de 15 km de radio alrededor del CITTFOR El Tormento para el año de 2024. Colores difedrentes indican clústers de parches aislados que están desconectados por la distancia entre parches de vegetación de selva. Los números indican la distancia máxima de dispersión o movilidad de la fauna.

El aislamiento total de ambas mitades del predio destaca la profunda vulnerabilidad de la fauna con baja capacidad de desplazamiento a nivel de suelo. Para especies estrictamente arborícolas que

requieren doseles continuos para cruzar de un parche a otro, la carretera se ha convertido en un cuello de botella absoluto. Esto impide el intercambio de individuos y flujo génico, limitando el espacio disponible para las tropas de monos araña y elevando el riesgo de extinción local si no se implementan medidas de mitigación estructurales.

Uso del espacio y ámbitos hogareños (KDE) para el mono aullador.

La estimación de densidad por kernel (KDE) revela que lel mono aullador hace un uso marcadamente heterogéneo y agregado del hábitat disponible. El área total de acción (KDE 95 %) se restringe a un sector central reducido, dejando la mayor proporción del cuadrante analizado con una densidad de registros casi nula.

Por su parte, el análisis del área núcleo (KDE 50 %) exhibe un patrón multicéntrico. Se identificaron diversos *hotspots* de intensa actividad espacialmente correlacionados con parches forestales que conservan una mayor altura del dosel y una elevada densidad de especies forrajeras críticas para su dieta, destacando árboles como *Ficus* spp. y el ramón (*Brosimum alicastrum*).

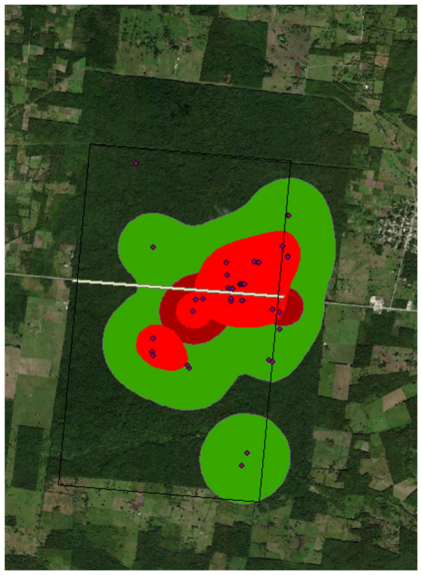


Figura 5. Uso espacial y ámbitos hogareños del mono aullador en el CITTFOR El Tormento.

Implicaciones Ecológicas.

El comportamiento espacial documentado es altamente consistente con una contracción del ámbito hogareño y una clara evitación de los bordes del fragmento forestal. Ante el colapso de la conectividad regional y la presión de infraestructuras lineales como la carretera, especies de baja dispersión o evitan la matriz hostil y los bordes perturbados, confinándose en los núcleos estructuralmente más conservados que garantizan cobertura y disponibilidad de recursos.

Conclusiones

El paisaje alrededor del CITTFOR El Tormento ha experimentado una fragmentación progresiva, evidenciada por el incremento en métricas de aislamiento como el Número de Componentes (NC) y la distancia al vecino más cercano (ENN). El hábitat se ha subdividido en múltiples "islas" desconectadas, elevando el costo energético de desplazamiento. La pérdida de continuidad del dosel impacta severamente la movilidad de las especies de esta región. Por ejemplo, para especies con bajo desplazamiento como el mono araña (*Ateles geoffroyi*), estrictamente arborícola, las brechas forestales representan barreras casi absolutas; en cambio, especies con mayor capacidad de dispersión como el mono aullador (*Alouatta pigra*), aunque sus poblaciones se aislan en menor

medida por la fragmentación, enfrentan una alta vulnerabilidad al verse forzadas a descender al suelo, o a exponerse al cruzar por claros más amplios o caminos más transitados por automóviles.

Referencias bibliográficas

Brandon, K. (2014). Ecosystem services from tropical forests: Review of current science (CGD Working Paper 380). Center for Global Development.

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 34, 487–515.

Forman, R. T. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C. R., Heanue, K., Jones, J. A., Swanson, F. J., Turrentine, T., & Winter, T. C. (2003). Road Ecology: Science and Solutions. Island Press.

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., Lovejoy, T. E., Sexton, J. O., Austin, M. P., Collins, C. D., Cook, W. M., Damschen, E. I., Ewers, R. M., Foster, B. L., Jenkins, C. N., King, A. J., Laurance, W. F., Levey, D. J., Margules, C. R., … Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. Science Advances, 1(2), e1500052.

SOCIOECONOMÍA Y DESARROLLO RURAL

ESTRATEGIA NATURAL, INFORMADA Y RAZONADA PARA GESTIONAR LA TRANSFERENCIA E INNOVACIÓN TECNOLOGICA EN SECTOR AGRÍCOLA

Jesús Uresti-Gil[1]*, José Antonio Espinosa García[2] y Raymundo Vázquez Gómez[3].

[1]INIFAP, CE Saltillo, Carretera Saltillo-Zacatecas 9515, C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México.
[2]INIFAP, CENID FyMA, Km 1 Carretera Colón-Ajuchitlán, C.P. 76280, Colón, Querétaro, México.
[3]INIFAP, CENID SAI, Carretera Cuernavaca-Cuautla 8534, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.
*Autor para correspondencia: uresti.jesus@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Concepto de brecha, planeación, implementación, indicadores de desempeño.*

Introducción

El objetivo principal del productor agrícola es generar ingresos monetarios para su sustento y el de su familia; el segundo objetivo debería ser el cuidado de los recursos naturales con que cuenta para producir y finalmente como tercer objetivo apoyar la producción y disponibilidad de alimentos. Para lograr los tres objetivos en forma rentable y sostenible, el productor debe usar la tecnología más productiva en función de los recursos con que cuenta. En ese sentido, es necesario conocer la brecha entre lo que actualmente obtiene y lo que potencialmente puede obtener. Este concepto de brecha es la base de la estrategia que aquí se propone. Se consideran seis brechas, cuantificables: Brecha tecnológica, productiva, financiera, de calidad, inocuidad y conservacionistas como la tasa de erosión, y uso del agua. Cadena et. al., 2009, describen diecisiete estrategias operativas de transferencia de tecnología, donde aparentemente todas actúan en función de problemas u oportunidades identificados, pero no cuantificados; así mismo, se percibe que la mayoría no son propiamente estrategias, sino estructuras que sirven de vehículo para transferir tecnologías, es decir, como se menciona en dicha obra son “estrategias operativas” para la transferencia de tecnología. Considerar sólo la operatividad deja fuera aspectos muy relevantes que pueden limitar significativamente la innovación tecnológica. La estrategia aquí propuesta no es sólo operativa, sino un conjunto de actividades que inician con la identificación y cuantificación del problema u oportunidad, hasta el seguimiento y evaluación. Consta de tres etapas principales: Planeación, Implementación y Seguimiento y Evaluación. Es dirigida a instituciones de los sectores público y privado operada por funcionarios públicos tomadores de decisiones, académicos, investigadores, técnicos y usuarios en general interesados en la innovación tecnológica agrícola. El objetivo de este trabajo es presentar la estrategia desarrollada, ejemplificada con un estudio de caso.

Materiales y métodos

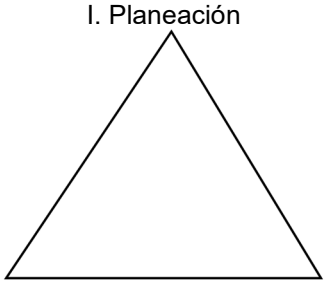
La estrategia desarrollada: Estrategia Natural, Informada y Razonada para Gestionar la Transferencia e Innovación Tecnológica en Sector Agrícola (ENTITA), es el resultado de doce proyectos de investigación financiados por el extinto CONACYT, la ahora Secretaría de AGRICULTURA, el INIFAP e Instituciones de carácter Privado y No Gubernamental. En todos estos proyectos se cuantificó el rendimiento de biomasa y Producto Económicamente Importante (PEI) de una amplia gama de especies vegetales agrícolas (anuales, bianuales y perenes), pastos y especies forestales, con manejo para alto rendimiento (generalmente el recomendado por INIFAP) y manejo del productor. A partir de la diferencia en rendimiento con ambas tecnologías surgió la idea de la brecha, la identificación y cuantificación del problema u oportunidad que la originan y las tecnologías disponibles o necesarias de generar para allanarla. Para la aplicación y operación de la ENTITA se desarrolló el concepto de Polo de Desarrollo (PD). Estas cuatro actividades dieron origen a la PLANEACIÓN, como primera etapa de la ENTITA. La segunda etapa: IMPLEMENTACIÓN, es el paso lógico siguiente y se desarrolló a partir de actividades de transferencia e innovación realizadas en varios de los doce proyectos indicados, así como la obra de Cadena et al., 2009. Se consideró necesario incluir la etapa tres sobre SEGUIMIENTO y EVALUACIÓN a través de una Plataforma Digital (PFD) donde, a escala PD, se registren todas las actividades de la ENTITA; y con ello

cuantificar indicadores que muestren su desempeño y retroalimentar el proceso. Para ejemplificar a la ENTITA se utilizó como estudio de caso la producción de grano de cebada en el altiplano de México. Se definió como PD los municipios de Almoloya, Apán, Tepeapulco, Emiliano Zapata, Singuilucán, Cuautepec de Hinojosa, Santiago Tulantepec, Zempoala y Tlanalapa del sur de Hidalgo dentro de la Cuenca Río Moctezuma. Hidalgo es principal productor de grano de cebada en temporal. El rendimiento unitario de grano se cuantificó con el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) que opera a escala de cuenca hidrológica y delimita Unidades de Respuesta Homogénea (URH); donde, utilizando bases de datos de clima diario, suelos, parámetros fisiológicos y manejo, para cada URH, cuantificó el rendimiento del PEI de 2016-2020 y se reporta el promedio de los cinco años. El PEI se cuantificó y cartografió para la tecnología recomendada por INIFAP (Potencial Productivo) y la tecnología del productor, ambas bajo temporal. La brecha productiva se cuantificó mediante la diferencia en el rendimiento unitario de grano obtenido con la tecnología del productor y la tecnología INIFAP. La brecha financiera se cuantificó a través de la diferencia en la Relación Beneficio/Costo (R B/C) e Ingreso Neto del Productor (INP) obtenido con ambas tecnologías. El costo de producción de ambas tecnologías fue calculado y proporcionado por expertos del INIFAP, mientras que el precio medio del grano de cebada fue proporcionado por empresas productoras de cerveza en la zona de estudio. El costo de producción de tecnología del productor fue \$5,338.00 ha^{-1}, y el del INIFAP \$13,955.00 ha^{-1}. El precio promedio del grano fue \$7,500.00 t^{-1}. Como siguiente etapa lógica, se identificaron las limitantes que impiden alcanzar o allanar las brechas. Esta actividad se logró mediante el análisis de información climática, suelos y tecnologías usadas en SWAT, así como la opinión de expertos INIFAP. Se proyectó allanar las brechas en forma lineal en un período de cinco años. Finalmente, la identificación de las tecnologías seleccionadas para allanar las brechas fue a partir de revisión de literatura. Respecto a las actividades de las etapas de Implementación y Seguimiento y Evaluación, no se llevaron a cabo en campo debido a falta de tiempo y recursos financieros, los resultados de estas etapas se presentan en forma hipotética.

Resultados y discusión

La ENTITA sigue un proceso natural, lógico, informado y razonado, cuyo propósito es gestionar exitosamente las acciones de transferencia e innovación (adopción) tecnológica en sector agrícola. Consta de tres etapas principales: Planeación, Implementación; y Seguimiento y Evaluación. 1) La Planeación es la actividad inicial que sustenta a las dos actividades siguientes; inicia con 1.1) el establecimiento del área de intervención nombrada Polo de Desarrollo (PD) delimitado por Dominios Naturales y Socioeconómicos de Transferencia e Innovación o conjunto de municipios con características similares. El insumo principal para definir un PD es la cartografía del rendimiento de cultivos, donde a las áreas con categorías de Muy Alto y Alto rendimiento se enfoquen los esfuerzos, recursos y tecnologías para mantener en forma rentable y sostenible la alta productividad, mientras que en las áreas con categorías de Medio, Bajo y Muy Bajo rendimiento se recomiende promover el uso de tecnologías que mejoren sus condiciones y paulatinamente incrementen su capacidad productiva, 1.2) La siguiente actividad natural es la identificación y cuantificación de la magnitud del problema u oportunidad. Se determina a través de las brechas a escala PD: Tecnológica (Adimensional), Productiva (t ha^{-1}), Financiera (\$ ha^{-1}), calidad (Por ejemplo, gr. de proteína kg^{-1} de PEI), inocuidad (Por ejemplo, Indicadores microbiológicos como la carga de coliformes totales y fecales) y conservacionistas como tasa anual de erosión (t ha^{-1}) o eficiencia en uso de agua (l t^{-1}). Estas brechas son enunciativas, más no limitativas. Las brechas se definen como la diferencia entre lo actualmente obtenido con la tecnología del productor y lo que potencialmente se puede obtener con tecnología mejorada. La brecha productiva es la base y se define como la diferencia entre el rendimiento del PEI obtenido con tecnología del productor y el PEI obtenido con tecnología mejorada para alto rendimiento (Potencial Productivo). A partir de la brecha productiva se derivan las brechas tecnológica y financiera. Para las brechas de calidad, inocuidad y conservacionistas se deberán medir con los estudios correspondientes bajo las condiciones del productor y las respectivas tecnologías mejoradas. El período de tiempo propuesto para allanar una brecha es de cinco años, pero puede variar en función de la magnitud del problema, los factores limitantes y las tecnologías disponibles. Así mismo, la evolución del allanamiento de las brechas puede ser lineal o exponencial,

1.3) Una vez identificadas y cuantificadas las brechas en el PD, se identifican los factores que limitan alcanzar lo que potencialmente se puede obtener y que, por lo tanto, limitan allanar las brechas y; 1.4) En función de los factores limitantes, se identifican las tecnologías disponibles y se cuantifica su capacidad e impacto para alcanzar el potencial productivo y allanar las brechas. En este punto también se identifican las tecnologías que son necesario generar. Independientemente de lo anterior, se recomienda realizar un sondeo rápido con productores para validar información. 2) En la etapa de implementación se deben considerar dos tipos de medidas para la transferencia e innovación tecnológica: 2.1) Medidas Autónomas (MA) y 2.2) Medidas Planeadas (MP): 2.1.1) Las MA son precisamente las tecnologías recomendadas para allanar las diferentes brechas, 2.1.2) las MP incluyen la movilización y/u operación de estructuras gubernamentales, instituciones públicas y privadas, políticas y programas para establecer o reforzar las condiciones favorables para una efectiva transferencia e innovación, como La Ley de Desarrollo Rural Sostenible, El Programa Especial de Cambio Climático, la Estrategia de Acompañamiento Técnico de AGRICULTURA, Programas de las Secretarías Estatales de Desarrollo Rural, Instituciones de Investigación, Académicas y de Enseñanza, Organizaciones de Productores, Organizaciones No Gubernamentales, etc. Las MP deben incrementar la habilidad y construir capacidades y condiciones favorables para una efectiva transferencia e innovación tecnológica. Se presume que el grado de innovación tecnológica depende en buena parte del grado del desarrollo económico, tecnológico, capacidades humanas, infraestructura, equidad y recursos naturales del PD, por lo que deberá realizarse un diagnóstico en función de estas variables. Para realizar este diagnóstico se puede seguir la metodología desarrollada por Uresti et al., (2016). El siguiente paso 2.2) es seleccionar las "estrategias operativas" como las descritas por Cadena et. al., 2009, y que aquí nombraremos Vehículo de Transferencia e Innovación (VETI), 2.2.1) A partir de la planeación, se define el VETI que se usará, como Módulos de Intercambio de Conocimientos e Innovación (MICI's) y sus Escuelas de Campo (ECA's), Vitrinas Tecnológicas (VT), Parcelas y Eventos Demostrativos (PADEM) y otras actividades como Publicaciones, Videos, Capacitación, Foros, etc., el VETI deberá diseñarse específicamente para un PD y 2.2.2) Establecimiento y seguimiento a las tecnologías seleccionadas para allanar las brechas. 3) La tercera etapa, seguimiento y evaluación, se realiza al nivel de PD y posteriormente escala a niveles superiores, 3.1) Desarrollo de PFD donde se registren todas las actividades de la ENTITA, 3.2) El desempeño de la estrategia se evalúa con los indicadores del Cuadro 1 desarrollados a partir de Cristóbal y Armijo, 2005; los cuales son enunciativos, más no limitativos, 3.3) Con los resultados de la evaluación se realiza la retroalimentación de la estrategia. Si las actividades de realizadas ofrecen los resultados planeados y esperados, sólo se da seguimiento, caso contrario, se realizan los cambios o ajustes correspondientes y se inicia nuevo ciclo desde la etapa de planeación. La Figura 1 muestra las tres etapas naturales de la ENTITA.



I. Planeación: Delimitación de PD, Establecimiento de Brechas, Identificación de Factores Limitantes y Tecnologías.
II. Implementación: Definición de MA, MP y VETI, Establecimiento y Seguimiento a Tecnologías.
III. Seguimiento y Evaluación: Registro de actividades en PFD, Cuantificación de Indicadores, Retroalimentación.

Figura 1. Esquema que muestra las tres etapas de la ENTITA.

La Figura 2a muestra la distribución del rendimiento de grano de cebada con tecnología INIFAP (Potencial Productivo) y la Figura 2b lo muestra con tecnología del productor. En general, el rendimiento con tecnología INIFAP es mayor que con tecnología del productor, ente ambas tecnologías se observa

diferencia de una o dos categorías de rendimiento, es decir, existe una brecha productiva debido al uso de diferentes tecnologías.

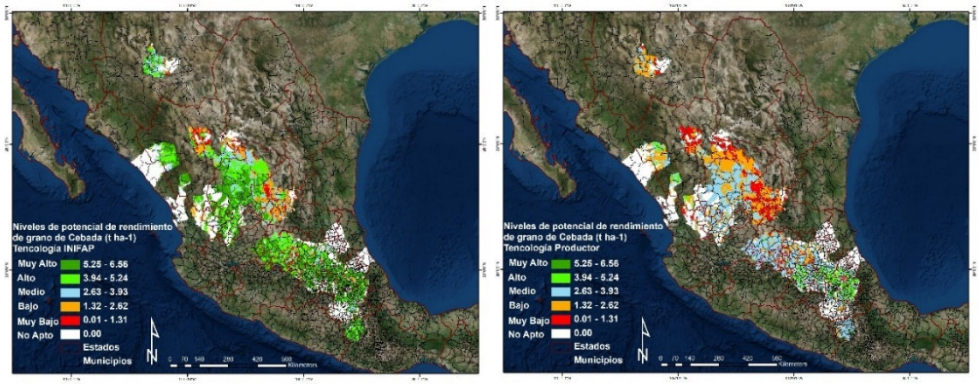


Figura 2. a). Distribución del rendimiento de grano de cebada con tecnología INIFAP. b). Distribución del rendimiento de grano de cebada con tecnología del productor.

El Cuadro 2 muestra características del PD, ocupa una superficie total de 2,075 km^2 distribuidos en 1,674 URH, correspondientes a igual cantidad de datos de rendimiento. Con tecnología INIFAP 96% de la superficie presenta muy alto rendimiento, mientras que con tecnología del productor no hay superficie con muy alto rendimiento, 68% y 32% ocupan las categorías alto y medio rendimiento, respectivamente. A manera de ejemplo, el Cuadro 3 muestra la brecha productiva y la forma lineal para allanarla en lapso de cinco años. Se requiere que cada año el rendimiento se incremente 0.54 t ha^{-1}. El uso de variedades no adaptadas a la zona y la inadecuada fertilización son los principales factores que redujeron el rendimiento. Así mismo, la menor lámina y más errática distribución de la lluvia y suelos delgados y arenosos con baja capacidad de retención de humedad, son también responsables de la reducción del rendimiento.

Cuadro 1. Indicadores para dar seguimiento y evaluar el desempeño de la ENTITA.

T de I	N del I	Descripción del Indicador	Línea base del Indicador
Ac-In	SE	% de productores atendidos.	Cantidad de productores en PD.
	T	% de superficie con tecnologías mejoradas.	Superficie total sembrada en PD.
	T	% de VETI's establecidas (ECA's, VT, PADEM, etc.).	Cantidad de VETI's programadas en PD.
	T	% de eventos de transferencia e innovación.	Cantidad de eventos programados en PD.
	T	% de cumplimiento de entregables comprometidos.	Cantidad de entregables comprometidos en PD.
Pro-Prd	T	% de productores que innovan por lo menos una tecnología recomendada.	Cantidad total de productores en PD.
	P	% de incremento del rendimiento unitario del PEI .	Rendimiento unitario del PEI antes del proyecto en PD.
	SE	% de incremento en Relación Beneficio/Costo o ingreso neto del productor.	Relación Beneficio/Costo o Ingreso neto del productor antes del proyecto en PD.
	A	% de reducción de superficie siniestrada por sequía.	Superficie siniestrada por sequía en PD antes del proyecto.
	A	% de reducción en la tasa anual de erosión hídrica.	Tasa anual de erosión en PD antes del proyecto.
Res-Imp	T	% de allanamiento o innovación anual y final de las tecnologías programadas para allanar la brecha tecnológica.	Cantidad de tecnologías programadas anualmente y total para allanar la brecha tecnológica.
	P	% de allanamiento anual y final de la brecha productiva.	Programación del allanamiento anual y final de la brecha productiva.
	SE	% de allanamiento anual y final de la brecha financiera.	Programación del allanamiento anual y final de la brecha financiera.
	A	% de allanamiento anual y final de la brecha de calidad e inocuidad.	Programación del allanamiento anual y final de la brecha de calidad e inocuidad.

	A	% de allanamiento anual y final de las brechas conservacionista tasa de erosión y eficiencia uso del agua.	Programación del allanamiento anual y final de brechas conservacionistas tasa de erosión hídrica y eficiencia uso del agua.

T de I: Tipo de Indicador, Ac-In: Actividad-Insumo, Pro-Prd: Proceso-Producto; Res-Imp: Resultado-Impacto. N del I: Naturaleza del Indicador, SE: Socioeconómico, T: Tecnológico, P: Productivo, A: ambiental. Cuadro 2. Algunas características del PD utilizado para ejemplificar el uso de la ENTITA.

Tipo de Tecnología	Indicador	Categorías de Rendimiento de grano					Total
		Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo	
Tecnología del INIFAP	Número de URH	1,634	35	3	2	0	1,674
	Superficie (Km^2)	2,034	22	10	9	0	2,075
	Fracción (%)	96	2	1	1	0	100
Tecnología del Productor	Número de URH	0	974	696	4	0	1,674
	Superficie (Km^2)	0	1,410	664	1	0	2,075
	Fracción (%)	0	68	32	0	0	100

El Cuadro 4 muestra la brecha financiera en términos de R B/C e INP. La brecha negativa de la R B/C de -2.14 indica que, aunque el rendimiento con tecnología INIFAP es alto, el costo de producción también es alto, de tal manera que no es rentable. En cambio, la R B/C de 4.82 con tecnología del productor indica que, aunque se obtiene menor rendimiento, este se obtiene con un costo bajo, de tal manera que la producción es rentable. El INP es quizás mejor indicador financiero, porque describe el ingreso monetario neto que realmente ingresa al bolsillo del productor, entre mayor sea el rendimiento unitario, como el caso de la tecnología INIFAP, mayor será el INP. Para allanar la brecha del INP se requiere que cada año este se incremente en \$2,327 ha^{-1}.

Cuadro 3. Ejemplo de Brecha Productiva (t ha^{-1}) y metodología lineal para allanarla en cinco años.

URH-ID en Mpio. De Apan, Hidalgo	Rendimiento de Grano de Cebada (t ha^{-1})			Metas de Rendimiento Anual (t ha^{-1}) para Allanar Brecha Productiva				
	Tecnología INIFAP	Tecnología Productor	Brecha Productiva	2026	2027	2028	2029	2030
10726-10563	6.84	4.14	2.7	4.68	5.22	5.76	6.3	6.84

Cuadro 4. Ejemplo de Brecha Financiera y metodología lineal para allanarla en cinco años.

URH-ID en Mpio. De Apan, Hidalgo	Indicadores Financieros R B/C e INP			Metas Financieras Anuales (R B/C, adimensional; INP, \$ ha^{-1}) para Allanar Brecha Financiera				
	Tecnología INIFAP	Tecnología Productor	Brecha Financiera	2026	2027	2028	2029	2030
10726-10563	R B/C=2.68	R B/C=4.82	R B/C=-2.14	4.39	3.97	3.54	3.11	2.68
	INP=37,345	INP=25,712	INP=11,633	28,038	30,364	32,691	35,018	37,345

Para allanar la brecha productiva se requiere el uso de variedades mejoradas de ciclo intermedio, con alto rendimiento y tolerantes al calor y sequía., la fertilización debe ser adecuada en términos de dosis, fuente, fracción, época y método de aplicación. Se deben usar prácticas de conservación del suelo y agua y agricultura regenerativa para mejorar las características físicas-químicas-hidráulicas-biológicas del suelo; que conserve mayor humedad para reducir el estrés hídrico. Allanar la brecha productiva de la R B/C requiere que cada año se reduzcan los costos de producción pero que se mantenga el rendimiento. La forma más rentable es el uso de variedades mejoradas. Para la etapa II de Implementación, se propone como MA las descritas en el párrafo anterior, para las MP se recomienda involucrar a las empresas productoras de cerveza y organizaciones de productores en la zona; y al INIFAP como articulador de la ENTITA. Como VETI se recomienda a los MICI's y sus ECA's, PADEM y otras actividades como

publicaciones, videos, capacitación, foros, etc. En la etapa III, todas las actividades de la ENTITA en el PD deberán registrarse en la PFD y al final de cada año y del proyecto cuantificar los indicadores del Cuadro 1. La información generada deberá analizarse y en función de ello retroalimentar a la ENTITA y proponer los ajustes necesarios.

Conclusiones

Se desarrolló la ENTITA para gestionar la transferencia e innovación tecnológica en el sector agrícola. Puede servir como guía metodológica para diseñar la política pública al respecto.

Agradecimientos y fuente financiadora

Se agradece a SAGARPA, quién a través del proyecto: Apoyo al Extensionismo Rural de la SAGARPA, en 2018 financió la generación de información que dio origen a este trabajo.

Referencias bibliográficas

Cadena, I. P. et al., 2009. Estrategias de Transferencia de Tecnología como Herramientas del Desarrollo Rural. Libro técnico No. 2. INIFAP-CIRPAS-CECCHIS, Chiapas, México. 115p.

Cristóbal, B. J. y Armijo, M. 2005. Indicadores de Desempeño en Sector Público. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social, ILPES. Santiago de Chile, 105 p.

Uresti-Gil, J., et al., 2016. Evaluación del sector agropecuario-forestal para adaptarse al cambio climático en el Sur-sureste de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol. 7(8) p1997-2009.

FACTORES ASOCIADOS CON LA ADOPCIÓN Y CONTINUIDAD DE LA VARIEDAD DE FRIJOL VERDÍN

Jaime Rangel-Quintos[1]*, Oscar Hugo Tosquy Valle[2] y Eileen Salinas Cruz[3]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRGOC. Campo Experimental La Posta, km 22.5 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94270, Medellín de Bravo, Ver., México; [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP- CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla, km 34.5 carretera Federal Veracruz - Córdoba. C.P. 94270, Medellín de Bravo, Ver., México; [3] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRPAS. Campo Experimental Centro de Chiapas, km 3.0 de la carretera Ocozocoautla – Cintalapa, C.P. 29140, Ocozocoautla Chiapas, México
*Autor para correspondencia: rangel.jaime@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Innovación agrícola, transferencia tecnológica, adopción tecnológica, variedades mejoradas.*

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos básicos de mayor importancia para el desarrollo social, económico y alimentario en México; particularmente para poblaciones rurales de alta y muy alta marginación representa fuentes de autoconsumo, de empleos directos e indirectos y de ingresos para productores de pequeña escala. Sin embargo, la producción de frijol enfrenta factores ambientales adversos, tecnológicos y socioeconómicos limitantes como los periodos prolongados de déficit hídrico especialmente la sequía terminal durante las etapas críticas del cultivo. En los casos de los estados de Veracruz y Chiapas la sequía puede ocasionar pérdidas de 20 a 100 % en el rendimiento de grano (Tosquy *et al.,* 2016).

Ante esta problemática, la generación de variedades mejoradas genéticamente adaptadas a condiciones específicas de producción son una estrategia tecnológica viable orientada hacia la resistencia a factores adversos, lo que permite incrementar la estabilidad productiva y reducir la vulnerabilidad frente a escenarios climáticos cambiantes (Beebe *et al.,* 2013).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en 2015 liberó la variedad de frijol Verdín, orientada a incorporar tolerancia a sequía terminal, precocidad y adaptación productiva como alternativa para regiones tropicales del sureste mexicano (Tosquy *et al.,* 2016). Esta variedad de frijol ha mostrado resultados favorables respecto a variedades comerciales utilizadas por los productores. Por ejemplo, la variedad Verdín ha presentado un rendimiento promedio de 1 446 kg ha^{-1}, superior en 12.8 y 10.2 % al obtenido por Negro Papaloapan y Negro Comapa, respectivamente. Asimismo, bajo condiciones de sequía alcanzó un rendimiento promedio de 1,122 kg ha^{-1}, superando en 49.9 y 41.8 % a Negro Tacaná y Negro Jamapa.

Si bien, se han contado con resultados de investigación favorables, es necesario que esta tecnología sea transferida, apropiada y utilizada por productores. Rogers (2003) señala que la adopción de una innovación corresponde al proceso mediante el cual los individuos conocen una tecnología, forman una actitud hacia ella, deciden aceptarla o rechazarla y finalmente la incorporan dentro de sus prácticas productivas. En este sentido, la adopción depende de factores como la percepción de ventajas relativas, compatibilidad con los sistemas existentes, facilidad de uso, observación de resultados y posibilidad de prueba antes de su incorporación definitiva.

La transferencia tecnológica en agricultura es un proceso dinámico donde interactúan investigadores, extensionistas, instituciones públicas, organizaciones de productores y agricultores (Klerkx *et al.,* 2012). En este sentido, los procesos de transferencia tecnológica tienen mayores posibilidades de éxito cuando los productores participan activamente, reciben acompañamiento técnico y pueden observar directamente los beneficios de la innovación (Leeuwis y Aarts 2011).

Para el caso del frijol Verdín, aunque la tecnología presenta ventajas agronómicas comprobadas, resulta necesario conocer como los productores usuarios han tenido acceso efectivo a la semilla, cuáles fueron los mecanismos mediante los cuales conocieron la variedad, qué factores influyeron en su decisión de

utilizarla y cuáles determinan su permanencia dentro del sistema productivo. La propia investigación desarrollada por INIFAP reconoce la importancia de garantizar mecanismos de disponibilidad tecnológica, señalando que “en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, se tiene la semilla original de Verdín, para producir semilla registrada, en caso de que asociaciones de productores o empresas semilleras deseen adquirirla, para producir la semilla certificada”.
Analizar los factores asociados con la adopción y continuidad de uso de Verdín permitirá identificar fortalezas y limitaciones del proceso de transferencia tecnológica, aportando información para mejorar las estrategias institucionales de difusión, capacitación y acompañamiento técnico.
El objetivo del presente estudio fue analizar factores productivos, económicos, institucionales y de transferencia tecnológica asociados con la adopción y continuidad de uso de la variedad de frijol Verdín entre productores usuarios del municipio de Villa Corzo, Chiapas.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en las localidades de San Pedro Buenavista y Primero de Mayo del municipio de Villa Corzo Chiapas (Latitud: 16.1847° N Longitud: -93.2676° O, altitud: 581 a 586 metros sobre el nivel del mar). Estas comunidades cuentan con actividad agrícola orientada principalmente a la producción de granos básicos, entre ellos el frijol. Estas localidades fueron seleccionadas debido a que se identificó que había productores usuarios de la variedad de frijol Verdín.
Villa Corzo se localiza en la región Frailesca del estado de Chiapas, presenta clima cálido subhúmedo, los cultivos agrícolas se desarrollan principalmente bajo régimen de temporal, la mayor parte de los productores son de pequeña y mediana escala. El cultivo de frijol es relevante para la economía familiar rural, aunque enfrenta limitaciones asociadas con variabilidad climática, disponibilidad de tecnología, acceso a insumos y asistencia técnica.

Diseño de muestreo y selección de productores

La población objetivo estuvo conformada por productores de frijol de las localidades San Pedro Buenavista y Primero de Mayo, municipio de Villa Corzo, Chiapas, que tuvieron contacto, conocimiento o experiencia de producción con la variedad de frijol Verdín. El tamaño de la muestra se determinó mediante el Muestreo de Proporciones de Varianza Máxima (MPVM), utilizando la expresión

$$n = \frac{NZ^2pq}{e^2(N-1) + Z^2pq}$$

Dónde:
n fue el tamaño de la muestra, N el tamaño de la población objetivo, igual a 150 productores, e fue el máximo error permitido en porcentaje (10 %) y Z el valor de confiabilidad al 95 % (1.64), p la probabilidad de fracaso (50 %) y q la probabilidad de éxito (50 %). El tamaño de la muestra fue de 47 productores, pero se realizaron 50 encuestas que representaron el 33.3 % de la población. La selección de los productores a encuestar se realizó por conveniencia, considerando a aquellos que tuvieran la disponibilidad de responder la encuesta y que emplearan la tecnología en sus unidades de producción.

Cuadro 1. Variables utilizadas en el estudio.

Características socioeconómicas	Características productivas	Proceso de adopción tecnológica
• Edad del productor. • Escolaridad. • Experiencia en producción de frijol.	Superficie sembrada. Rendimiento obtenido. • Tipo de manejo tecnológico. Uso de semilla Verdín.	• Capacitación y asistencia técnica recibida. Fuentes de información. Limitantes de uso. Asistencia técnica. Acceso a semilla.

La información se obtuvo mediante la aplicación de una encuesta estructurada diseñada para evaluar el proceso de adopción de la variedad de frijol Verdín. La encuesta estuvo dividida en los siguientes

apartados: Características socioeconómicas, Características productivas y Proceso de adopción tecnológica (Cuadro 1).

Análisis estadístico

La información obtenida de las 50 encuestas fue integrada en una base de datos y analizada mediante el programa estadístico IBM SPSS *Statistics*. Se realizaron análisis descriptivos mediante frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central.

Resultados y discusión

La edad promedio de los productores usuarios es de 46 años, cuentan con más de 23 años de experiencia en la producción de frijol, lo que implica un importante conocimiento tradicional sobre el cultivo.

Cuadro 2. Características socioeconómicas de los productores usuarios.

Escolaridad (Porcentaje)	Primaria Secundaria Preparatoria	38% 22% 38%
Edad (promedio años)	46+/- 7.6	
Años produciendo frijol	23 +/- 8.3	
Superficie total sembrada con Verdín (ha promedio)	1.1 +/- 0.5	
Rendimiento (t/ha promedio)	2.04 +/- 0.3	

El frijol Verdín es conocido en la región desde 2019 pero la mayor parte de los productores lo conocieron entre el 2020 y 2022, siendo los años 2022 y 2023 donde la mayoría de ellos comenzó a utilizar el Verdín. Los productores en su mayoría (62%) indicaron que conocieron el frijol Verdín porque vieron a otros productores o ellos les recomendaron utilizarlo (32%) por lo que les pareció una muy buena opción por sus resultados en campo.

Los productores usuarios indicaron que decidieron utilizar esta variedad motivados a obtener mayores rendimientos, recomendaciones de amigos productores o bien, para obtener mejores rendimientos ante la sequía y resistencia a plagas (Figura 1). De acuerdo a Tosquy *et al*. (2016), la variedad de frijol Verdín ofrece ventajas críticas por su alta tolerancia a la sequía y su ciclo de cosecha precoz, que permite a los productores obtener mayores ganancias en un menor tiempo y con un uso reducido de agroquímicos. Sin embargo, los productores usuarios indicaron que la mayor ventaja de sembrar Verdín es por su mayor rendimiento (56%) y resistencia a enfermedades.

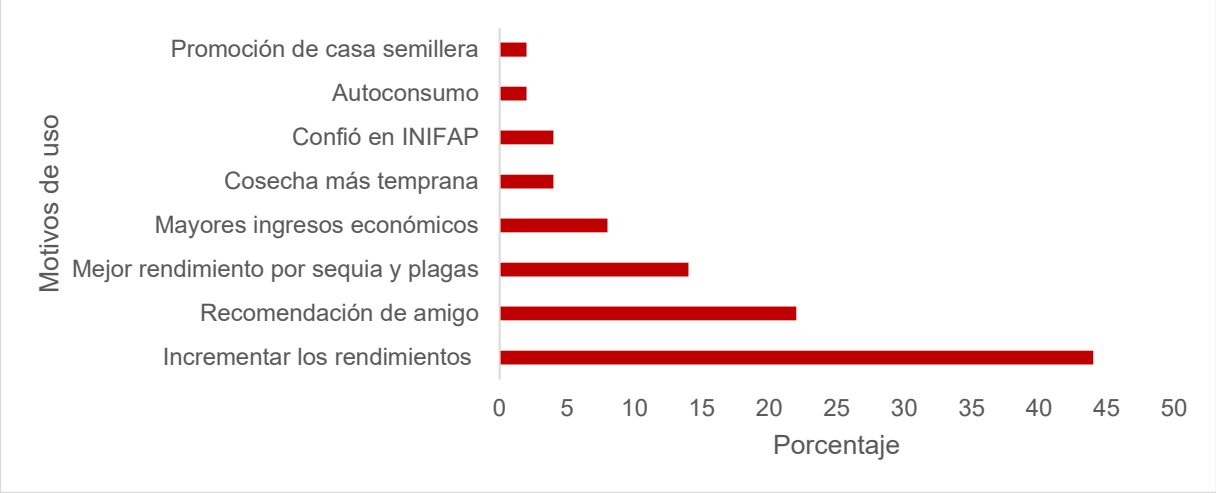


Figura 1. Principal motivo por el cual los productores utilizan el Verdín

En cuanto a los resultados económicos los productores opinan que han mejorado sus ingresos netos en un 78%, y un 20% afirma que han sido totalmente mejores. Sin embargo, la limitante expresada por los usuarios destaca que la semilla es costosa (60%) y además es difícil adquirirla (16%) y falta asesoría técnica para obtener el mayor provecho de esta variedad (16%). En este sentido, la mayor parte de la semilla se consigue a través de mercados regionales (40%) y en menor escala en casas semilleras (28%).

Cabe destacar que el total de productores indicó no haber recibido capacitación ni asistencia de parte de ninguna instancia para la producción de esta variedad de frijol. Solo el 4% afirmó haber asistido a algún evento promocional de esta variedad en el INIFAP. De esta manera, los productores cuentan con limitados mecanismos de capacitación y orientación tecnológica, el 26% mencionó revisar folletos o revistas que traten sobre temas del campo, 36% hace consultas en internet al respecto y solo el 2% indicó estar dentro de un grupo de WhatsApp que manejara temas informativos tecnológicos sobre el campo.

Se cuestionó a los productores de acuerdo a su experiencia porque recomendaría el frijol Verdín; destaca que la gran mayoría indicó que lo recomendaría porque es más fácil de cosechar, lo que requiere menos trabajo, por otro lado, también indicaron que hay una mejor comercialización del grano al ser más pesado. Otro aspecto que se destacó fue su capacidad para el control de plagas y la disminución enfermedades. En menor proporción indicaron que se recomendaría porque aumenta la producción y el crecimiento es más rápido (Figura 2).

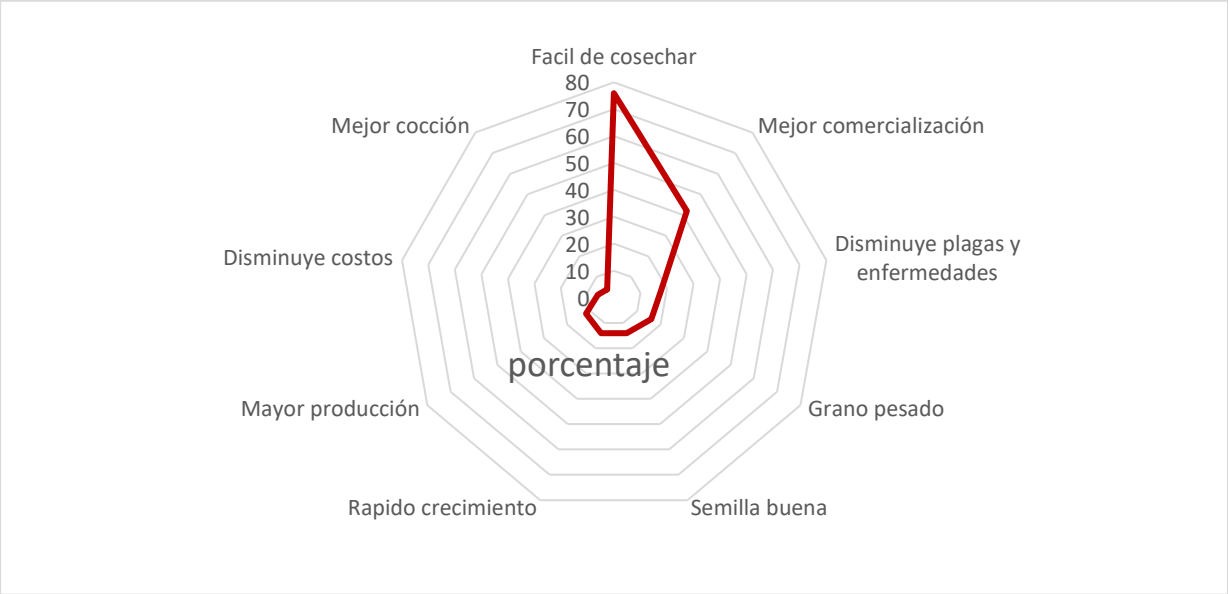


Figura 2. Razones para recomendar el uso del frijol Verdín.

Conclusiones

La adopción y continuidad de uso de la variedad de frijol Verdín en productores de Villa Corzo, Chiapas, está determinada por la interacción de factores tecnológicos, económicos, sociales e institucionales que influyen en la decisión del productor para incorporar y mantener su uso. La percepción de ventajas productivas como mayor rendimiento, adaptación, precocidad y mejores resultados económicos, junto con el acceso a semilla, capacitación y asistencia técnica, representan elementos fundamentales para fortalecer la permanencia de la tecnología. Los resultados permitieron identificar condiciones que favorecen o limitan la adopción del frijol Verdín, generando información que puede utilizarse para mejorar las estrategias de transferencia tecnológica. Se destaca que la generación de una variedad mejorada no es suficiente para garantizar su impacto en el sector productivo; es necesario implementar mecanismos

eficientes de difusión, acompañamiento técnico y vinculación con los productores. En este sentido, evaluar el proceso de adopción permite valorar la efectividad de las acciones de transferencia tecnológica y contribuir al diseño de estrategias que favorezcan una mayor apropiación de las innovaciones agrícolas desarrolladas por los centros de investigación.

Referencias bibliográficas

Beebe, S., Rao, I. M., Blair, M. W., and Acosta G. J. A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. Frontiers in Physiology, 4, 35.

Klerkx, L., van Mierlo, B., and Leeuwis, C. (2012). Evolution of systems approaches to agricultural innovation: Concepts, analysis and interventions. In: Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer, Dordrecht, Netherlands.

Leeuwis, C., and Aarts, N. (2011). Rethinking communication in innovation processes: Creating space for change in complex systems. Journal of Agricultural Education and Extension, 17(1), 21-36.

Rogers, E. M. (2003). Diffusion of Innovations. 5th Edition. New York, USA: Free Press. New York, USA 550 p.

Tosquy V. O. H., López S. E., Villar S. B., Acosta G. J. A., and Rodríguez R. J. R. (2016). Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(7), 1775-1780.

CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES DE MAÍZ PEPITILLA Y DESTINO DE LA PRODUCCIÓN EN CUETZALA DEL PROGRESO, GUERRERO

Erika Belem Castillo-Linares[1]*, César del Ángel Hernández-Galeno[2], Miguel Ángel Martínez-Ortíz[3], Yolanda Salinas-Moreno[3] y José Manuel Cabrera-Toledo[4]

[1] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), CIR Golfo Centro-Campo Experimental Huimanguillo. [2] NIFAP, CIR Pacífico Sur-Campo Experimental Iguala; [3] INIFAP, CIR Pacífico Centro-Campo. Experimental Altos de Jalisco. [4] Instituto Tecnológico de Comitancillo.
*Autor para correspondencia: castillo.erika@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Maíz nativo*, *comercialización, análisis de redes sociales (ARS)*

Introducción

Los maíces nativos, también llamados maíces criollos, son términos que se utilizan para referirse a materiales locales y tradicionales que tienen un arraigo ancestral en la vida de la población mexicana, por ser la base de la alimentación tradicional y un símbolo de identidad cultural, sobretodo para las comunidades rurales. Sin embargo, el uso de estos maíces ha cambiado a través de los años debido a factores como la globalización, la modificación en la vida social y productiva del sector rural, cambios en las preferencias y hábitos de consumo, y la migración, entre otros, lo cual ha originado una disminución en su consumo y producción (Llanos Hernández & Santacruz de León, 2022). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue caracterizar a los productores de maíz pepitilla en Cuetzala del Progreso, Guerrero, así como analizar el destino de la producción y la estructura de relaciones y flujos comerciales de este tipo de maíz, con el fin de identificar alternativas que permitan orientar estrategias de capacitación para mejorar su producción y comercialización sin comprometer la conservación de su biodiversidad.

Materiales y métodos

Esta investigación se llevó a cabo en localidades del municipio de Cuetzala del Progreso, Guerrero. Para el estudio, a 50 productores de maíz seleccionados mediante un muestreo no aleatorio, se les aplicó un cuestionario semiestructurado durante marzo y abril de 2026, a través de entrevistas presenciales. Los cuestionarios fueron divididos en las siguientes secciones: 1) Caracterización socioeconómica de los productores, 2) Aspectos productivos del cultivo y almacenamiento del maíz, y 3) Destino de la producción y redes de comercialización del grano. La información se codificó y se capturó en una base de datos en excel®. Para el análisis de información se utilizó estadística descriptiva y se realizó un análisis de redes sociales (ARS) con el software Gephi ® V.0.11.
El ARS tiene como fundamento al ser humano como ente social que se vincula con otros para fines comunes, estableciendo relaciones o vínculos para conformar grupos, es decir: redes. Así, el ARS se centra en las relaciones entre los actores, y no en los actores individuales y sus atributos (Hanneman & Riddle, 2005).

Resultados y discusión

Los resultados socioeconómicos de este estudio mostraron que el 73 % de los entrevistados fueron hombres y el 27 % mujeres, con una edad entre 51 y 78 años, y una edad media de 51.26 ± 12.9 años (Cuadro 1). Los niveles de escolaridad fueron: primaria (45.24 %), secundaria (23.81 %), bachillerato (4.76 %), y sin estudios (26.19 %). Estos resultados son similares a los que encontraron Espinosa-Rodríguez et al. (2025) para productores caracterizados en Guerrero, cuyo principal nivel de escolaridad es la primaria. En cuanto al nivel de ingresos de los productores, con respecto a sus ingresos totales, los ingresos por la producción y comercialización de maíz representan del 75-100% únicamente en el 8.3 % de los casos; entre el 50-74% para un 14.6 % de productores; y respresentan menos del 50 % para el 77 % restante. Esto indica que los productores son pluriactivos, ya que la producción de maíz para la mayoría de ellos no

constituye la única fuente de ingresos. El diversificar sus actividades resulta importante en el aporte de ingresos para satisfacer las necesidades familiares, así como para la persistencia de la agricultura, gracias a la cual obtienen el maíz como fuente importante para la alimentación.

Cuadro 1. Características socioeconómicas de los productores de maíz pepitilla en Cuetzala del Progreso

Variable	Media ± D. E.	Mínimo	Máximo
Edad (años)	51.3 ± 12.9	25.0	78.0
Experiencia en la actividad (años)	28.9 ± 12.7	8.0	55.0
Superficie total de la unidad de producción (ha)	2.0 ± 1.4	0.4	7.50
Número de integrantes en la familia	3.9 ± 1.67	1.00	10.0

D.E. = Desviación estándar

En cuanto a la producción, el manejo del cultivo es de tipo tradicional con escaso uso de tecnología. Un 61.7% de los productores cultiva solo maíces criollos, mientras que el 38.3 % cultiva tanto maíz criollo como híbrido. De los que cultivan maíces criollos, el 98 % utiliza semilla criolla propia, y la mayoría cultiva simultáneamente diferentes tipos de éstos, como el maíz pepitilla, maíces de color, y maíz pozolero principalmente (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con lo que encontraron Osorio-García et al. (2015) para agricultores del Valle de Puebla. Las prácticas para conservar y almacenar el grano y las semillas, en este caso se reducen a secado al sol y a utilizar, en el 71.7 % de los casos, “pastillas” de fosfuro de aluminio; así como almacenamiento en recipientes herméticos: silo (46.81 %), troje (13 %), rotoplas (6.4 %), y tapanco (5.49 %).

Cuadro 2. Características de la producción de maíz en Cuetzala del Progreso, Guerrero, de acuerdo con los entrevistados.

Variable	**Descripción**
Tipo de semilla que utilizan (%)	Solo criolla 61.7, criolla e híbrida 38.3
Tipo de maíces criollos que cultivan (%)*	Pepitilla 85.4, de color 51.1, pozolero 40.4
Tipo de maíces híbridos que cultivan (%)*	Amarillo 53.8, blanco 46.1
Superficie con maíz pepitilla (ha)	1.2 ± 0.64
Rendimiento de maíz pepitilla (kg/ha)	1,472.34 ± 159.76
Época de producción de maíz pepitilla (meses)	Junio-Diciembre

*El porcentaje supera el 100% debido a que los productores cultivan simultáneamente dos o más tipos de maíz

Por lo que respecta al destino de la producción de maíz, los tres principales nodos receptores que señalaron los productores entrevistados fueron: autoconsumo, comercialización y alimentación de ganado. El análisis de redes sociales (ARS) permitió identificar el destino autoconsumo como el nodo más importante para la red, tanto en términos de participación de productores, como del volumen de producción que los entrevistados orientan a este destino (Figura 1). El 72.9% son productores diversificados que destinan su producción a los tres nodos en diferentes proporciones El 17 % de los entrevistados se pueden considerar productores de subsistencia, ya que orientan toda su producción al autoconsumo y a la alimentación de ganado, y no destinan nada a la comercialización; en contraste, únicamente el 2.1 % están enfocados en la comercialización y la alimentación de ganado, y nada al autoconsumo. El 8% restante de los entrevistados no destinan ningún volumen de producción para la alimentación de ganado, enfocándose únicamente en el autoconsumo y la comercialización.

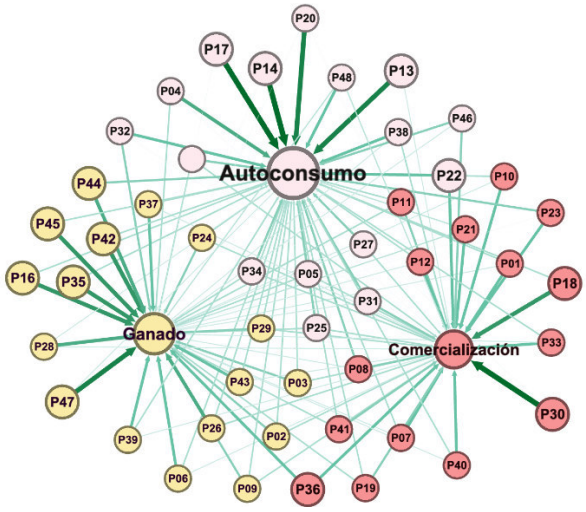


Figura 1. Red de destino de la producción de maíz pepitilla de acuerdo con los entrevistados.

Al considerar a los productores que comercializan, se encontró que los canales que capturan la mayor participación de productores de maíz pepitilla, son el mercado local, seguido de diversos intermediarios, y en muy baja proporción la transformación o industrialización de productos, principalmente tamales y tortillas (Figura 2).

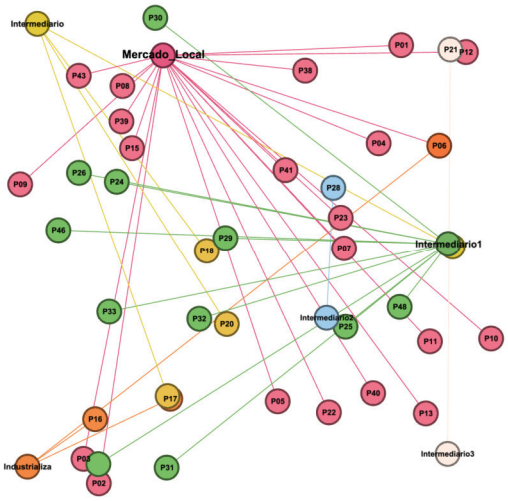


Figura 2. Red de comercialización de maíz pepitilla de acuerdo con los entrevistados.

De los productores que comercializan el grano, el 82.93 % mencionó que realiza la venta en su domicilio, el 9.76 % transporta el grano a un punto de venta, y el 7.32 % concreta la venta a pie de parcela. Es importante señalar que para establecer el precio de venta (Cuadro 3), en el 72.92 % de los casos el precio lo decide el comprador, un 21. 62% lo fija con referencia al precio del mercado, y un 5.41 % mencionó que lo hace con base en la calidad del grano.

Cuadro 3. Precio de venta del maíz pepitilla en Cuetzala del Progreso (2026).

Variable	Media ± D. E.	Mínimo	Máximo
Precio de venta ($/kg)	7.16 ± 1.7	5.50	13.0

D.E. = Desviación estándar

Conclusiones

Los productores de maíz pepitilla en Cuetzala del Progreso, Guerrero, son productores principalmente de tipo familiar. Manejan unidades de producción de baja escala ($\bar{x}$ = 2 ha). Se trata de productores pluriactivos para los cuales el cultivo de maíz no es la única fuente de ingresos. Cultivan una mezcla de maíces nativos y una menor proporción de ellos producen tanto maíces nativos como híbridos. Realizan prácticas básicas de conservación y almacenamiento del grano. En cuanto al destino de su producción, se trata en su mayoría de productores diversificados que orientan su producción en distintos volumenes al autoconsumo, a la alimentación de ganado y a la comercialización. Sin embargo, la red de comercialización evidenció una baja diversificación de canales, donde si bien predomina la venta en el mercado local, también hay una alta incidencia de intermediarios. Aunado a lo anterior, su escasa capacidad para almacenar el grano los coloca en una posición de aceptar el precio que fijen los compradores. De cara a mejorar la producción y comercialización del maíz pepitilla, se requiere de una estrategia diferenciada, por un lado, fortalecer las capacidades productivas y la infraestructura de acopio que permita consolidar la oferta de los productores; y por otro, enfocarse en la agregación de valor desde la producción en campo.

Agradecimientos y fuente financiadora

A los productores de maíz de Cuetzala del Progreso, del estado de Guerrero; a los técnicos encuestadores; así como a la SECIHTI, por el financiamiento otorgado para realizar este trabajo, el cual es un entregable del proyecto con No. de SIGI-INIFAP: 11272037314.

Referencias bibliográficas

Espinosa-Rodríguez, M., Sabino-López, J. E., Antúnez-Ocampo, O. M., Pérez-Pacheco, R., & Maldonado-Peralta, M. de los Á. (2025). Caracterización socioeconómica y productiva de productores de frijol nativo en Guerrero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 16(2), e3541. https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v16i2.3541 Introducción

Gephi Consortium. (2023). Gephi (Versión 0.11) [Software de computadora]. https://gephi.org.

Hanneman, R. A., & Riddle, M. (2005). Chapter 1: Social Network Data. In Introduction to social network methods.

Llanos Hernández, L., & Santacruz de León, E. E. (2022). Territorio, cambios en la alimentación y la emergencia de problemas socioambientales en la comunidad indígena de Zinacantán, Chiapas. LiminaR, 20(2), 1–15.

Osorio-García, N., López-Sánchez, H., Ramírez Valverde, B., Gil-Muñoz, A., & Gutiérrez-Rangel, N. (2015). Producción de maíz y pluriactividad de los campesinos en el Valle de Puebla, México. Nova Scientia, 7(14), 577–600. https://doi.org/10.21640/ns.v7i14.118

CERTEZA Y VALORACIÓN PRELIMINAR DE ATRIBUTOS AGROECOLÓGICOS SEGÚN CANAL DE COMPRA EN VERACRUZ-BOCA DEL RÍO

Karina Pascual-Osorio[1*], José Jaime Arana-Coronado[1], Andrés Rebolledo-Martínez[2], Gerardo Montiel-Vicencio[2] y Roberto Carlos García-Sánchez[1]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Posgrado en Economía, Texcoco, Estado de México, México; [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: kpascualosorio@gmail.com

Palabras clave: *Disposición a pagar, atributos de confianza, certeza en la calidad, Asimetría de información.*

Introducción

Los productos agroecológicos incorporan atributos relacionados con la ausencia o reducción de insumos sintéticos, el cuidado ambiental, el origen local y el apoyo a unidades de producción de pequeña escala. Una parte de estos atributos no puede verificarse plenamente al momento de la compra; por ello, el consumidor toma decisiones bajo información imperfecta y utiliza señales que le permiten inferir la calidad del producto. Esta condición corresponde a los denominados bienes de confianza, en los cuales la credibilidad del productor, la certificación, el etiquetado, la reputación y la experiencia previa pueden modificar la valoración económica del consumidor (Darby y Karni, 1973). Cuando las señales son insuficientes o poco comprensibles, la asimetría de información puede limitar el desarrollo de mercados diferenciados y reducir el incentivo para pagar un precio adicional.

El tipo de canal de compra es relevante porque determina la forma en que se comunica y verifica la calidad. En supermercados predominan señales institucionales, como etiquetas, marcas y certificaciones; en mercados tradicionales intervienen la reputación del vendedor y la experiencia de compra; mientras que en canales locales o directos la interacción con el productor puede hacer más tangibles el origen y las prácticas de producción. La evidencia señala que la disposición a pagar por alimentos orgánicos o diferenciados no depende exclusivamente del ingreso, sino también de la calidad percibida, la confianza, el conocimiento y los valores ambientales (Katt y Meixner, 2020). En México, los tianguis y mercados orgánicos muestran que la cercanía social puede funcionar como un mecanismo de garantía, particularmente cuando la certificación formal es limitada o costosa (Bustamante y Schwentesius, 2018).

La zona conurbada Veracruz-Boca del Río concentra supermercados, mercados públicos, fruterías y experiencias de venta directa, por lo que constituye un espacio adecuado para comparar la valoración de atributos agroecológicos bajo diferentes contextos de información. El objetivo de este trabajo fue describir preliminarmente la certeza percibida y la valoración de atributos agroecológicos de consumidores de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, de acuerdo con el canal de compra urbano, tradicional o local. Este enfoque presenta únicamente resultados descriptivos seleccionados, sin reproducir la estimación econométrica integral desarrollada en la investigación de origen.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río, Veracruz, México. La población objetivo estuvo integrada por personas mayores de edad consumidoras potenciales de alimentos. Se utilizó muestreo aleatorio simple con corrección por población finita, nivel de confianza de 95%, error máximo permisible de 5% y máxima variabilidad (p=q=0.5). El tamaño de muestra fue de 384 consumidores. Las encuestas se aplicaron presencialmente entre junio y agosto de 2025 y la participación fue voluntaria.

La muestra se distribuyó en tres contextos de comercialización: 152 encuestas (40%) en el canal urbano, integrado por supermercados; 132 (34%) en el canal tradicional, que comprendió mercados públicos y fruterías; y 100 (26%) en el canal local, correspondiente a compra directa en unidades de producción o

puntos gestionados por productores. Esta segmentación permitió comparar entornos en los que predominan señales formales, relacionales o de interacción directa, respectivamente.

El cuestionario estructurado incluyó variables sociodemográficas, entendimiento del término agroecológico, interés por conocer el proceso de producción, confianza, frecuencia de consumo, importancia del precio y la calidad, y disposición a pagar por atributos específicos. Se seleccionaron variables directamente vinculadas con certeza y valoración: confianza en el productor de que los productos vendidos cumplen con el principio de ser agroecológico (escala de 1 a 5), entendimiento del término agroecológico (1 a 4), identificación de confianza en el origen del producto, precio, calidad e importancia como factores de decisión (variables dicotómicas: 0=no, 1=sí), y valoración de pagar más por origen local, apoyo a pequeños productores, ausencia de pesticidas sintéticos y protección ambiental (1 a 5). La información se organizó en Microsoft Excel. Se calcularon medias y desviaciones estándar por canal; en las variables dicotómicas, la media se interpretó como proporción. Debido al carácter preliminar de la comunicación, las comparaciones se interpretaron descriptivamente y no como pruebas de diferencia estadística.

Resultados y discusión

La participación femenina fue mayoritaria en los tres canales (69.7% en el urbano, 68.2% en el tradicional y 64.0% en el local). El canal local presentó, además, medias superiores en las categorías de escolaridad e ingreso. Estas características sugieren que los espacios de venta directa captaron un grupo con mayor capacidad para procesar información sobre el proceso productivo y valorar atributos no observables; sin embargo, por tratarse de una descripción por canal, no puede establecerse causalidad.

Cuadro 1. Medias de variables seleccionadas de certeza y valoración de atributos agroecológicos por canal de compra.

Variable y escala	Urbano	Tradicional	Local
Confianza en el origen del producto (0-1)	0.230	0.128	0.450
Confianza en el productor (1-5)	3.881	3.833	4.070
Entendimiento del término (1-4)	3.184	3.159	3.600
Importancia de criterios agroecológicos (0-1)	0.546	0.484	0.650
Precio como factor de compra (0-1)	0.421	0.409	0.360
Calidad como factor de compra (0-1)	0.776	0.788	0.670
Pagar más por origen local (1-5)	3.125	2.969	3.720
Pagar más por apoyar a pequeños productores (1-5)	3.506	3.416	4.050
Pagar más por ausencia de pesticidas sintéticos (1-5)	3.815	3.689	4.150
Pagar más por cuidado ambiental (1-5)	4.177	4.196	4.280

Nota: en las variables dicotómicas, la media equivale a la proporción de respuestas afirmativas.

La confianza en el origen del producto mostró el patrón más claro entre canales. En el canal local, 45.0% de los participantes señaló la confianza en el origen del producto como factor de compra, frente a 23.0% en el urbano y 12.8% en el tradicional. La confianza en el productor también fue descriptivamente mayor en el canal local (4.070 de 5). Este resultado es congruente con la idea de que la proximidad al productor reduce la distancia informativa: el consumidor puede preguntar por el origen, observar prácticas o recurrir a experiencias de compra repetidas. En contraste, en el canal urbano la confianza depende con mayor frecuencia de información estandarizada. Aunque el etiquetado y la certificación pueden reducir incertidumbre, su eficacia está condicionada por el reconocimiento y la comprensión de los sellos (Janssen y Hamm, 2012).

El entendimiento del término agroecológico alcanzó la media más alta en el canal local (3.600 de 4), al igual que la importancia asignada a los criterios agroecológicos (0.650). Esto sugiere que la interacción cercana con el proceso productivo puede favorecer una interpretación más concreta del atributo. En los canales urbano y tradicional, el deseo de conocer más sobre la forma de producción fue también elevado, lo cual revela una oportunidad para mejorar la comunicación al consumidor mediante información breve, verificable y comparable.

La calidad fue un factor de compra más frecuente que el precio en los tres canales. En el urbano y tradicional, 77.6 y 78.8% de los consumidores, respectivamente, identificaron la calidad como criterio de decisión, mientras que el precio fue mencionado por 42.1 y 40.9%. En el canal local, aunque la proporción asociada con calidad fue menor (67.0%), también superó al precio (36.0%). Este patrón indica que el sobreprecio no se evalúa de forma aislada: su aceptación depende de que el consumidor perciba beneficios y autenticidad. La literatura internacional coincide en que la calidad, la salud, el ambiente, el conocimiento y el origen local figuran entre los principales impulsores de la disposición a pagar por alimentos diferenciados (Katt y Meixner, 2020).

La valoración de pagar más por atributos específicos fue sistemáticamente superior en el canal local. La media para origen local fue 3.720, para apoyo a pequeños productores 4.050, para ausencia de pesticidas sintéticos 4.150 y para cuidado ambiental 4.280. Este último atributo recibió la valoración más alta en los tres canales (4.177 a 4.280), lo que muestra una base transversal de preocupación ambiental. La mayor valoración local puede relacionarse con que el consumidor percibe esos atributos como más creíbles cuando existe cercanía con el productor. En los mercados orgánicos mexicanos, la confianza, la pertenencia territorial y las relaciones repetidas contribuyen a sostener la autenticidad del producto, aun cuando los mecanismos de certificación no estén presentes en todos los casos (Bustamante y Schwentesius, 2018).

En conjunto, los resultados preliminares muestran que los canales no son únicamente lugares físicos de compra, sino entornos de información distintos. El urbano requiere señales formales claras y reconocibles; el tradicional depende de reputación y experiencia; y el local fortalece la certeza mediante interacción directa. Por ello, una estrategia única de comercialización sería insuficiente. Los productores y comercializadores deben adaptar los mensajes al contexto: trazabilidad y etiquetas comprensibles en supermercados; reputación, información verbal y consistencia en mercados tradicionales; y demostración de prácticas, visitas o narrativas verificables en canales directos.

Conclusiones

El canal local presentó las mayores medias de confianza, entendimiento del término agroecológico y disposición a pagar por origen local, apoyo a pequeños productores, ausencia de pesticidas sintéticos y cuidado ambiental. En los tres canales, la calidad tuvo mayor peso descriptivo que el precio y el atributo ambiental obtuvo la valoración más alta. Estos hallazgos preliminares indican que la certeza sobre la calidad se construye de manera diferenciada según el entorno de compra y que la cercanía productor-consumidor puede fortalecer la credibilidad de atributos difíciles de verificar. Para ampliar la demanda de productos agroecológicos se requiere combinar información formal comprensible con mecanismos de confianza interpersonal y trazabilidad adaptados a cada canal. Las conclusiones se limitan al análisis descriptivo y deberán complementarse con la evaluación econométrica integral.

Agradecimientos

A las personas consumidoras que participaron voluntariamente en las encuestas y a quienes colaboraron en el trabajo de campo.

Fuente financiadora

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), mediante beca de maestría otorgada a la autora principal (CVU 1335606).

Referencias bibliográficas

Bustamante, L.T.I. y Schwentesius, R.R. 2018. Perfil y situación de los productores que integran los tianguis y mercados orgánicos en México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 15(4):507-530.

Darby, M.R. y Karni, E. 1973. Free competition and the optimal amount of fraud. Journal of Law and Economics 16(1):67-88.

Janssen, M. y Hamm, U. 2012. Product labelling in the market for organic food: consumer preferences and willingness to pay for different organic certification logos. Food Quality and Preference 25(1):9-22.

Katt, F. y Meixner, O. 2020. A systematic review of drivers influencing consumer willingness to pay for organic food. Trends in Food Science & Technology 100:374-388.

ABASTECIMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN DE YUCA DULCE (*Manihot esculenta* Crantz) EN EL MERCADO TRADICIONAL DE CATEMACO, VERACRUZ

Lily Lorena Luna-Castellanos[1], Alejandra Soto-Estrada[1]*, Oscar Burbano-Figueroa[2], Isaac Meneses-Márquez[3] y Octavio Ruiz-Rosado[1]

[1]Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, predio Tepetates, C.P. 91690, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México; [2]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Turipaná. Km. 13 vía Montería-Cereté, C.P. 230550, Córdoba, Colombia; [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla. Km. 34.5 Carretera Federal Veracruz-Córdoba, C.P. 94270, Medellín de Bravo, Veracruz, México.
*Autor para correspondencia: alejandras@colpos.mx

Palabras clave: *Canales de distribución, comercio minorista, intermediación, margen bruto, venta directa*.

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los principales cultivos alimentarios tropicales y constituye una fuente importante de energía en la dieta humana (Mohidin *et al*., 2023). Además de consumirse fresca, la raíz puede transformarse en harina y otros derivados alimentarios; asimismo, subproductos del procesamiento, como la cáscara, el bagazo y los efluentes líquidos, pueden aprovecharse para generar biocombustibles y materiales biodegradables (Andrés-Meza *et al*., 2024). En México, la importancia productiva de la yuca es menor que la de otros cultivos; sin embargo, contribuye a la alimentación y a la generación de ingresos de las familias rurales (Andrés-Meza *et al*., 2024). En 2024, la producción nacional fue de 23 488 t, obtenidas en 1 935 ha, con un rendimiento promedio de 12.14 t ha^{-1}. Tabasco concentró 86 % de la producción, mientras que Veracruz aportó aproximadamente 1 % (SIAP, 2024). Investigaciones realizadas en Veracruz han documentado la presencia y el manejo del cultivo en distintas regiones; no obstante, se conoce poco sobre su circulación en los mercados locales (Del Rosario-Arellano *et al*., 2024). Catemaco es uno de los municipios que integran la región de Los Tuxtlas, en Veracruz. En este municipio, la yuca se consume hervida y en tortitas, además de incorporarse en comidas regionales como el chilpachole y la yuca al ajillo. A pesar de este arraigo gastronómico y cultural, no se dispone de información sistematizada sobre la dinámica comercial de la yuca en Catemaco, particularmente respecto de su procedencia, los volúmenes comercializados, los precios y las formas de intermediación. El análisis de estas variables resulta fundamental para establecer la participación de la producción local frente al abastecimiento externo, dimensionar el flujo comercial e identificar oportunidades de inserción para los productores de la región. En este contexto, el objetivo del estudio fue caracterizar el abastecimiento y la comercialización de yuca dulce en el mercado tradicional de Catemaco, Veracruz.

Materiales y métodos

La investigación se realizó bajo un enfoque mixto, con alcance descriptivo e interpretativo, mediante un estudio de caso orientado a caracterizar el abastecimiento y la comercialización de yuca dulce en el mercado tradicional de Catemaco, Veracruz. La información se recopiló entre octubre y noviembre de 2025. Mediante un muestreo no probabilístico intencional, dirigido a las personas que comercializaban yuca dulce, se identificaron ocho comercializadores, quienes representaban la totalidad de los vendedores de este producto en el mercado durante el periodo estudiado. Las técnicas de recolección de información fueron la entrevista semiestructurada y la observación directa y como instrumento se utilizó una guía de entrevista. Se recopiló información sobre la procedencia de la yuca, la modalidad de abastecimiento ya fuera mediante producción propia o adquisición a proveedores, la cantidad y frecuencia de compra, los precios de adquisición y venta, los canales de distribución, la participación de intermediarios y las variaciones

estacionales de la comercialización. Las entrevistas también permitieron identificar formas de consumo y factores culturales asociados con la variación estacional de las ventas.
La información se organizó en una matriz de datos elaborada en Microsoft Excel® para Windows. Las respuestas abiertas se agruparon en categorías temáticas, mientras que los datos categóricos se resumieron mediante frecuencias absolutas y porcentajes. Para los datos cuantitativos se calcularon valores promedio. Para cada participante, el volumen mensual comercializado se estimó a partir de la cantidad y la frecuencia de abastecimiento reportadas, estandarizadas a un periodo de 30 días. Los ocho valores individuales se sumaron para obtener el volumen mensual total del mercado. El margen bruto unitario se calculó como la diferencia entre los precios de venta y adquisición por kilogramo de yuca.

Resultados y discusión

Se identificaron dos modalidades de abastecimiento entre los ocho comercializadores entrevistados. Siete participantes (seis mujeres y un hombre) adquirían la yuca de proveedores ubicados en el mercado de San Andrés Tuxtla, Veracruz; en contraste, una de las mujeres, reconocidas localmente como canasteras, comercializaba su propia producción en Catemaco. En consecuencia, la adquisición externa predominó entre los vendedores (87.5 %), mientras que la producción propia estuvo presente únicamente en 12.5 % (Figura 1).



Figura 1. Rutas de abastecimiento de yuca dulce en el mercado tradicional de Catemaco, Veracruz. Fuente: elaboración del autor con base en datos obtenidos mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa.

Esta configuración confirma el papel del mercado de San Andrés Tuxtla como principal nodo de abastecimiento de yuca para Catemaco y evidencia la reducida inserción de la producción local. En contraste, la venta de cosecha propia realizada por una canastera constituye un circuito corto, caracterizado por la mínima intermediación entre producción y consumo (CEPAL, 2014). La dependencia de un nodo externo sugiere que las variaciones en la disponibilidad y el precio de la yuca en San Andrés Tuxtla podrían transmitirse al mercado de Catemaco. A esta dependencia estructural se suma una dinámica de comercialización a pequeña escala, que combina una rotación regular del producto con variaciones estacionales vinculadas a prácticas alimentarias y culturales locales. El Cuadro 1 sintetiza los indicadores que permiten dimensionar esta dinámica.

Cuadro 1. Indicadores económicos y socioculturales de la comercialización de yuca dulce en Catemaco, Veracruz.

Dimensión	Indicador	Resultado
Económica	Cantidad y frecuencia comercializada	5 kg cada tres días por comerciante
	Volumen mensual estimado	50 kg por comerciante; 400 kg para el mercado
	Precio de adquisición y venta	\$20 y \$30 MXN kg^{-1}, respectivamente
	Margen bruto unitario	\$10 MXN kg^{-1}
	Valor mensual de las ventas	\$1,500 MXN por comerciante; \$12,000 MXN para el conjunto de los ocho comerciantes
	Margen bruto mensual estimado	\$500 MXN por comerciante abastecido externamente; \$3,500 MXN para los siete comerciantes
Sociocultural	Periodo de mayores ventas	Octubre a diciembre, con mayor concentración en noviembre
	Formas de consumo	Hervida, tortitas, tortillas, conserva, caldos, al ajillo y frita
	Factores asociados con la estacionalidad	Uso en altares del Día de muertos y mayor consumo durante la temporada fría

Fuente: elaboración del autor con base en datos obtenidos mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa.

El margen bruto de comercialización representó 33.3 % del precio de venta y 50 % del precio de adquisición. La venta directa permitió a la productora-canastera comercializar su cosecha sin recurrir a proveedores externos y recibir el precio final del producto. En las cadenas de valor agropecuarias, los proveedores externos y/o intermediarios contribuyen a la generación de valor al facilitar el transporte, la distribución y el acceso a los mercados (Gaudin y Padilla, 2020). En Catemaco, los proveedores de San Andrés Tuxtla cumplen esta función al sostener el abastecimiento minorista frente a la limitada participación de la producción local.

Conclusiones

El abastecimiento de yuca dulce en el mercado tradicional de Catemaco se sustenta principalmente en proveedores de San Andrés Tuxtla, mientras que la producción local tiene una participación limitada. La coexistencia del abastecimiento externo con la venta directa de una productora-canastera evidencia dos formas de articulación comercial: una que sostiene la oferta minorista y otra que vincula directamente la producción local con el consumidor. Aunque la comercialización se desarrolla a pequeña escala, su continuidad y estacionalidad reflejan la permanencia de una demanda asociada con prácticas alimentarias y culturales del municipio. Estos resultados constituyen una línea base para orientar estrategias que fortalezcan la participación de los productores locales en el mercado de Catemaco.

Referencias bibliográficas

Andrés-Meza, P., Aguilar-Rivera, N., Meneses-Márquez, I., Del Rosario-Arellano, J. L., Bolio-López, G. I., & Leyva-Ovalle, O. R. (2024). Cassava cultivation; current and potential use of agroindustrial co-products. AIMS Environmental Science, 11(2), 248–278. https://doi.org/10.3934/environsci.2024012.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2014). Agricultura familiar y circuitos cortos: Nuevos esquemas de producción, comercialización y nutrición (Serie Seminarios y Conferencias N.º 77). Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/1a1d1964-5555-47e9-93e4-eaa3505179e3/content.

Del Rosario-Arellano, J. L., Serna-Lagunes, R., Andrés-Meza, P., Leyva-Ovalle, O. R., Cebada-Merino, M., & Capetillo-Burela, Á. (2024). Estado actual y condiciones ecogeográficas de Manihot esculenta Crantz en la región Las Montañas, Veracruz. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11(3), e3975. https://era.ujat.mx/rera/en/article/view/3975/1786.

Gaudin, Y., & Padilla Pérez, R. (2020). Los intermediarios en cadenas de valor agropecuarias: un análisis de la apropiación y generación de valor agregado (Serie Estudios y Perspectivas–Sede Subregional de

la CEPAL en México, N.º 186). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://hdl.handle.net/11362/45796.

Mohidin, S. R. N. S. P., Moshawih, S., Hermansyah, A., Asmuni, M. I., Shafqat, N., & Ming, L. C. (2023). Cassava (Manihot esculenta Crantz): A systematic review for the pharmacological activities, traditional uses, nutritional values, and phytochemistry. Journal of Evidence-Based Integrative Medicine, 28, 1–26. https://doi.org/10.1177/2515690X231206227.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2024). Cierre de la producción agrícola 2024 [Base de datos]. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/.

RECAMBIO GENERACIONAL Y SU IMPACTO EN LA GANADERIA BOVINA DOBLE PROPÓSITO CASO PIEDRAS NEGRAS VERACRUZ.

Kenia Ximena Hernández Ignacio[1], Jaime Rangel Quintos[2*], Jorge Eduardo Vieyra Durán[1], Itzyaeli Karina Domínguez Santacruz[1]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1 A Sección, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09310, Ciudad de México. [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Posta. Km. 22.5, Carretera Federal Veracruz- Córdoba, Paso del Toro, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, C.P.94277
*Autor para correspondencia: rangel.jaime@inifap.gob.mx

Palabras clave: *Seguridad alimentaria, juventud rural, migración, equidad social, sustentabilidad social.*

Introducción

El sector agropecuario y de producción de alimentos enfrenta un desafío estructural crítico por la falta de recambio generacional, derivado del envejecimiento progresivo de productores y la migración de los jóvenes hacia zonas urbanas o hacia otras actividades no agropecuarias. Esta dinámica ha provocado una disminución en la disponibilidad de mano de obra rural. El impacto es severo si se considera que la gran mayoría de las unidades de producción agropecuarias son de carácter familiar y dependen casi exclusivamente del trabajo directo de sus integrantes para sostener las operaciones diarias. En particular, esta situación afecta de manera directa a la producción de bovinos bajo el sistema de doble propósito (carne y leche), el cual requiere mucho trabajo y dedicación. La ausencia de nuevas generaciones y la falta de fuerza de trabajo familiar comprometen tareas rutinarias e indispensables como el ordeño diario, la alimentación y el manejo sanitario del hato, lo que inevitablemente se traduce en un estancamiento de la productividad, menores márgenes de rentabilidad y un alto riesgo de que las familias terminen abandonando la actividad ganadera (Cisneros et al., 2024).

En la localidad de Piedras Negras, Veracruz, las actividades más representativas están estrechamente relacionadas al campo, predominando la producción bovina de doble propósito, que combinan la producción de leche y de carne, teniendo efecto directo en la economía regional al ser fuente de abasto queserías locales y centros de acopio como Liconsa. La mayoría de las unidades de producción se desarrollan bajo esquemas semi intensivos con un nivel tecnológico bajo, con hatos integrados por menos de 50 vientres reproductoras, siendo la ordeña generalmente manual (Rangel-Quintos y Cuevas-Reyes, 2025).

Las actividades de una unidad de producción bovina de doble propósito son de naturaleza fundamentalmente familiar, operando bajo un sistema donde las labores diarias se dividen y distribuyen de forma estructurada entre los miembros del hogar. Con el paso del tiempo, este esquema ha evolucionado hacia una marcada división de responsabilidades: por lo general, las mujeres se encargan de tareas minuciosas como la ordeña y el cuidado directo de los animales, mientras que los hombres se enfocan en el trabajo de campo y en aquellas actividades que demandan un mayor esfuerzo físico, no obstante, cada familia tiene su propia división del trabajo.

La resistencia de los jóvenes a laborar en la ganadería obedece a la percepción de mucho esfuerzo físico y baja rentabilidad, agravada por el atraso tecnológico y la atracción urbana. Así, su participación se vuelve una simple obligación temporal, careciendo de incentivos para asumir el liderazgo y consolidar el relevo generacional (Miranda y Corica, 2015). Este planteamiento no siempre considera la diferencia entre lo deseable y lo posible, pues en muchos casos son los mismos padres que comienzan a transmitir la idea de superación para evitar que sus hijos enfrenten las mismas carencias (Sandoval-Genovez *et.al,* 2022).

El objetivo es realizar un estudio de caso, de carácter exploratorio para identificar los factores que limitan el recambio generacional y analizar las prospecciones de vida de los jóvenes que integran familias

productoras de ganado bovino de doble propósito. A través de este enfoque, se busca comprender el impacto de dicha limitante en la disponibilidad de mano de obra agropecuaria, evaluando las percepciones y actitudes de las nuevas generaciones hacia el trabajo en el rancho para determinar las razones de su desinterés, destacando aspectos como la falta de inmediatez en los resultados, los bajos ingresos y una marcada preferencia por las oportunidades urbanas.

Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en la localidad de Piedras Negras, perteneciente al municipio de Tlalixcoyan, ubicado al centro del estado de Veracruz, México (coordenadas 18.767688° N, -96.169842° O). La investigación se diseñó como un estudio de caso de carácter exploratorio, constituyendo un primer acercamiento empírico en la zona con el propósito de reconocer, definir y contextualizar la problemática del recambio generacional.

La población objetivo estuvo conformada por jóvenes menores de 23 años, radicados en la localidad e integrantes de familias vinculadas a unidades de producción agropecuaria. La selección de los informantes se llevó a cabo mediante un muestreo no probabilístico utilizando la técnica de "bola de nieve"; a través de este método, cada informante inicial identificó y refirió a otros jóvenes de su círculo cercano, permitiendo ampliar la red de participantes.

Para la recolección de datos se aplicó una entrevista semiestructurada. El instrumento integró preguntas de opción múltiple y de respuesta abierta, organizadas metodológicamente en dos ejes: el primero enfocado en la caracterización socioeconómica (edad, sexo, nivel de escolaridad y ocupación actual), y el segundo orientado a los aspectos productivos y psicosociales. Esta última sección se desarrolló bajo un formato dialógico y conversacional, con la finalidad de propiciar que los informantes compartieran, desde sus propias narrativas, sus experiencias personales, motivaciones, expectativas de vida y percepciones en torno al trabajo en el campo. Finalmente, los datos recabados fueron sistematizados y sometidos a un análisis mediante estadística descriptiva.

Resultados y discusión

Se realizó un total de 15 entrevistas a jóvenes que sus familias se relacionan con la producción bovina de doble propósito. El rango de edad predominante de los entrevistados fue de entre 16 y 19 años (73%), 27% entre 20 y 22 años. El 71% fueron hombres y 33% mujeres. El 67% indico tener el nivel de estudios universitario o estar estudiando la universidad, mientras que el 13% tiene bachillerato y 14% la secundaria. No obstante, en relación a su situación actual de acuerdo a la Figura 1, la mayoría de ellos estudian y trabajan, aunque no necesariamente todos trabajan en la granja. Si bien, un 33% indico dedicarse solo al trabajo en la granja, mientras que el 20 % si bien viven en el marco de una familia ganadera, se dedican principalmente a estudiar

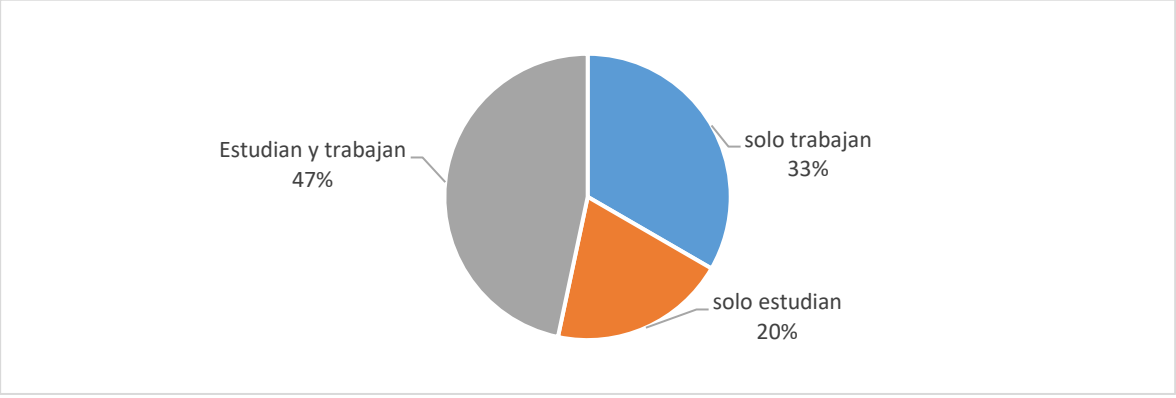


Figura 1 Situación actual de los entrevistados

El 100% indico salir constantemente de la comunidad, principalmente a la escuela, solo 33% mencionó salir a trabajar fuera. Las actividades en la finca están bien definidas, mientras algunos han apoyado desde niños, otros ven la actividad ganadera como parte de una responsabilidad y para cubrir las necesidades económicas de la familia.

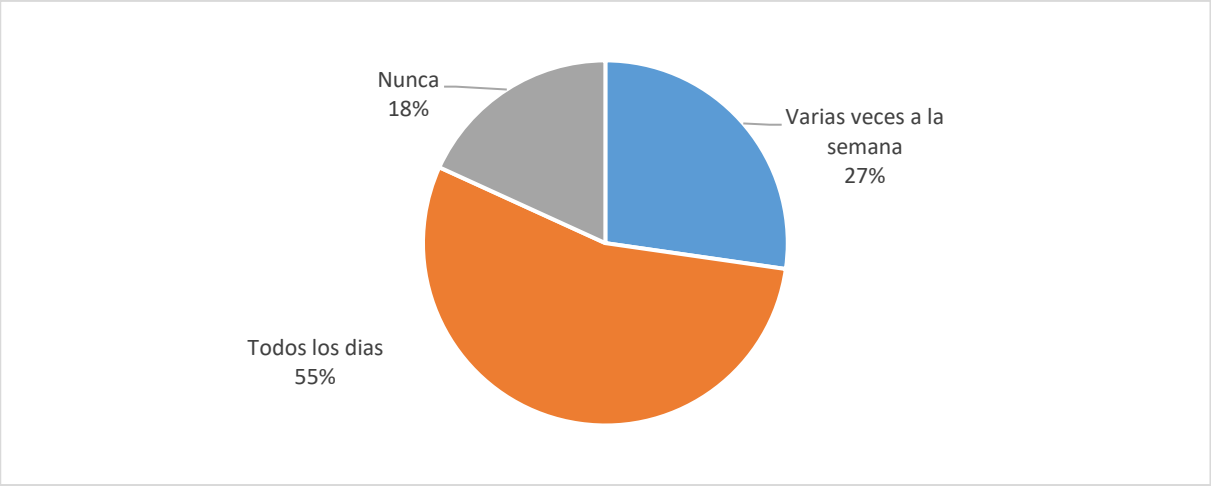


Figura 2. Frecuencia en que participas en estas actividades del campo

En la Figura 2, se indica que más de la mitad de los entrevistados asiste todos los días a trabajar a los ranchos, mientras un 27% acude varias veces a la semana. En este sentido cabe considerar que la actividad ganadera es sumamente demandante, sobre todo la producción y comercialización de leche se debe realizar todos los días sin excepción. El 18% que contestó que nunca asiste, son jóvenes que principalmente están estudiando, aunque también puede ser que trabajen en otras actividades. No obstante, cuando se les cuestionó si les gustaría dedicarse al campo como actividad principal, se destaca que el 60% dijo que, si le gustaría y solo el 8% dijo que no, mientras que el resto lo duda, esto último principalmente porque la actividad del rancho ofrece bajos ingresos, el trabajo es muy pesado y falta de oportunidades (Figura 3).

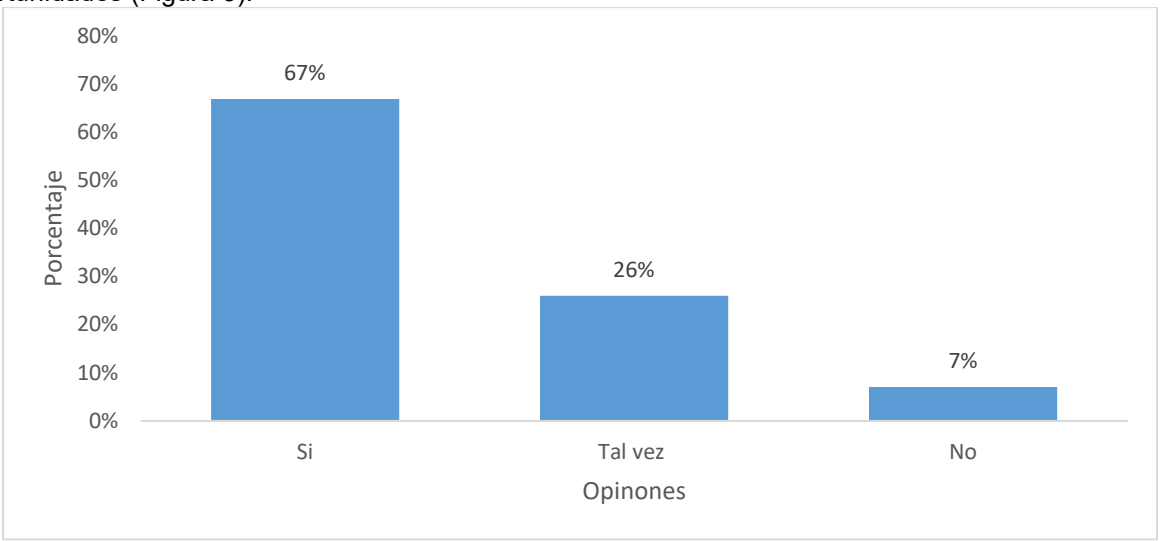


Figura 3. Interés de los jóvenes por integrarse en actividades agropecuarias como actividad principal en un futuro

El 67% de los entrevistados considera que en la región hay una falta de mano obra, no solo para la ganadería sino para todas las actividades del campo, situación debida principalmente por bajos salarios y que la gente migra cada vez más.
Cuando se les preguntó si trabajar en el campo puede proporcionar una buena calidad de vida, solo el 27% contesto estar de acuerdo mientras que el 54% estaba en desacuerdo o muy en desacuerdo, el 20% fue neutral. En la pregunta sobre si siente orgullosos de las actividades agropecuarias el 54% menciono estar totalmente de acuerdo y el 20% de acuerdo, pero el 27% contesto totalmente en desacuerdo.
Los entrevistados consideran que para que más jóvenes permanecieran en el campo, se requiere un mayor apoyo económico en el sentido de que haya más y mejores ingresos en esta actividad, otros indicaron que haya un mejor acceso a la tecnología, capacitación, Internet y mejor conectividad. La mayor motivación para ellos en cuanto a trabajar en el campo es el contacto con la naturaleza y con los animales, además también mencionar que hay más tranquilidad y se puede observar el fruto del trabajo. Otra de las preguntas que se les hicieron es sobre aquellos aspectos que no les gustan de trabajar en campo y destacaron lo extenuante y pesado que es trabajar sin días de descanso y en jornadas largas con el calor extremo de la zona, por lo que al observar los ingresos que se reciben se dan cuenta de que la actividad esta muy poco valorada.
Según Ziegler (2025), La migración de los jóvenes rurales es uno de los desafíos más apremiantes para la producción de alimentos y para la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la transición energética global. Los jóvenes enfrentan carencias estructurales como lo es la falta de acceso a tierras, créditos y tecnología, además de sufrir inequidades persistentes, impactos de inclemencias climáticas que amenazan sus medios de vida y generan como salida la migración, lo cual debilita los territorios rurales y genera externalidades negativas como la expansión de la pobreza urbana.
La escasez de mano de obra pone en riesgo la continuidad de las producciones familiares, asociado a factores como los bajos ingresos, la falta de apoyos gubernamentales. Si bien, en este estudio los jóvenes rurales no constituyen un grupo homogéneo pues tienen una visión distinta porque cada uno tiene diferentes condiciones de vida, pertenencia territorial, acceso a la tecnología y movilidad, lo que produce experiencias y expectativas muy diversas por ello resulta necesario analizar percepciones y actitudes frente al trabajo agropecuario.

Conclusiones

Los resultados del estudio evidencian una relación compleja entre los jóvenes y las actividades agropecuarias. Para incentivar su permanencia en el medio rural, los participantes señalaron como requerimientos fundamentales el incremento del apoyo económico, la capacitación técnica y el diseño de programas específicos para este sector demográfico. Esto demuestra que, más allá del arraigo cultural o la tradición, las nuevas generaciones exigen condiciones materiales y laborales que hagan atractivo al sector. Asimismo, perciben que el trabajo agrícola está subvalorado socialmente, lo cual contrasta con su alto impacto en la economía local y su aportación clave a la seguridad alimentaria.
Actualmente, las debilidades que enfrenta este sector resultan más significativas que sus fortalezas. Se destaca como una principal problemática la falta de interés de los jóvenes por integrarse a las labores agropecuarias; una tendencia a la baja que está generando una preocupante disminución de la mano de obra disponible.
En consecuencia, resulta imperativo generar acciones que contribuyan al desarrollo de proyectos productivos y de vida en los territorios rurales. Estas iniciativas deben enfocarse en crear oportunidades a través de la innovación tecnológica, la bioeconomía y la valorización de los servicios ecosistémicos. El objetivo es situar a las juventudes en el centro del desarrollo, impulsando una transición justa e inclusiva que les garantice medios de vida dignos y un acceso equitativo a los recursos.

Referencias bibliográficas

Cisneros-Saguilán, P., et al. (2024). Caracterización tipológica de la ganadería bovina doble propósito en Santiago Pinotepa Nacional, Oaxaca, México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.

Miranda, Ana y Corica, Agustina (2015), “Las actividades laborales y extraescolares de jóvenes de la escuela secundaria en la Argentina de principios del siglo XXI”, en Perfiles Educativos, vol. 37, núm. 148, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Rangel-Quintos, J., & Cuevas-Reyes, V. (2025). Aporte de la Producción de leche a la sustentabilidad de los sistemas alimentarios del trópico en México. Jóvenes en la ciencia, 34, 1-8.

Sandoval Genovez, D., Moctezuma Pérez, S., Herrera Tapia, F., & Espinoza Ortega, A. (2022). Juventudes rurales: una perspectiva del trabajo agrícola desde sus actores. *Convergencia*, *29*.

Ziegler, S. (2025). Para que el campo siga vivo: Perspectivas de las juventudes rurales en la construcción del futuro de América Latina y el Caribe. 123.

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

DESARROLLO DE UNA MATRIZ TERMOPROTECTORA MULTIBARRERA PARA PROBIÓTICOS EN UN SNACK HORNEADO DE PLÁTANO MACHO

Deibi Candelario Morales-Cruz[1], Laura Mercedes Lagunes-Gálvez[1]*, Rosa Elena Delgado-Portales[2], Alejandro de la Cruz-Martínez[2], Mario Moscosa-Santillán[2]

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa km 25, CP 86280, Teapa, Tabasco, México. [2]Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Laboratorio de Modelado y Simulación de Procesos Alimentarios. Av. Manuel Nava 6, CP 78210, San Luis Potosí, México
*Autor para correspondencia: laura.lagunes@ujat.mx

Palabras clave: *Recubrimiento, alimento funcional, viabilidad probiótica, lactobacillus*

Introducción

Los alimentos funcionales han cobrado relevancia en la industria alimentaria debido a su capacidad para ofrecer beneficios a la salud más allá de la nutrición básica. Dentro de estos, los productos que incorporan probióticos—microorganismos vivos que confieren efectos positivos al hospedero cuando se consumen en cantidades adecuadas—representan uno de los segmentos de mayor crecimiento. Tradicionalmente, los productos lácteos han sido los principales vehículos para probióticos; sin embargo, el incremento en la prevalencia de intolerancia a la lactosa y las preferencias dietéticas han impulsado la exploración de matrices no lácteas, como frutas y cereales. Las frutas tropicales, particularmente el plátano macho (*Musa paradisiaca L.*), presentan un alto potencial como sustrato para el desarrollo de snacks funcionales debido a su contenido de almidón, fibra y compuestos bioactivos. El plátano macho es un híbrido triploide de *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, con una producción anual en Tabasco que supera las 45,000 toneladas.
No obstante, la incorporación de probióticos en alimentos sometidos a procesos térmicos como el horneado representa un desafío tecnológico significativo, ya que las altas temperaturas comprometen la viabilidad celular. La microencapsulación y el recubrimiento con materiales protectores han surgido como estrategias prometedoras para preservar la funcionalidad de los microorganismos durante el procesamiento y el tránsito gastrointestinal. El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar una matriz termoprotectora multibarrera mediante recubrimiento para preservar la viabilidad de cepas de *Lactobacillus* durante el horneado de un snack de plátano macho y su liberación en condiciones gastrointestinales simuladas.

Materiales y métodos

Obtención de la biomasa probiótica

Se utilizaron las cepas *Lactobacillus casei* y *Lactobacillus rhamnosus*, reactivadas en caldo MRS a 35°C durante 24 h. El cultivo se escaló a 100 mL y se centrifugó a 4000 rpm durante 15 min para obtener la pasta celular, la cual se lavó con agua de fosfato estéril.

Elaboración del snack de plátano macho

Rodajas de plátano macho de 1 mm de espesor se sometieron a horneado a 110°C durante 25 min. Posteriormente, se aplicaron recubrimientos formulados con goma arábiga o maltodextrina a concentraciones del 5% y 10% (p/v), incorporando la biomasa probiótica. El snack recubierto se secó a 60°C durante 15 min.

Evaluación de la viabilidad y simulación gastrointestinal

La viabilidad de los probióticos en el snack se determinó inmediatamente después del horneado y durante 8 días de almacenamiento. La simulación del tracto gastrointestinal se realizó mediante un modelo estático secuencial que incluyó fase oral (saliva artificial, pH 7, 37°C, 5 min), fase gástrica (fluido gástrico simulado con pepsina, pH 3, 37°C, 2 h) y fase intestinal (fluido intestinal con pancreatina y sales biliares, pH 7, 37°C, 2 h).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño factorial 2^3 por duplicado con factores: material de recubrimiento (goma arábiga vs. maltodextrina), concentración (5% vs. 10%) y tipo de probiótico (*L. casei* vs. *L. rhamnosus*). La variable respuesta fue la viabilidad celular (logUFC/g). El análisis se realizó mediante ANOVA con un nivel de significancia de $p<0.05$ utilizando el software MODDE.

Resultados y discusión

Viabilidad de probióticos en el snack recubierto

Los resultados del diseño factorial mostraron que todas las formulaciones evaluadas mantuvieron viabilidades superiores a 10^8 UFC/g después del horneado (Figura 1). El ANOVA reveló efectos principales significativos ($p<0.05$) del tipo de probiótico y la concentración del recubrimiento, mientras que el material de la película no mostró efecto significativo. *L. rhamnosus* presentó una viabilidad promedio de 9.0 logUFC/g, significativamente mayor que *L. casei* (8.7 logUFC/g) ($p<0.05$). La concentración del 10% del recubrimiento resultó en viabilidades más altas (9.0 logUFC/g) comparada con el 5% (8.7 logUFC/g).

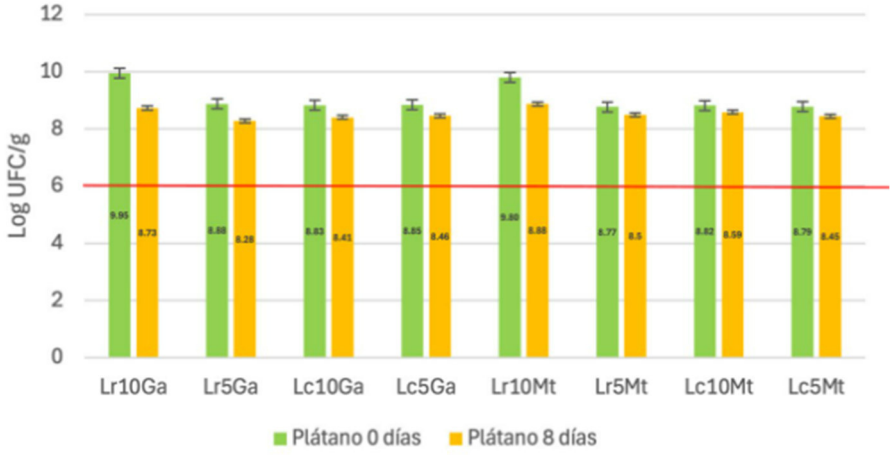


Figura 1. Viabilidad de probióticos en el snack de plátano macho según tipo de recubrimiento, concentración y cepa probiótica (Lr: Lactobacillus rhamnosus, Lc: Lactibacillus casei; 5% y 10%; Mt: maltodextrina, Ga: goma arábiga).

Se observó una interacción significativa ($p<0.05$) entre el tipo de probiótico y la concentración: *L. rhamnosus* mostró una respuesta positiva a la concentración alta, mientras que *L. casei* no respondió de manera significativa. Aunque la maltodextrina y la goma arábiga no difirieron en su efecto principal, la maltodextrina mostró una mayor reproducibilidad entre réplicas. La condición más confiable para garantizar viabilidades >8 logUFC/g fue la combinación de maltodextrina al 5% con *L. rhamnosus* (media 8.9 logUFC/g, con una diferencia entre réplicas de solo 0.1 logUFC/g).

Estabilidad durante el almacenamiento

Durante 8 días de almacenamiento, la viabilidad de los probióticos se estabilizó, y ninguno de los factores de formulación mostró influencia significativa a los 8 días ($p>0.05$). El recubrimiento demostró ser una estrategia efectiva, manteniendo viabilidades de 10^8 y 10^6 UFC/g, superando el umbral mínimo recomendado de 10^6 UFC/g.

Simulación gastrointestinal

La viabilidad de *L. rhamnosus* durante la simulación gastrointestinal mostró una reducción gradual a través de las fases oral, gástrica e intestinal (Cuadro 1). La matriz termoprotectora multibarrera permitió que las células sobrevivieran a las condiciones adversas del tracto gastrointestinal, con viabilidades finales superiores a 10^6 UFC/g, suficientes para conferir un efecto probiótico potencial.

Cuadro 1. Viabilidad de las cepas durante la simulación del tracto gastrointestinal *in vitro.*

Cepa probiótica	Viabilidad inicial (UFC/g)	Viabilidad Post-Simulación (UFC/g)
Lactobacillus rhamnosus	1.81 X 10^8	8.20 X 10^6
Lactobacillus casei	3.36 X 10^7	No detectable (0)

Los resultados demuestran que el desarrollo de snacks funcionales a partir de plátano macho es viable tecnológicamente, coincidiendo con investigaciones previas que han explorado matrices no lácteas como vehículos para probióticos. La efectividad del recubrimiento como sistema protector frente al microencapsulado destaca su potencial para aplicaciones industriales, ya que es un proceso más simple y económico.

Conclusiones

El desarrollo de una matriz termoprotectora multibarrera mediante recubrimiento permitió preservar la viabilidad de *Lactobacillus rhamnosus* en un snack horneado de plátano macho, manteniendo concentraciones superiores a 10^6 UFC/g después del horneado y durante la simulación gastrointestinal. La cepa *L. rhamnosus* mostró mayor resistencia al procesamiento térmico que *L. casei*, evidenciando la importancia de la selección de cepas en el desarrollo de alimentos funcionales. El recubrimiento con maltodextrina al 5% resultó la condición más reproducible y confiable. Esta investigación demuestra que el plátano macho, un cultivo de alta relevancia agroindustrial en Tabasco, constituye una matriz prometedora para el desarrollo de snacks funcionales con probióticos, ofreciendo una alternativa tecnológica viable para la diversificación de productos de la región.

Referencias bibliográficas

Castillo-Escandón, V., Fernández-Michel, S. G., Cueto-Wong, M. C., & Ramos-Clamont Montfort, G. (2019). Criterios y estrategias tecnológicas para la incorporación y supervivencia de probióticos en frutas, cereales y sus derivados. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 22. https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.173.

De la Cruz-Martínez, A., et al. (2023). Desarrollo tecnológico de una harina de plátano adicionada con probióticos y prebióticos utilizando el secado por ventana de refractancia. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/items/28c87185-9cd8-48ea-b7f5-37818325348a.

Alongi, M., & Anese, M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. Journal of Functional Foods, 81, 104466. https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104466.

Gan, L., et al. (2025). Advances in probiotic encapsulation for enhanced viability in food processing. Food Research International, 190, 114589. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114589.

EXTRACCIÓN POR HIDRODESTILACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE LAS HOJAS DE NARANJA AGRIA (*Citrus aurantium* L.)

Brenda Elizabeth Toscano-Alemán[1], Angélica Alejandra Ochoa-Flores[2] *, Josafat Alberto Hernández-Becerra[3] ,José Rodolfo Velázquez-Martínez[2] , Juan Guzmán-Ceferino[2].

[1]Universidad Politécnica del Centro, Km. 22.5 Carretera Villahermosa-Teapa, C.P. 86290, Villahermosa, Tabasco, México; [2]División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 25 Carretera Villahermosa-Teapa, C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco, México; [3]División de Procesos Industriales, Universidad Tecnológica de Tabasco; Km. 14.6 Carretera Villahermosa-Teapa, C.P. 86288, Villahermosa, Tabasco, México.
*Autor para correspondencia: angelica.ochoa@ujat.mx

Palabras clave: *Naranja agria, aceite esencial, hidrodestilación.*

Introducción

La naranja agria (*Citrus aurantium* L.) es un cultivo tradicional del sureste mexicano, donde forma parte de los huertos familiares de traspatio y de la identidad gastronómica local. Además de su importancia culinaria y de su relevancia como portainjerto resistente en la citricultura regional, este árbol genera una cantidad considerable de biomasa residual durante las podas de mantenimiento. Por lo que las hojas de esta especie representan una materia prima vegetal de gran interés biotecnológico; su aprovechamiento no solo promueve la sostenibilidad y la economía circular, sino que revaloriza un recurso local comúnmente subutilizado (Villarreal-Ibarra *et al*., 2023). Las hojas de *C. aurantium* destacan por su accesibilidad y por su alta densidad de estructuras glandulares subepidérmicas ricas en aceites esenciales, lo que justifica su elección como materia prima para su extracción; generando valor agregado y mayor desarrollo agroindustrial en la región (Fernández-Cabal *et al*., 2025).
El aceite esencial obtenido de las hojas de *C. aurantium* posee una compleja composición química, rica en compuestos bioactivos entre los que destacan el linalol, el acetato de linalilo y el limoneno. Estos compuestos le confieren una importante actividad biológica, incluyendo propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias que son ampliamente demandadas en las industrias alimentaria, farmacéutica, cosmética, de perfumería y aromaterapia. De acuerdo con Kačániová *et al*. (2023), la presencia de estos monoterpenos confiere al aceite esencial de naranja agria propiedades antioxidantes con un potencial bioactivo para el desarrollo de conservadores naturales de uso alimentario; además de la capacidad de contrarrestar el estrés oxidativo, implicado en múltiples enfermedades crónicas como la diabetes, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, como el Alzheimer.
La hidrodestilación es uno de los métodos clásicos de extracción, idóneo a nivel operacional para la extracción de aceites esenciales a partir de material vegetal. Este proceso térmico permite la ruptura de las estructuras glandulares de las hojas mediante el vapor de agua, facilitando la recuperación de los compuestos volátiles, sin la necesidad de utilizar disolventes orgánicos. De acuerdo con Maksoud *et al*. (2021), la hidrodestilación es una técnica altamente eficiente, reproducible y de bajo costo que preserva la integridad química de los componentes bioactivos incluidos en los aceites esenciales, convirtiéndola en la metodología más viable para su obtención y para la transferencia tecnológica hacia los productores locales.
El objetivo del trabajo consistió en evaluar el rendimiento de aceite esencial obtenido, a través del proceso de extracción por hidrodestilación, a partir de hojas secas molidas de *C. aurantium* colectadas en la región.

Materiales y métodos

La recolección de las hojas de naranja agria se realizó a partir de árboles de huertos familiares de traspatio de la zona conurbada de Villahermosa; así como de las instalaciones de la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y de la Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB); todos ellos localizados en el municipio de Centro, Tabasco, México.

Las hojas fueron trasladadas al Laboratorio de Bioquímica de Alimentos en la DACA, UJAT, en donde se llevó a cabo el trabajo experimental.

Para la obtención del aceite esencial, las hojas de naranja agria fueron seleccionadas, eliminando aquellas con daños visibles, lavadas con agua corriente y secadas en condiciones de temperatura y humedad relativa ambiental, protegiéndolas de la luz, hasta alcanzar un contenido de humedad inferior al 10 % (NOM-116-SSA1-1994) y una actividad de agua inferior al 0.60 (METER Aqualab PRE; Aqualab Series 4TE); después fueron molidas en seco (licuadora hamilton beach 50180FG) y los polvos tamizados a través de una malla número 20, (TP 850 µm; MON200A020 MONT-INOX). El material molido y tamizado se depositó en frascos ámbar para su conservación hasta su extracción.

El proceso de extracción por hidrodestilación del aceite esencial de las hojas de naranja agria consistió en el pesado de 0.20 Kg del polvo tamizado de las hojas secas, mismo que fue colocado en un matraz de fondo redondo de 2 L, adicionando un volumen de 1.4 L de agua destilada. El matraz conteniendo el material vegetal y el agua se ensambló al equipo Clevenger. Para un adecuado control de la intensidad del calentamiento aplicado al sistema, se utilizó un baño de glicerol y una placa de calentamiento eléctrica (Barnstead Thermolyne Cimarec HP131220-33). La temperatura empleada en la extracción fue de 120 °C y el proceso de extracción se llevó a cabo por un periodo máximo de 3 horas, considerando como el inicio del proceso el momento en el cual se genera la primera gota de condensado que cae y se recolecta en el equipo Clevenger. El aceite esencial fue colectado del condensado acumulado en el equipo Clevenger, a los 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170 y 180 min; estimando así el rendimiento acumulado a lo largo de la hidrodestilación. El proceso de hidrodestilación fue replicado en veinte ocasiones y, los valores de rendimiento acumulado obtenidos a lo largo de estos procesos fueron ajustados a la ecuación de Monod (Ec. 1) (Palacios-Ambrosio y Castillo-Martínez, 2015).

$$R = \frac{(Rmax)(t)}{K + t}$$

Donde: Rmax corresponde al rendimiento máximo obtenido, K la constante cinética de velocidad de extracción y t el tiempo. Mediante regresión no lineal, empleando el software KaleidaGraph Ver 5.0.3 (Synergy Software 2022), se estimaron los parámetros cinéticos de Rmax y K.

Resultados y discusión

Los resultados indicaron un contenido de humedad en las hojas frescas de *C. aurantium* de 67.44 ± 2.11 % y una actividad de agua de 0.966 ± 0.002; mismas que después del proceso de deshidratación bajo condiciones de humedad y temperatura ambiental, al abrigo de la luz, alcanzaron un contenido de humedad del 8.09 ± 0.61 %, con una actividad de agua de 0.576 ± 0.007. Este valor de actividad de agua en las hojas secas asegura su conservación al evitar el crecimiento de microorganismos en su superficie, particularmente de hongos, que serían los principales causantes de su deterioro a actividades de agua superiores a 0.60. De manera que, de un total de 14.305 kg de material vegetal fresco, seleccionado y lavado, se obtuvieron después del secado, molienda y tamizado, un total de 4.672 Kg del material vegetal seco y molido, con una actividad de agua que aseguró su conservación hasta su uso en el proceso de extracción.

En relación con los resultados de rendimiento de aceite esencial liberado durante el proceso de hidrodestilación llevado a cabo a partir de hojas secas, molidas y tamizadas de *C. aurantium*, en la Figura 1 se puede apreciar la cantidad de aceite esencial, en mL por cada 100 gramos del material vegetal, colectado cada 10 minutos, desde los 0 hasta los 180 minutos del proceso. En dicha Figura se observa que la cantidad de aceite esencial liberado es superior en los primeros minutos del proceso y se reduce paulatinamente al avanzar el tiempo de extracción; de manera que en los primeros 30 minutos de extracción se obtuvo el 34.70 % del volumen total liberado durante el proceso de hidrodestilación de las hojas; a los 60 minutos se alcanzó la liberación del 65.42 % y a los 120 minutos ya se tenía el 91.71 % del total de aceite esencial extraído; en la última hora del proceso se extrajo el 8.29 % restante.

Este comportamiento puede deberse a que las glándulas de aceites esenciales se localizan en la superficie de las hojas, teniendo como única barrera el epitelio externo que se rompe fácilmente cuando se alcanza el punto

de ebullición del agua; ocurriendo entonces una serie de fenómenos de transferencia de masa, que conducen a la extracción del aceite esencial. El primer proceso corresponde a la transferencia de masa de agua hirviendo al interior de las células vegetales. El agua se difunde en el medio interno y se mezcla con el aceite esencial en las células vegetales. La mezcla de agua y aceite permea por ósmosis y llega a la superficie exterior donde se encuentra el aceite. La mezcla de vapor de agua y aceite es sometida a hidrodifusión; proceso en el que la velocidad de vaporización del aceite no se ve influenciada por la volatilidad de sus componentes, pero sí por su grado de solubilidad en agua, de manera que cuando una molécula es hidrosoluble se adhiere al agua y se difunde en la fase gaseosa, pero cuando no lo es, permanece en las glándulas de aceites esenciales (Ellouze y Abderrabba, 2014).

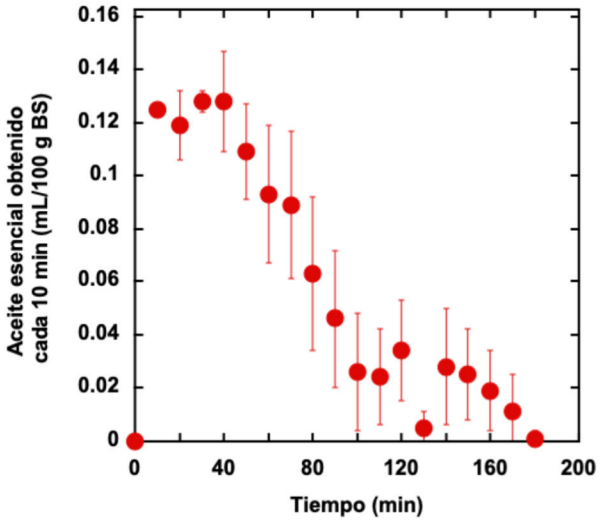


Figura 1. Rendimiento de aceite esencial liberado (mL/100 g BS) cada 10 min, desde los 0 hasta los 180 min del proceso de hidrodestilación llevado a cabo a partir de hojas secas, molidas y tamizadas de *C. aurantium.* Cada valor mostrado corresponde al valor medio ± desviación estándar de veinte réplicas.

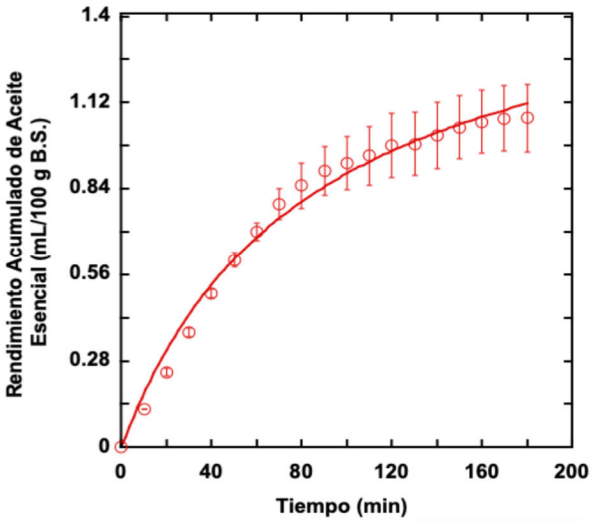


Figura 2. Rendimiento acumulado de aceite esencial liberado (mg/100 g BS) durante el proceso de hidrodestilación llevado a cabo a partir de hojas secas, molidas y tamizadas de *C. aurantium.* Cada valor mostrado corresponde al valor medio ± desviación estándar de veinte réplicas. La línea continua corresponde al mejor ajuste de los datos al modelo de Monod (Ec. 1).

De los resultados de rendimiento acumulado de aceite esencial extraído durante el proceso de hidrodestilación, el modelo de Monod demostró ser muy adecuado para su estimación, obteniendo valores de R^2 superiores a 0.99, no encontrando evidencia significativa de falta de ajuste al modelo ($p>0.05$). En este mismo sentido, en la Figura 2 se puede observar el rendimiento acumulado a lo largo del tiempo de extracción, en mL por cada 100 g del material vegetal seco y molido en este estudio, círculos en rojo que se ubican de manera muy cercana a los valores predichos por el modelo (línea continua en rojo), confirmado el buen ajuste al modelo. Los parámetros cinéticos obtenidos a partir de la curva de liberación de aceite esencial ajustada al modelo de Monod para el proceso de hidrodestilación en este estudio fueron: Rmax = 1.64 mL/100 g BS, K = 84.3960 min^{-1}, R^2 = 0.9941 y Vo = 0.0194 mL/min. De lo cual se puede decir que el rendimiento máximo de aceite esencial esperado en la extracción de las hojas de *C. aurantium* es de 1.64 mL por cada 100 g de material vegetal seco (8 % de humedad) y molido, bajo las condiciones de tiempo (180 min), temperatura (120 C), cantidad de material vegetal (200 g) y relación de material vegetal: agua (1:7) probadas en este estudio.

Estos resultados coinciden con lo publicado por Ellouze y Abderrabba (2014), quienes reportan para un proceso de hidrodestilación de 600 gramos de hojas secas molidas, con 3 litros de agua por tres horas, a

una temperatura de 100 °C y una colecta del aceite esencial cada 15 minutos durante todo el período de extracción, una curva de aspecto exponencial, alcanzando el 95 % del rendimiento máximo a los 150 minutos. Un rendimiento del 94.74 % fue alcanzado en nuestro proceso de extracción a los 140 minutos, siendo éste del 97.08 a los 150 minutos.
De un total de 4.672 kg de hojas de *C. aurantium* secas molidas, utilizadas en el proceso de hidrodestilación, se obtuvo un volumen total de 68.20 mL de aceite esencial de naranja agria, conocido comúnmente en perfumería como Petitgrain.

Conclusiones

El modelo de Monod se ajustó adecuadamente a los resultados de rendimiento acumulado de aceite esencial obtenido a lo largo del proceso de hidrodestilación de las hojas secas molidas de *C. aurantium*, siendo posible estimar los parámetros cinéticos relevantes para la descripción del proceso. Particularmente, la estimación del rendimiento máximo de aceite esencial de *C. aurantium* a extraer, 1.64 mL por cada 100 g del material vegetal seco y molido empleado, bajo las condiciones del proceso de hidrodestilación probadas en este estudio.

Referencias bibliográficas

Ellouze, I., & Abderrabba, M. (2014). Kinetics of extraction of *Citrus aurantium* essential oil by hydrodistillation: influence on the yield and the chemical composition. *Journal of Materials and Environmental Science*, *5*(3), 841-848.

Fernández-Cabal, J., Avilés-Betanzos, K. A., Cauich-Rodríguez, J. V., Ramírez-Sucre, M. O., & Rodríguez-Buenfil, I. M. (2025). Recent developments in *Citrus aurantium* L.: an overview of bioactive compounds, extraction techniques, and technological applications. *Processes*, *13*(1), 120.

Kačániová, M., Terentjeva, M., Galovičová, L., Ivanišová, E., Štefániková, J., Valková, V., Borotová, P., Kowalczewski, P. L., Kunová, S., Felšöciová, S., Tvrdá, E., Žiarovská, J., Prokeinová, R. B., & Vukovic, N. (2020). Biological activity and antibiofilm molecular profile of *Citrus aurantium* essential oil and its application in a food model. *Molecules*, *25*(17), 3956.

Maksoud, S., Abdel-Massih, R. M., Rajha, H. N., Louka, N., Chemat, F., Barba, F. J., & Debs, E. (2021). *Citrus aurantium* L. active constituents, biological effects and extraction methods. an updated review. *Molecules*, *26*(19), 5832.

Palacios-Ambrocio, A. L., Castillo-Martínez, W. E. (2015). Modelamiento de extracción del aceite esencial de *Aloysia citriodora* y *Schinus molle*. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación 2*(2), 14-24.

Villarreal-Ibarra, E. C., Cadenas-González, M. T., Méndez-Morales, F., Bolio-López, G. I., Hernández-Villegas, M. M., Rivera-Torres, N. E., Almenares-López, D., & Rivas Morales, C. (2023). Validación del potencial antioxidante de *Citrus aurantium* en Tabasco, México. *Journal of Research of the University of Quindio/Revista de Investigaciones Universidad del Quindio*, *35*(1), 248.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DESHIDRATACIÓN DE FRUTAS TROPICALES CON FINES NUTRICIONALES

Celia Velázquez Torres[1], Manuel Mateo Hernández Villegas[1], Gloria Ivette Bolio López[1] y Omar Sarracino Martínez[1]

[1]Universidad Popular de la Chontalpa. División de ciencias básicas e ingenierías. Carretera Cárdenas Huimanguillo, C.P. 86400
*Autor para correspondencia: manuel.hdez@upch.mx

Palabras clave: *Mango, piña, liofilizado, secado.*

Introducción

En el área de la salud, el ODS-3 establece "*garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades*" y como meta 3.4 "*reducir en un 33% la mortalidad prematura por enfermedades no transmisibles*", mediante la prevención y el tratamiento, acompañados de la promoción de la salud y el bienestar de toda la población. En la actualidad, la búsqueda de alimentos funcionales ha dejado de ser una simple tendencia para consolidarse como una prioridad de salud pública global. Investigaciones recientes confirman que la ingesta regular de fitoquímicos y compuestos bioactivos no solo mitiga el estrés oxidativo celular, sino que actúa de forma directa en la modulación metabólica, disminuyendo drásticamente la incidencia de patologías cardiovasculares, disfunciones cognitivas y trastornos metabólicos complejos como la obesidad. El mercado de aperitivos saludables está experimentando un crecimiento significativo, impulsado por la creciente demanda de productos naturales y de mayor durabilidad. Las frutas, en particular, contienen compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides, flavonoides y vitaminas, que desempeñan un papel importante en la protección contra enfermedades crónico-degenerativas al actuar en la degradación de radicales libres. Además, se observa un cambio en las tendencias de consumo a nivel mundial, con un aumento de la preferencia por verduras y productos de origen vegetal, y se proyecta un crecimiento anual del 6,6% en el mercado de aperitivos saludables. La deshidratación, como método de conservación de alimentos, se emplea como uno de los procesos más importantes, ya que permite prolongar la vida útil de los alimentos, conservar sus nutrientes y reducir su contenido de agua. El secado mediante flujos de aire caliente es un método clave en la conservación de alimentos. Con base en las investigaciones de Serpa-Guerra et al. (2015) y Vega-Gálvez et al. (2009), este sistema remueve la humedad interna mediante la evaporación, lo que reduce drásticamente el agua disponible para los microorganismos e impide de forma efectiva la proliferación bacteriana que daña el producto. La liofilización destaca como una de las técnicas de conservación más avanzadas debido a la excelente calidad que otorga a los productos finales. De acuerdo con Yildiz (2022), este método se aplica con gran éxito en hortalizas y verduras a través de un mecanismo de congelación al vacío. Su ventaja principal radica en que elimina la humedad mediante la sublimación, permitiendo que el agua congelada pase de estado sólido directamente a gas sin fundirse en líquido. Este fenómeno, combinado con una exposición térmica mínima, es ideal para resguardar intactas las propiedades químicas, nutricionales y estructurales de la matriz vegetal a largo plazo. Otro método que se utiliza para deshidratar frutas y verduras, que de acuerdo a Castillo-Téllez et, al (2016) están las tecnologías de secado solar del tipo armarios y túnel, que pueden funcionar vertical u horizontalmente, este método tiene varias ventajas, como la protección del producto contra la radiación solar directa, lo que ayuda a evitar el deterioro por el calor excesivo. Además, al estar resguardado, se minimiza la contaminación ambiental y el riesgo de que animales entren en contacto con los productos, también permite un mejor control sobre las condiciones de secado, lo que puede resultar en un producto final de mayor calidad. Evaluar tres métodos de deshidratación en frutas tropicales para obtener un producto nutricional disponible para dietas saludables.

Materiales y métodos

Los materiales implementados en el proceso experimental consistieron en utensilios de grado alimentario, seleccionados rigurosamente con los lineamientos de los manuales de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y las normativas vigentes de higiene y sanidad. Con el propósito de optimizar el control paramétrico, se seleccionaron como matrices de estudio dos frutas tropicales: piña de la variedad Cabezona (Ananas comosus L.) y mango de la variedad Tommy (Mangifera indica). Para la deshidratación y posterior valoración cualitativa de los tratamientos, las muestras se sometieron a tres metodologías de conservación por remoción de humedad: secado térmico por flujo de aire caliente, liofilización y secado solar.
El protocolo experimental comprende la estimación de la vida de anaquel y la estabilidad comercial de los productos obtenidos, evaluando de forma comparativa la composición de las matrices antes y después de cada tratamiento de deshidratación. El monitoreo de la evolución del producto se fundamenta en análisis fisicoquímicos críticos como el porcentaje de humedad residual, la acidez titulable y el potencial de hidrógeno (pH), los cuales determinan la viabilidad del almacenamiento. Adicionalmente, se realizó una caracterización a través de un análisis bromatológico proximal para cuantificar la retención nutricional de proteínas totales, sacarosa, fibra dietaria y cenizas. Con el fin de garantizar la inocuidad alimentaria y la seguridad para el consumo humano, se integran ensayos microbiológicos orientados a identificar la presencia o ausencia de agentes patógenos e indicadores de contaminación. Toda la fase analítica y metodológica de laboratorio se rige estrictamente por los criterios y especificaciones técnicas estipulados en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) vigentes para el control de calidad en alimentos.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se observa que los resultados obtenidos revelan el impacto significativo del proceso de deshidratación sobre las propiedades fisicoquímicas fundamentales del mango Tommy y la piña Cabezona, evidenciando una transformación orientada hacia la estabilidad microbiológica y la concentración de solutos.
Eficiencia en la Remoción de Humedad: La reducción del contenido de agua fue drástica en ambas matrices biológicas. En el caso del mango, la humedad disminuyó desde un 81.43% hasta un 6.78%, mientras que en la piña la caída se registró desde un 92.05% inicial hasta alcanzar un 5.44%. De acuerdo con la literatura científica, estos valores residuales (por debajo del 7%) garantizan que la actividad de agua (\(a_{w}\)) se sitúe en niveles basales (normalmente inferiores a 0.6).
Evolución del Contenido de Cenizas: Respecto al porcentaje de cenizas, se observó un comportamiento analítico particular: en el mango los valores transitaron de 4.86% a 0.40%, y en la piña disminuyeron de 0.5857% a 0.039%. En términos metodológicos, esta variación responde directamente a que los datos reflejan la composición calculada en base húmeda.
Modulación del potencial de Hidrógeno (pH): Finalmente, el monitoreo potenciométrico evidenció una marcada tendencia hacia la acidificación en los productos finales. El pH del mango descendió de 3.5 a 2.0, mientras que la piña experimentó una reducción de 4.2 a 3.0. Este incremento en la concentración de iones de hidrógeno (H+) se atribuye al "efecto concentración" de los ácidos orgánicos naturales presentes en las frutas (principalmente ácido cítrico y málico) tras la evaporación del agua.

Cuadro 1. Resultados de análisis de deshidratado eléctrico de mango y piña.

Muestra /Propiedad	% Humedad (NOM-116-SSA-1994)		% Cenizas (NMX-f-066-S-1978) Natural-deshidratado		pH (potenciómetro) Natural- deshidratado	
	Natural	deshidratado	Natural	deshidratado	Natural	deshidratado
Mango	81.43	6.78	4.86	0.40	3.5	2.0
Piña	92.05	5.44	0.5857	0.039	4.2	3.0

Cuadro 2. Resultados de análisis de deshidratado de mango y piña.

Muestra	%Proteínas	%Cenizas	Humedad%	pH	Moos (UFC)
Patrón	20				
MS	1.929	.0.25	5.56	2.5	Positivo dentro de norma
ML	4.532	4.3	1.7	2.9	1UFC
ME	3.064	0.40	6.78	2.0	1UFC
PS	4.22	0.030	4.89	3.8	Positivo dentro de norma
PL	6.841	0..55	5.3	3.5	1UFC
PE	6.022	0.039	5.44	3.0	1UFC

El análisis comparativo se observa en el cuadro 2, los tres métodos de deshidratación (solar, liofilización y convección por estufa térmica) aplicados al mango (*Mangifera indica*) y a la piña (*Ananas comosus* L.) demuestra variaciones estadísticamente significativas en la retención de nutrientes, la concentración de componentes inorgánicos y la estabilidad física de las muestras.

Concentración y Retención de Proteínas Crudas. Los resultados bromatológicos muestran que la liofilización (ML y PL) es el método que reporta el mayor porcentaje de proteínas, alcanzando un 4.532% en mango y un 6.841% en piña, seguido del secado en estufa convencional (ME y PE).

Perfil de Humedad Residual y Cenizas. En cuanto a la remoción de agua, la liofilización demostró una eficiencia cinéticamente superior, logrando una humedad basal del 1.70% en el mango (ML). Este nivel tan bajo de humedad residual explica el notable incremento proporcional en el contenido de cenizas (4.300% para ML), ya que la deshidratación extrema por sublimación genera un "efecto concentración" masivo de los minerales termoestables en la matriz sólida de la fruta. Por otro lado, las técnicas de estufa (ME, PE) y secado solar (MS, PS) mantuvieron humedades estables en un rango del 4.8% al 6.7%, cumpliendo satisfactoriamente con el estándar comercial para productos secos.

Comportamiento del pH e inocuidad Microbiológica. El monitoreo potenciométrico evidenció una concentración de los ácidos orgánicos (ácido cítrico y málico) en todos los tratamientos. Las muestras procesadas en estufa (ME y PE) alcanzaron los niveles de pH más bajos (2.0 y 3.0 respectivamente).

Cuadro 3. Resultados de análisis de secado solar.

Muestra /Propiedad	% Humedad (NOM-116-SSA-1994)		% Cenizas (NMX-f-066-S-1978) Natural-deshidratado		% pH (potenciómetro) Natural- deshidratado
	Natural	deshidratado	Natural	deshidratado	Natural
Mango	81.43	5.56	4.86	0.25	3.5
Piña	92.05	4.89	0.5857	0.030	4.2

El análisis de los parámetros fisicoquímicos evaluados tras el proceso de secado solar directo en el mango Tommy y la piña Cabezona demuestra la viabilidad de esta tecnología sustentable para la obtención de matrices alimentarias estables y microbiológicamente seguras.
Dinámica de Remoción de Humedad mediante Energía Solar.
La transferencia de masa por evaporación de agua libre ocurrió de manera contundente en ambas frutas. El mango disminuyó su humedad desde un 81.43% inicial hasta un 5.56%, mientras que la piña experimentó una reducción desde un 92.05% basal hasta un 4.89%.
Balance del Contenido de Cenizas en Base Húmeda. En cuanto al análisis inorgánico, el contenido de cenizas en el mango transitó de 4.86% a 0.25%, mientras que en la piña cambió de 0.5857% a 0.030%. Desde una perspectiva puramente analítica, esta reducción numérica aparente se debe a que la cuantificación gravimétrica en el laboratorio se expresa en función del peso en base húmeda de la muestra introducida a la mufla.
Finalmente, las lecturas potenciométricas revelaron una marcada e intensa tendencia hacia la acidificación en los dos productos deshidratados. El pH del mango descendió drásticamente de 3.5 a 1.70, mientras que el de la piña decayó de 4.2 a 2.30. Esta drástica disminución en la escala de acidez se fundamenta en el "efecto de concentración" provocado por la eliminación selectiva del agua celular.

Conclusiones

Alta eficiencia tecnológica: Los procesos de deshidratación evaluados —tanto convencionales como basados en energía solar— demostraron una sobresaliente capacidad de remoción de agua, logrando reducir la humedad residual a valores basales óptimos por debajo del 7% en términos generales y del 6% bajo radiación solar directa.
Aseguramiento de la inocuidad: La drástica contracción de la fracción acuosa restringe de forma contundente la disponibilidad de agua libre (aw < 0.6), interrumpiendo las funciones metabólicas celulares e inhibiendo por completo la proliferación de bacterias, mohos y levaduras para extender eficazmente la vida de anaquel.
Estabilidad y retención mineral: El análisis analítico del contenido de cenizas confirmó que, a pesar de las variaciones matemáticas aparentes derivadas de los cálculos en base húmeda, los minerales totales se mantienen estables debido a su naturaleza termoestable, asegurando que el producto final conserve de forma íntegra el perfil de micronutrientes inorgánicos original de los frutos frescos.
Efecto protector de la acidez: La evaporación selectiva del agua celular provocó una marcada e intensa concentración de los solutos y ácidos orgánicos naturales (ácidos cítrico, málico y ascórbico), lo que derivó en descensos críticos del pH a niveles inferiores a 3.0 en la mayoría de los tratamientos (alcanzando mínimos de hasta 1.70 en mango deshidratado por vía solar).

Referencias bibliográficas

Universidad Nacional Autónoma de México. (2024). Influencers de la salud: compuestos bioactivos contra la obesidad y el riesgo metabólico. Revista Digital Universitaria (RDU), 25(4). Disponible en RDU UNAM.

Serpa-Guerra, A. M., Vásquez-Osorio, D. C., Castrillón-Martínez, D. C., y Hincapié-Llanos, G. A. (2015). Comparación de dos técnicas de deshidratación de guayaba-pera (Psidium guajava L.) sobre los efectos del contenido de vitamina C y el comportamiento de las propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria. Revista Lasallista de Investigación, 12(1), 10-20. Disponible en Redalyc.

Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., y Pérez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (Capsicum annuum L. var. Hungarian). Food Chemistry, 117(4), 647-653.

Yildiz, G. (2022). Freeze-drying of vegetables: Process fundamentals, quality attributes, and recent advancements. En Advanced Drying Technologies for Foods (pp. 115-138). CRC Press.

Coordinador General

Dr. Dante Sumano López

Compiladores	Formación y Diseño
Dante Sumano López	Cassandra del Carmen Fuentes Sánchez
Pablo Ulises Hernández Lara	Pedro Flores Hernández
Cassandra del Carmen Fuentes Sánchez	

Comité Técnico Evaluador

Dante Sumano López
Sabel Barrón Freyre
Erika Belem Castillo Linares
Pablo Ulises Hernández Lara
Sergio Salgado Velázquez
Lorenzo Granados Zurita
Jorge Oliva Hernández
Alfonso Azpeitia Morales
Miguel Ángel Ramírez Guillermo
Erika Belem Castillo Linares
Jorge Quiroz Valiente
Eder Ramos Hernández
Manuel Barrón Arredondo
Eduardo Daniel Bolaño
Roberto Omar Castañeda Arriola
Blanca Patricia Castellanos Potenciano
María del Carmen Silverio Gómez
Nain Peralta Antonio
Lily Xochilt Zelaya Molina
Baltazar Sánchez Díaz
Angélica Alejandra Ochoa Flores
Edith Hernández Nataren
Hilario Becerril Hernández
José Jesús Obrador Olán
Eustolia García López
Joaquin Alberto Rincón Ramíez
Marivel Domínguez Domínguez
Angel Sol Sánchez
Carmen Aridai Hernández Estrada
Antonio López Castañeda
José Francisco Juárez López
Lorenzo Armando Aceves Navarro
Roberto De la Rosa Santamaria
Casimiro Ordoñez Prado
Jhibran Ferral Piña
Elizabeth Argüello García
Rosa Margarita Hernández Vélez
Pamela Arroyo Falconí
Jonathan Hernandez Ramos
Adrián Hernández Ramos
Rogelio Miranda Marin
Altagracia Reyes Castillo
Efraín De la Cruz Lázaro
Edmundo Gómez Méndez
Juan Manuel Zaldiva Cruz
Maximino Estrada Botello
Rufo Sánchez Hernández
David Jesús Palma López
Joel Zavala Cruz
Jaime Rangel Quintos
Manuel Mateo Hernández Villegas
Norma del Carmen Hernández Rivera
Mauro Sierra Macias
Miguel Angel Velazquez Carmona
Gloria Ivette Bolio López
Lucas Alejandro Fadda
Leslie Carnero Aviles
José Manuel Salaya Domínguez
Ivone Alemán De la Torre
Everardo Barba Macías
Ricardo Amado Moheno Barrueta
Julio Cámara Córdova
Samuel Córdova Sánchez
Miguel Palomeque de la Cruz
Gregorio Hernández Salinas
Adalberto Galindo Alcántara
Silvia del Carmen Ruiz Acosta
Luis Eduardo García Mayoral
Edgar Couttolenc Brenis
Lilia Fraire Sierra
Armando Guerrero Peña
Agrícola Arrieta Rivera
Edith Rojas Anaya
Liliana Aguilar Marcelino
Juan Manuel Urrieta Saltijeral
Sergio Alberto Curti Díaz
Santiago Dominguez Monge
Luis Abraham Chaparro Encinas
José Rafael Paredes Jacome
Fabián García Espinoza
Enrique Hernández Leal
Josafat Alberto Hernández Becerra
Kristal de María Jesús de la Cruz
Jorge Martínez Herrera
Eliut Santamaría Mayo
Uriel Agustín Baez Ruíz
Marianguadalupe Hernandez Arenas
Carlos Luna Palomera
Ana Laura Reyes Reyes
Rosalio López Morgado
Damianys Almenares López
Nadia Florencia Ojeda Robertos
Isabel Cristina Acosta Balcazar
Rafael Jiménez Ocampo
Rodolfo Osorio Osorio
Julio César Vinay Vadillo
Arturo Angel Hernández
Juan Carlos Tamarit Urias
Dena Edith Mata Zayas
Melchor Rodríguez Acosta

COMITÉ ORGANIZADOR

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Pesca
Oficina de Convenciones y Visitantes de Tabasco
Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco
Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco
Fundación Produce Tabasco A. C.
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica de Ciencias Agropecuarias de la UJAT
División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT
Universidad Popular de la Chontalpa
Universidad Politécnica Mesoamericana
Universidad Autónoma Chapingo
Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca
Instituto Tecnológico de Villahermosa
Instituto Tecnológico de Huimanguillo
Colegio de Ingenieros Agrónomos de Tabasco
Universidad Intercultural de Tabasco
Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra
Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)
Facultad Maya de Estudios Agropecuarios en Catazajá
Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH)
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Campus II,
Extension Pichucalco