



Mexican Journal of Technology and Engineering

e-ISSN: 2954-5161

Volumen 3 Número 1

www.mexicanjournalte.com



Consejo editorial

Editores

Dr. José Fernando Méndez González
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,
A.C.

Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Editores de área

Ciencias Químico-Biológicas

Dr. Francisco Javier Martínez Valdez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dr. Raziel Jesús Estrada Martínez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Ciencias Agropecuarias

Dr. José Miguel Ángel Castillo Minjarez
Universidad Tecnológica de Tecámac

Ingeniería y Desarrollo Tecnológico

Dr. José Fernando Méndez González
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo,
A.C.

Ciencias Sociales y Humanidades

Dr. Cesaire Chiatchoua
Instituto Politécnico Nacional-ESE

Comité editorial

Dr. Jesús Gerardo Saucedo Castañeda
Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. Gerardo Atlantis Gómez Ramos
Universidad Veracruzana

Dra. María del Carmen Lozano Arizmendi
Universidad la Salle México

Dra. Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
Universidad Autónoma de Tamaulipas-UAM Mante

Dra. Enaim Aída Vargas León
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dr. Paul Misael Garza López
Universidad Autónoma de Hidalgo

Dra. Josefa Espitia López
Universidad Autónoma de Hidalgo

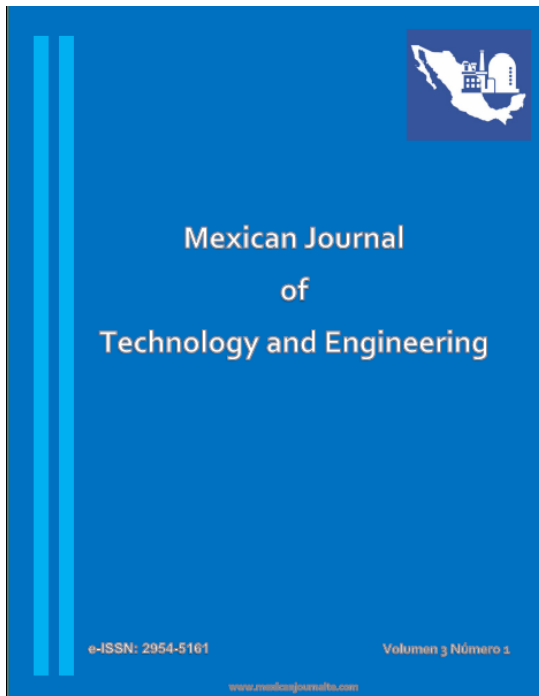
Mtra. Lucía Beltrán Castillo
Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán

Dra. Maribel Quezada Cruz
Universidad Tecnológica de Tecámac

Dra. Esperanza Trenado Sánchez
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Emmanuel Agustín Reynoso López
Universidad Autónoma Metropolitana

Dra. Lilianha Domínguez Mafavón
Worcester Polytechnic Institute



Mexican Journal of Technology and Engineering es una publicación cuatrimestral (Vol. 3, No 1, enero-abril de 2024) editada por los doctores José Fernando Méndez González y Rafael Alejandro Angel Cuapio. Difusión y soporte digital vía internet www.mexicanjournalte.com, editorial@mexicanjournalte.com. Editor Responsable: Dr. Rafael Alejandro Angel Cuapio, con dirección en Norte 8, #214, Col. Santa Cruz, Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, CP 56617, angelcuapio@gmail.com. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2021-063018102800-102, e-ISSN: 2954-5161, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. El responsable de la última actualización de este número fue el Dr. José Fernando Méndez González. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de la manera de pensar del Consejo y/o Comité Editorial. El contenido de la revista está disponible bajo los términos de licencia CC BY-NC-SA 4.0

Mexican Journal of Technology and Engineering, Vol. 3, No. 1 © 2024
by Sociedad Mexicana de Tecnología, Ingeniería y Humanidades, A. C.
is licensed under CC BY-NC-SA 4.0



Contenido

Artículos de divulgación científica

Reseña del segundo aniversario de la Mexican Journal of Technology and Engineering.....4-15
J.M. Castillo-Minjarez.

Metarhizium robertsii, un prometedor aliado contra las infestaciones de Picudo en cultivos de nopal verdura.....16-20
F. Méndez-González, E. Favela-Torres y J.J. Buenrostro Figueroa.

Publicaciones regulares

Ciencias Químico-Biológicas

Acumulación de metales pesados por protozoarios ciliados de vida libre y pedunculados.....21-34
M. Baltazar-Quezada, S. García-Hernández, F. J. Martínez-Valdez y M. Quezada-Cruz.

Ciencias Agropecuarias

El control biológico como alternativa para una agricultura sustentable en un entorno amenazado por el cambio climático.....35-43
G. Chávez-Escalante y F. Méndez-González.

Ciencia y Tecnología de Alimentos

Extracción y caracterización de pigmentos de las brácteas bugambilia (*Bougainvillea* sp.).....44-53
C. Compeán-Vargas, A. Pichardo-Sánchez, N. R. Rodríguez-Durán, A. Del Ángel-Del Ángel, L. V. Rodríguez-Durán.

Anexos de la publicación

Guía para autores.....54-57



Artículo de divulgación

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.1.0415>

Castillo-Minjarez, 2024

Recibido: 24-03-2023

Revisado: 09-04-2024

Aceptado: 24-04-2024

Publicado: 05-05-2024

Reseña del segundo aniversario de la Mexican Journal of Technology and Engineering

2nd anniversary review of the Mexican Journal of Technology and Engineering

J. M. Castillo-Minjarez^{1,*}

¹ Universidad Tecnológica de Tecámac, División de Electromecánica Industrial. C.P. 55740, Estado de México, México

* Corresponding author: icastillom@uttecamac.edu.mx

Resumen

Comunicar y difundir los saberes del conocimiento científico, son tareas fundamentales para el logro de la apropiación social del conocimiento que conlleve a un desarrollo sostenible. Para contribuir en este importante aspecto, la revista Mexican Journal of Technology and Engineering (e-ISSN: 2954-5161), ha ofrecido la posibilidad de publicar trabajos de investigación originales e inéditos. Los dos volúmenes publicados hasta el momento incluyen un total de 30 artículos con DOI asignado, de los cuales el 70 % corresponden a trabajos científicos originales y de revisión, mientras que el 30 % restante son de divulgación científica. Entre las diferentes áreas temáticas de la revista, el área de Ciencias Sociales y Humanidades presenta el mayor número de publicaciones (nueve), seguida de las áreas Ciencias Sociales y Humanidades, Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ciencias Agropecuarias e Ingeniería y Desarrollo Tecnológico, donde se han procesado cuatro, tres, tres y dos publicaciones, respectivamente.

Palabras clave: ingeniería, tecnología, desarrollo.

Abstract

Communicating and disseminating scientific knowledge are fundamental tasks for achieving the social appropriation of knowledge that leads to sustainable development. To contribute to this important aspect, the Mexican Journal of Technology and Engineering (e-ISSN: 2954-5161) has offered the opportunity to publish original and unpublished research papers. The two volumes published so far include a total of 30 articles with an assigned DOI, of which 70% are original and review scientific papers, while the remaining 30% are scientific dissemination. Among the different thematic areas of the journal, the area of Social Sciences and Humanities presents the highest number of publications (nine), followed by the areas of Social and Human Sciences, Food Science and Technology, Agriculture Science, Engineering and Technological Development, where four, three, three and two publications have been processed, respectively.



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

Keywords: engineering, technology, development.

1. Ingeniería y tecnología hacia un fin común: el desarrollo

Es imposible reflexionar sobre el progreso que ha tenido la humanidad sin considerar los elementos básicos para su presencia, algunos de ellos existen desde tiempos remotos. Partiendo de la idea de que, diferentes métodos y utensilios tuvieron que desarrollarse para satisfacer las necesidades del hombre primitivo, desde entonces y hasta la época actual, tal idea continúa guiando el desarrollo de la humanidad. Es así que, la satisfacción de necesidades que demandan cada vez mayor sofisticación, desde una dimensión epistemológica, ha permitido el avance de elementos fundamentales como la ciencia y la tecnología a través de la práctica de la ingeniería. Por una parte, la ciencia en su fin principal de explicar la naturaleza a través de su estudio riguroso ha concedido que su conjunto de saberes sea aprovechado a través de la ingeniería, conllevando al desarrollo de múltiples métodos e instrumentos, así como más conocimientos, planteando cada vez menos limitaciones para un avance continuo.

2. Apropiación del conocimiento

Comunicar y difundir el conocimiento favoreciendo el intercambio de saberes asociados a la ciencia, la tecnología y la innovación, son fundamentales para el logro de la apropiación social del conocimiento, que conlleve a un desarrollo sostenible. Para contribuir en este importante aspecto, la revista Mexican Journal of Technology and Engineering (e-ISSN: 2954-5161), editada por la Sociedad Mexicana de Tecnología, Ingeniería y Humanidades, A. C., a partir del año 2022, ha ofrecido a investigadores, académicos, estudiantes y profesionistas la posibilidad de publicar trabajos de investigación originales e inéditos, como artículos científicos,

comunicaciones cortas, artículos de revisión y de divulgación científica relacionados con áreas disciplinarias como Ciencias Químico-Biológicas, Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ciencias Agropecuarias, Ingeniería y Desarrollo Tecnológico, así como Ciencias Sociales y Humanidades. Las contribuciones hechas hasta el momento están asociadas con diferentes áreas de la ingeniería y tecnología provenientes del uso y preparación de materias primas, ingeniería de procesos, implementación de control, automatización y optimización de procesos. Asimismo, se tienen contribuciones que han puesto en evidencia el potencial socioeconómico de la implementación de diversos procesos tecnológicos en diferentes sectores productivos. En el marco del segundo aniversario de la revista Mexican Journal of Technology and Engineering y con el objetivo de mostrar la diversidad y calidad de trabajos, a continuación, se presenta una breve reseña de los trabajos aceptados para su publicación en los dos volúmenes existentes hasta el momento (<https://mexicanjournalte.com>).

3. Volumen uno

3.1 Primer número

El volumen uno de la revista, fue lanzado con artículos aceptados durante el año 2022, en tres números diferentes, el primero de estos se presentó el 29 de abril, conteniendo un artículo de divulgación y cuatro publicaciones regulares (de las áreas Ciencias Químico-Biológicas, Ciencias Agropecuarias, Ingeniería y Desarrollo Tecnológico y Ciencias Sociales y Humanidades).

El primer número de la revista comienza con el artículo *“El doble papel de las Especies Reactivas de Oxígeno en el metabolismo celular”*, cuya temática principal se enfoca en moléculas producidas en las reacciones bioquímicas celulares, llamadas Especies Reactivas de Oxígeno (EROs). En este trabajo se establece que las EROs juegan un doble papel en las células, ya que si se



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

eleva su concentración pueden llegar a niveles en los cuales se genere un estrés oxidante, induciendo enfermedades. No obstante, en niveles fisiológicos son moléculas señalizadoras en procesos metabólicos vitales. A su vez, el estudio de su participación en la regulación del metabolismo secundario de hongos, plantas y actinomicetos ha sido una estrategia valiosa y simple en el mejoramiento de procesos de producción de fármacos y otros metabolitos de interés, o para evitar la biosíntesis de micotoxinas (Bibián-León, 2022).

Se continuó con el trabajo *“Biotransformation of the organic fraction of municipal solid wastes to bioethanol”*, en el cual se señala que una mala gestión de los residuos sólidos urbanos produce daños ambientales a escala mundial. Como estrategia, la fracción orgánica de estos residuos (52 %), por su contenido de carbohidratos, puede utilizarse para la generación de bioetanol por métodos de fermentación líquida o sólida, presentando altos rendimientos de bioconversión (30 a 100 g/L). Sin embargo, se necesitan optimizar las condiciones de operación para favorecer la rentabilidad del proceso a escala industrial (Chávez-Escalante et al., 2022).

Posteriormente, se incluyó el artículo *“Contexto de los bioplaguicidas comerciales de base fúngica en México”*, que señala la necesidad de modificar los sistemas convencionales de producción agrícola a través del uso de alternativas naturales, acompañadas de un marco legal que oriente los sistemas hacia un desarrollo sostenible. México, ha ratificado el cumplimiento de los compromisos internacionales que promueven la aplicación de plaguicidas alternativos para el control biológico por lo que, el uso de hongos microscópicos es una herramienta potencial para contribuir a la sanidad vegetal y la seguridad alimentaria. No obstante, estos bioplaguicidas no han logrado sustituir al 100 % el uso de los productos químicos debido a ciertos aspectos técnicos y discrepancias en la información pública disponible sobre su mercadeo (Castillo-Minjarez, 2022).

El siguiente artículo aceptado fue *“Análisis comparativo de tipo cinemático y dinámico para arquitecturas robóticas cartesianas”*, que establece la comparación entre las configuraciones robóticas cartesianas Cantilever y Gantry. A través del análisis de los modelos cinemático y dinámico, se determinaron las condiciones y parámetros de operación. Asimismo, se demostró que la configuración o disposición de los eslabones y actuadores cambia las ventajas mecánicas entre ambas configuraciones, en especial, la configuración Gantry presentó un mejor desempeño para la manipulación de objetos pesados dentro del espacio de trabajo (Gómez-Sánchez et al., 2022).

Finalmente, el primer número de la revista cerró con el artículo *“Long-run relationship between interest rate spread and unemployment in the CEMAC region: a panel data analysis”*, en el cual se examina la relación a largo plazo entre el diferencial de tipos de interés y el desempleo en la región de la Comunidad Económica y Monetaria del África Central (CEMAC). Concluyendo que, además de la cointegración entre el diferencial de tasas de interés y el desempleo en la Región CEMAC, existe una relación de cointegración para todos los países miembros excepto Camerún. A su vez, se proponen medidas políticas para motivar la inversión, crear más puestos de trabajo y reducir el desempleo total, así como unirse a un sistema de tipo de cambio flexible (Porcayo-Albino et al., 2022).

3.2 Segundo número

El segundo número de la revista se presentó el 11 de octubre, conteniendo un artículo de divulgación y cuatro publicaciones regulares (de las áreas Ciencias Químico-Biológicas, Ciencias Agropecuarias, Ingeniería y Desarrollo Tecnológico y Ciencias Sociales y Humanidades). Este número inició con el artículo de divulgación científica *“Residuos sólidos orgánicos ¿Beneficio o problema?”*, en el que se plantea la producción de biofertilizantes como una estrategia sustentable para contrarrestar la contaminación con residuos sólidos. A su vez, señala que se



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

pueden generar intereses económicos con la obtención de un producto que impacte en el sector agroindustrial. Por lo que, es necesario que la sociedad conozca las alternativas que se pueden generar a partir del uso de los desechos (López-Ramírez et al., 2022).

Posteriormente, se continuó con el artículo de revisión "*Glycyrrhizin and glycyrrhetic acid: pharmacological potential for the treatment of viral respiratory infections*", que centró su temática en la glicirricina y el ácido 18- β -glicirretínico (18 β -GA), aislados de la planta *Glycyrrhiza glabra*, ya que han mostrado propiedades terapéuticas, que incluyen actividad antioxidante, antiinflamatoria y antiviral. Ambas moléculas en estudios *in vitro* y en animales, han demostrado actividad antiviral frente a SARS-CoV-2. No obstante, los reportes de sus efectos en humanos son escasos. Los principales retos del uso de estas sustancias como fármaco es mejorar su solubilidad y permeabilidad, así como utilizar dosis terapéuticas sin efectos tóxicos (Alcántara-Martínez & Zendejas-Hernandez, 2022).

Se continuó con el artículo "*Los texturizantes incrementan la producción de conidios de Metharizium anisopliae*", cuyo objetivo se centró en incrementar la producción de conidios del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* CP-OAX, a través del uso de diferentes texturizantes agregados al sustrato (arroz precocido) para aumentar la porosidad en el lecho de empaque. Encontrando que, la adición de polietileno de baja densidad resultó más efectiva para la producción de conidios, ya que se duplicó, siendo un factor importante a considerar en la producción a gran escala de este hongo empleado como agente de control biológico (Castillo-Castillo et al., 2022).

El artículo siguiente fue "*Análisis del desarrollo económico, social y ambiental de Brasil*", que analiza la evolución socioeconómica de Brasil, desde 1960 hasta 2017, a través de indicadores económicos, sociales y ambientales en conjunto con los de los países denominados BRICS, para tenerlos como referentes. Encontrando que el PIB creció en un 3.9 % anual, se tuvo una reducción

de la deuda externa, y la IED aumentó 5.7 % en 2017. Con respecto a los indicadores sociales, el porcentaje de personas con acceso a internet creció un 69 % anual; a partir de los años noventa, la tasa de incorporación de la población a las actividades económicas aumentó un 2 % anual; a partir del año 2000, el acceso a la educación superior pasó de 17 % al 50 %; y el índice de percepción de corrupción disminuyó de 43 a 35 puntos. No obstante, los indicadores ambientales muestran desinterés por la energía renovable desde mediados de los años ochenta, y la emisión de gases incrementó en un 47 % a inicios del dos mil. Brasil ha tenido un crecimiento a nivel Latinoamérica, sin embargo, en comparación con los Estados del BRICS, existen deficiencias (Chiatoucha & Matadamas-García, 2022).

El último artículo que incluyó este número es "*Implementación de tratamientos biológicos en la disminución de residuos sólidos urbanos*", en el cual se plantea que ante la situación nacional de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) estimada de 120, 128 Ton/día, su acumulación es una problemática actual. Una solución factible es degradar la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU), empleando tratamientos biológicos, como la degradación aerobia y la digestión anaerobia. La degradación aerobia presenta ventajas en términos de tiempo de tratamiento y permite la obtención de fertilizantes como productos. Por su parte, con la digestión anaerobia se puede producir biogás y también se pueden generar fertilizantes como subproducto (Castillo-Minjarez et al., 2022).

3.3 Tercer número

El tercer y último número de este volumen fue publicado el 20 de enero de 2023, lo constituyen dos artículos de divulgación y tres publicaciones regulares (de las áreas Ciencias Químico-Biológicas y Ciencia y Tecnología de Alimentos) que se aceptaron en 2022.

El primer artículo de este número es "*Los piezoeléctricos: Cosechando energía mecánica*", cuyo objetivo es informar sobre la cosecha de



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

energía (CdE) como una alternativa para obtener energía no convencional, la cual ofrece una gran oportunidad de aplicación, ya que a partir de energía ambiental (tal como calor, movimiento, vibraciones, y radiación) se genera energía eléctrica que puede utilizarse en dispositivos electrónicos de baja potencia como relojes, audífonos, receptores bluetooth, marcapasos, etcétera. Dentro de los transductores que realizan esta transformación de energía, los materiales piezoeléctricos destacan, ya que, permiten transformar energía mecánica de diferente naturaleza (vibración, deformación, torsión) en energía eléctrica (Hernández-Rivera & López-Ramírez, 2022).

El siguiente artículo fue “*Producción de chile (Capsicum spp.) en México y sus beneficios medicinales y alimentarios*”, que maneja como temática la importancia del chile, no solo como producto de exportación nacional, sino como fuente de nutrimentos como carotenoides, vitaminas A, B, C, E, hierro, potasio y magnesio. Asimismo, tiene funcionalidades como antioxidante, analgésico, antiinflamatorio, estimula el sistema inmunológico y puede coadyuvar con efectos farmacológicos positivos en el tratamiento de enfermedades como cáncer, obesidad, artritis, rinitis, sinusitis, migraña, diabetes y problemas cardiovasculares (López-Ordaz et al., 2022).

Se continuó con el artículo “*Evaluación de la actividad antiepiléptica de los metabolitos secundarios de los extractos cetónicos crudos de Mentha piperita y Mentha pulegium*”, en el cual se estudiaron dos extractos de plantas de *Mentha*, género que ha mostrado efectos relajantes, por lo que se presumía que podrían presentar actividad anticonvulsiva. En pruebas *in vivo* con ratones, se mostró que, *M. piperita* presentó taninos y *M. pulegium* presentó flavonoides, inhibiendo al radical ABTS en 90 y 70 % respectivamente, y ambas presentaron diferencia significativa en comparación con clonazepam y la carbamazepina indicando su efecto antioxidante, a su vez, redujeron las convulsiones inducidas con PTZ. Por lo tanto, los

extractos de menta estudiados son una potencial alternativa para el tratamiento de la epilepsia (Jiménez-Zuñiga et al., 2022).

A continuación, se incluyó el artículo “*Actividad cicatrizante de los extractos metanólico y cetónico de Larrea tridentata en heridas incisas de ratones CD-1*”, en el cual se evaluó el efecto cicatrizante de dos extractos de *Larrea tridentata* en heridas de la zona dorsal de ratones CD-1. Los extractos mostraron presencia de taninos, fenoles y flavonoides y fueron adicionados a geles a una concentración 0.5 %. Los geles con los extractos tuvieron efecto cicatrizante en las heridas cuatro días antes que los controles, revelándose como una alternativa de gran interés para la cicatrización (Bautista-Cruz et al., 2022).

Finalmente, este número concluyó con el artículo “*Obtención de una infusión de la hoja de verdolaga (Portulaca oleracea L.) y su caracterización fisicoquímica y análisis sensorial*”, que se enfocó al estudio de la verdolaga, planta comestible considerada funcional, ya que presenta nutrientes como proteínas, carbohidratos, ácidos grasos (omega 3 y 6), ácidos orgánicos, vitaminas, minerales, tocoferoles y antioxidantes. Además, se considera medicinal por sus propiedades diuréticas, digestivas y efecto antiinflamatorio. El trabajo propuso la elaboración de una infusión a base de verdolaga, producto inexistente en el mercado, que al compararse con infusiones de té verde (*Camellia sinensis*), los resultados no revelaron diferencia significativa en los parámetros de °Brix y color, al contrario de la determinación de humedad y ceniza. Por su parte, la evaluación sensorial mostró que aparte del sabor, los atributos de apariencia, olor, color y textura no presentaron diferencia significativa, concluyendo que la infusión propuesta es un producto de calidad, sensorialmente aceptado y es una alternativa saludable para el consumidor (Hernández-Robledo et al., 2022).

4. Volumen dos

4.1 Primer número



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

El volumen dos de la revista fue lanzado durante el año 2023 en tres números diferentes, el primero de estos se presentó el 30 de abril, conteniendo dos artículos de divulgación y tres publicaciones regulares (de las áreas Ciencias Sociales y Humanidades, Ciencia y Tecnología de Alimentos y Ciencias Agropecuarias).

En el primer artículo, *“Desarrollo de biorrefinerías para el manejo sostenible del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en los canales de Xochimilco”*, se presentan dos estrategias de manejo sustentable de lirio acuático, planta invasiva que se ha convertido en un fuerte problema en los últimos años por la afectación a los ecosistemas, al turismo, pesca y generación de energía eléctrica. El trabajo fue financiado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México y consistió en el diseño, construcción y operación de una biorrefinería de lirio acuático. La primera estrategia de alcance “local” propone el manejo de 500 a 1000 kg de lirio fresco por semana para la producción de composta, lombricomposta y material absorbente. La segunda estrategia de alcance “regional” propone el manejo de 5 a 50 toneladas de lirio fresco por semana para la producción de composta, lombricomposta, material absorbente y biogás (Favela-Torres, 2023).

Posteriormente, se incluyó el artículo *“Sargazo, el potencial recurso del Mar Caribe”*, que describe las afectaciones derivadas de los arribazones de sargazo. Asimismo, aborda la estrategia que se ha estudiado para utilizarlo como biomasa en la generación de productos cuya comercialización contribuya a disminuir los costos por su recolección. Los diferentes procesos diseñados para la valorización del sargazo pueden incorporarse en biorrefinerías, lo que permitiría la explotación del sargazo a gran escala y con un enfoque de cero residuos (Méndez-González & Buenrostro-Figueroa, 2023).

El siguiente artículo fue *“Proteccionismo Americano: Efectos y consecuencias para Venezuela”*, que hace un análisis de los efectos de

las medidas políticas internacionales proteccionistas del gobierno estadounidense sobre la economía de Venezuela. A través del tratamiento de datos de los indicadores del desarrollo mundial (2019), se encontró que la gasolina presenta una caída de la exportación en 78 %; el PIB per cápita cayó 48.8 % y la inflación se estima aumente a 10, 000, 000 %. Ante esta situación, Venezuela, podría solicitar el apoyo de aliados históricos como China, Rusia y algunos países latinoamericanos como Cuba y Bolivia (Chiatchoua et al., 2023).

Se continuó con el artículo *“Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de almidón de maíz (*Zea mays*) y harina de yuca (*Manihot esculenta Crantz*)”*, que plantea el aprovechamiento de nuevos materiales como el almidón de maíz (*Zea mays*) y harina de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) para la elaboración de películas comestibles. Al realizar la caracterización fisicoquímica de ambas películas conteniendo 1 % de los materiales propuestos en la formulación, se encontraron propiedades mecánicas, opacidad y permeabilidad al vapor de agua adecuadas para conservar los alimentos manteniendo sus propiedades físicas y organolépticas durante más tiempo (López-Ordaz et al., 2023).

El último artículo de este número fue *“The salt content is not a limitation for ensiling sargassum collected in the mexican caribbean”*, que establece que el sargazo podría ser utilizado para la obtención de alginatos, fucoidanos, biocombustibles, fertilizantes y alimento pecuario. No obstante, se requiere de un pretratamiento para su procesamiento, así como para asegurar un suministro continuo para su explotación industrial. Por lo que, en este estudio, se determinaron las condiciones de pretratamiento para su conservación por ensilaje, a través de la evaluación de la desalinización e incorporación de aditivos. Se concluyó que para ensilar el sargazo se requiere la adición de inóculo, glucosa y nutrientes (Méndez-González et al., 2023).



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

4.2 Segundo número

El segundo número de este volumen se presentó el 31 de agosto, conteniendo un artículo de divulgación y cuatro publicaciones regulares (de las áreas Ciencia y Tecnología de Alimentos y Ciencias Sociales y Humanidades).

El artículo inicial fue *“Bioeconomía circular: aprovechamiento de residuos de frutas y verduras en México”*, que aborda el estudio de la bioeconomía circular, cuyo objetivo es transformar el actual modelo económico en uno más sostenible, centrándose en la preservación prolongada de los recursos naturales para evitar la generación excesiva de residuos, a través de la reutilización de recursos en la generación de bienes y servicios. Asimismo, se indica que anualmente se generan millones de toneladas de residuos agroalimentarios, emitiendo dióxido de carbono y resultando en una pérdida notable de agua, los cuales poseen un potencial valioso como materia prima para la fabricación de productos industriales, impulsando así la implementación de la bioeconomía circular, favoreciendo el desarrollo sostenible establecido por México (Gómez-Ramos, 2023).

Se continuó con el artículo *“Caracterización del metzal: Una de las bondades del agave pulquero”* que, de la amplia diversidad de usos específicos de los agaves, se centra en el estudio de las características nutricionales del Metzal, un tejido vegetal o pulpa obtenida cada vez que se raspa el maguey para coleccionar el aguamiel. Los análisis proximales realizados indicaron que el Metzal contiene aportes importantes de azúcares que oscilan entre los 62 a 79% y de proteínas de casi 2 a 6% equivalente a las cantidades que podemos encontrar en otros vegetales. También posee altos contenidos de fibra cruda entre 8 a 21%, asociando su consumo a beneficios a la salud (Figueredo-Urbina et al., 2023).

El artículo siguiente fue *“Estado nutricional y de salud general relacionado con el consumo de alcohol en jóvenes de Cuauhtémoc”*, cuyo objetivo fue relacionar el estado nutricional y de salud general de jóvenes (con 17 a 35 años) de

Cuauhtémoc con sus hábitos de consumo de alcohol. Mediante la determinación de la frecuencia de consumo de alimentos, la identificación de trastornos debido al consumo de alcohol y el análisis de muestras sanguíneas de la población de estudio, se concluye que los estados de salud y nutricional de los jóvenes participantes se afectó por el consumo de alcohol (Mendoza-Ramírez et al., 2023).

El artículo siguiente fue *“Aproximación teórica al plan de mejora y clima organizacional; caso sector salud: Municipio de Chimalhuacán”*, cuyo estudio se enfocó en mejorar los factores que inciden con el comportamiento del personal que ocupa el puesto de asistente de Médico Familiar dentro del servicio de consulta externa, en el Centro de Salud Comunitario del Municipio de Chimalhuacán. Se plantea la existencia de un deficiente clima organizacional en esta área de la clínica en función de sus dimensiones, específicamente en comunicación, motivación laboral y trabajo en equipo. A través de la implementación de un plan que involucra dos teorías, la motivacional de Frederick Herzberg, y la teoría “X”, “Y” de Douglas Mc Gregor, se logró la mejora del clima laboral de la organización, lo que se tradujo en una atención más amable a los derechohabientes (Coria-Lorenzo et al., 2023).

El número se cerró con el artículo *“Evaluación nutricional y percepción de discriminación de acuerdo con el color de piel en estudiantes de la UACM plantel Cuauhtémoc, Ciudad de México”*, cuya investigación fue acerca del estado nutricional de estudiantes de una universidad con alta marginación de la Ciudad de México. Asimismo, se analizó la discriminación a partir del estado de ánimo, y la dignidad en relación con la percepción del color de piel. Mediante mediciones antropométricas, de bioimpedancia, muestras de sangre, datos sobre actividad física, estado de ánimo y percepción de discriminación, se mostró que los estudiantes de piel morena, mayormente discriminados, tienen valores elevados del Índice de Cintura-Cadera (ICC), triglicéridos y colesterol, lo que implica una dieta no saludable (Martínez-Osorio et al., 2023).



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

4.3 Tercer número

El tercer número del volumen se presentó el 22 de diciembre, conteniendo dos artículos de divulgación y tres publicaciones regulares (área Ciencias Sociales y Humanidades).

Se inició con el artículo *“Aplicación de los biosurfactantes en la vida diaria”*, que aborda el tema de los surfactantes microbianos, metabolitos secundarios producidos por bacterias, levaduras y hongos filamentosos. Se resalta la posibilidad de emplearlos no solo en productos cosméticos y de cuidado personal, sino en aplicaciones biomédicas y farmacéuticas debido a sus propiedades funcionales conferidas por su naturaleza anfipática y su disposición estructural, exhiben propiedades humectantes, capacidades de formación de espuma y microemulsiones, además tienen actividades biológicas como antibacterianos, antifúngicos, antipéculas, anticancerígenos, inmunomoduladores y neurológicos. Por lo tanto, la naturaleza como agentes multifuncionales, así como el hecho de ser ambientalmente amigables, posiciona a los surfactantes microbianos como una alternativa potencial para sustituir a los surfactantes sintéticos (Domínguez-Rivera & Saucedo-Castañeda, 2023).

Posteriormente, se continuó con el artículo *“Plantas medicinales usadas comúnmente en México: lo bueno y lo malo”*, que aborda el tema de la medicina tradicional de nuestro país, haciendo hincapié en el hecho de que las plantas medicinales pueden ser tóxicas, aunque sean productos naturales. Asimismo, su consumo puede potenciar los efectos secundarios y la actividad de ciertos medicamentos, por lo que se sugiere un consumo cuidadoso, responsable y consciente. Asimismo, se plantea que las autoridades deben seguir trabajando en la regulación de la medicina tradicional, para garantizar la calidad y seguridad de las personas (Ordaz-Hernández et al., 2023).

El siguiente artículo fue *“Responsabilidad social de empresarios mexicanos ante la pobreza laboral*

post covid”, que se centra en presentar los efectos económicos adversos que se produjeron en México, por la pandemia de COVID-19. A través de una revisión histórica documental y descriptiva apoyada en índices de crecimiento económico y generación de pobreza, se subraya un incremento en la pobreza debido a la recesión económica, contracción significativa del PIB, pérdida de empleos e ingresos, presión sobre el sistema de salud y la caída en el comercio internacional. A su vez, se establece que la sociedad ya no es la misma, ante este contexto requiere a las empresas un mayor compromiso social, exigiendo al empresariado construir una ventaja competitiva sustentable (López-Cerón et al., 2023).

Se continuó con el artículo *“La empresa editorial contemporánea en México: un enfoque de desarrollo orientado en economía colaborativa”*, que aborda el estudio de las condiciones y la disposición de los consumidores mexicanos para asumir el rol de prosumidor y que las editoriales puedan destinar u amortizar adecuadamente su cartera de inversión. Mediante análisis histórico cualitativo del sector editorial y descriptivo de las condiciones educativas, tecnológicas, sociales y económicas, así como de la opinión directa del consumidor, se determinó que las empresas editoriales que deseen adoptar un modelo de prosumo y sus ventajas, necesitan el apoyo gubernamental, priorizando políticas de seguridad de las empresas editoriales o de intermediarios, para los prosumidores y colaborar con las autoridades para identificar comportamientos fraudulentos. Asimismo, se recomienda a los prosumidores adoptar servicios de banca electrónica en caso de estar dispuestos a financiar proyectos editoriales (García-Herrera & Juárez-Olascoaga, 2023).

El último artículo de este volumen fue *“Determinantes sociales de la salud: un análisis comparativo entre México, Brasil y Chile”*, en el cual se desarrolla la comparación de algunos Determinantes Sociales de la Salud (DSS) de tres países latinoamericanos mediante un estudio longitudinal y retrospectivo; los DSS considerados fueron la educación (población analfabeta,



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

matrícula de primer nivel, segundo nivel y tercer nivel), el empleo (población económicamente activa), la salud (gasto público en salud, personas derechohabientes), la esperanza de vida, la mortalidad materna y mortalidad infantil. Los resultados del estudio resaltan la importancia que tiene la promoción de la salud en las políticas públicas para mejorar la calidad de vida de las personas (Muñoz-Aguirre et al., 2023).

5. Conclusión

La Mexican Journal of Technology and Engineering en sus dos volúmenes ha publicado un total de 30 artículos. El 70 % de ellos corresponden a artículos científicos originales y de revisión, mientras que el 30 % restante son de divulgación científica. A cada uno de los manuscritos publicados se les ha asignado un DOI para facilitar su disponibilidad e identificación en la red. Entre las diferentes áreas temáticas de la revista, el área de Ciencias Sociales y Humanidades presenta el mayor número de publicaciones (nueve), seguida de las áreas Ciencias Sociales y Humanidades, Ciencia y Tecnología de Alimentos, Ciencias Agropecuarias e Ingeniería y Desarrollo Tecnológico, donde se han procesado cuatro, tres, tres y dos publicaciones, respectivamente. El conjunto de saberes presentados en la revista como resultado de su actividad actual, así como la inclusión de futuros trabajos, continuarán favoreciendo el fortalecimiento de la comunidad científica nacional y la apropiación social del conocimiento científico, el desarrollo tecnológico y la innovación.

6. Referencias

1. Alcántara-Martínez, N., & Zendejas-Hernandez, U. (2022). Glycyrrhizin and glycyrrhetic acid: pharmacological potential for the treatment of viral respiratory infections. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(2), 9-21. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.2.0921>
2. Bautista-Cruz, M. H., Villeda-Gutierrez, E. A., Hurtado-Mariles, A. J., Gómez-Gómez, Y., & Jiménez-Zuñiga, M. I. (2022). Actividad cicatrizante de los extractos metanólico y cetónico de *Larrea tridentata* en heridas incisas de ratones CD-1. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(3), 28-36. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.3.2836>
3. Bibián-Léon, M.E. (2022). El doble papel de las Especies Reactivas de Oxígeno en el metabolismo celular. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 4-8. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.0408>
4. Castillo-Castillo, H., Rojas-Gutierrez, L., Espitia-López, J., Garza-López, P., Martínez-de Jesús, G., Neria-González, I., & Angel-Cuapio, A. (2022). Los texturizantes incrementan la producción de conidios de *Metharizium anispliae*. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(2), 22-29. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.2.2229>
5. Castillo-Minjarez, J.M. (2022). Contexto de los bioplaguicidas comerciales de base fúngica en México. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 15-27. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.1527>
6. Castillo-Minjarez, J.M., Vargas-León, E. A., López-Ordaz, P., Angel-Cuapio, A., & Martínez-Valdez, F. J. (2022). Implementación de tratamientos biológicos en la disminución de residuos sólidos urbanos. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(2), 48-56. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.2.4856>
7. Chávez-Escalante, G., Méndez González, F., Espinosa-Ramírez, B.H., & Estrada-Martínez, R. (2022). Biotransformation of the organic fraction of municipal solid wastes to bioethanol. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 9-14. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.0914>



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

8. Chiatchoua, C., & Matadamas-García, M. T. (2022). Análisis del desarrollo económico, social y ambiental de Brasil. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(2), 30-47. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.2.3047>
9. Chiatchoua, C., Tapia-Alba, J. A., & Ávila-Romero, R. (2023). Proteccionismo Americano: Efectos y consecuencias para Venezuela. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(1), 18-29. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.1829>
10. Coria-Lorenzo, M.D., Gorostizaga-Herrera, A., & Castillo-Romero, M. (2023). Aproximación teórica al plan de mejora y clima organizacional; caso sector salud: Municipio de Chimalhuacán. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(2), 35-44. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.2.3544>
11. Domínguez-Rivera, A., & Saucedo-Castañeda, G. (2023). Aplicación de los biosurfactantes en la vida diaria. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(3), 4-11. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.3.0411>
12. Favela-Torres, E. (2023). Desarrollo de biorrefinerías para el manejo sostenible del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en los canales de Xochimilco. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(1), 4-13. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.0413>
13. Figueredo-Urbina, C. J., Medina-Pérez, G., Juárez-Muñoz, J., González-Tenorio, R., Peláez-Acero, A., & Arce-Cervantes, O. (2023). Caracterización del metzal: Una de las bondades del agave pulquero. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(2), 10-21. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.2.1021>
14. Garcia-Herrera, M. S., & Juárez-Olascoaga, B. G. (2023). La empresa editorial contemporánea en México: un enfoque de desarrollo orientado en economía colaborativa. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(3), 29-48. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.3.2948>
15. Gómez-Ramos, G. (2023). Bioeconomía circular: aprovechamiento de residuos de frutas y verduras en México. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(2), 4-9. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.002.2.0409>
16. Gómez-Sánchez, A., Gómez-Sánchez, U., Martínez-Rueda, S., Espinosa-Ramírez, B. H., Estrada-Martínez, R., Castillo-Minjarez, J. M., & Chávez-Escalante, L. (2022). Análisis comparativo de tipo cinemático y dinámico para arquitecturas robóticas cartesianas. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 28-34. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.2834>
17. Hernández-Rivera, D., & López-Ramírez N. (2022). Los piezoeléctricos: Cosechando energía mecánica. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(3), 4-10. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.3.0410>
18. Hernández-Robledo, V., Bustos-Vázquez, M. G., Del Ángel del Ángel, J. A., Torres-Acosta, R. I., & Rojo-Ángeles, P. (2022). Obtención de una infusión de la hoja de verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) y su caracterización fisicoquímica y análisis sensorial. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(3), 37-46. DOI: <https://doi.org/10.61767/mjte.001.3.3746>
19. Jiménez-Zuñiga, M. I., López-Duran, E., Gómez-Gómez, Y., Villeda-Guitierrez, E. A., & Hurtado-Mariles, A. J. (2022). Evaluación de la actividad antiepiléptica de los extractos cetónicos crudos de *Mentha piperita* y *Mentha pulegiu*. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(3), 18-27.



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

- DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.001.3.1727>
20. López Cerón, C., Beltrán Castillo, L., & Oviedo Flores, G. (2023). Responsabilidad social de empresarios mexicanos ante la pobreza laboral post covid. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(3), 19-28. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.3.1928>
21. López-Ordaz P., Orozco-Palma, G., Daza-Merino, C. L., Perea-Flores, M. J., Torres-Ventura, H. H. & Yáñez-Fernández, J. (2022). Producción de chile (*Capsicum spp.*) en México y sus beneficios medicinales y alimentarios. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(3), 11-16. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.001.3.1116>
22. López-Ordaz, P., Yáñez-Fernández, J., Vargas-León, E.A., Martínez-Valdez, F.J., Castillo-Minjarez, J.M., Totosaus-Sánchez, A., Rodríguez-Huezo, M.E., & García-Martínez, I. (2023). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de almidón de maíz (*Zea mays*) y harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(1), 30-43. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.3043>
23. López-Ramírez, N., Espinosa-Sánchez, A., & Jiménez-Huerta A. (2022). Residuos sólidos orgánicos ¿Beneficio o problema?. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(2), 4-8. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.001.2.0408>
24. Martínez-Osorio, N., Mendoza-Ramírez, A., Ortiz-Hernández, L., Padilla-Mendoza, J.R., De Dios Bravo, M.G., Carrillo-Pérez, M.S., & López-Reyes, I. (2023). Evaluación nutricional y percepción de discriminación de acuerdo con el color de piel en estudiantes de la UACM plantel Cuauhtémoc, Ciudad de México. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(2), 45-55. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.2.4555>
25. Méndez-González, F., & Buenrostro-Figueroa, J.J. (2023). Sargazo, el potencial recurso del Mar Caribe. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(1), 14-17. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.1417>
26. Méndez-González, F., Hernández-Zarco, B. & Favela Torres, E. (2023). The salt content is not a limitation for ensiling sargassum collected in the Mexican Caribbean. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(1), 44-52. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.1.4452>
27. Mendoza-Ramírez, A., Martínez-Osorio, N., Padilla-Mendoza, R., De Dios-Bravo, M.G., & López-Reyes, I. (2023). Estado nutricional y de salud general relacionado con el consumo de alcohol en jóvenes de Cuauhtémoc. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(2), 22-34. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.2.2234>
28. Muñoz-Aguirre, G., Escudero-Cortés, L., Lemus-Alcántara, S., Carrillo Pérez, M. S., Padilla-Mendoza, R., & López-Reyes, I. (2023). Determinantes sociales de la salud: un análisis comparativo entre México, Brasil y Chile. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(3), 49-60. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.3.4960>
29. Ordaz-Hernández, A., Herrera-Martínez, M., Loeza-Corte, J.M., Correa Solis, E., Sánchez-Acevedo, M.A., & Pérez-Aguirre, T. (2023). Plantas medicinales usadas comúnmente en México: lo bueno y lo malo. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 2(3), 12-18. DOI:
<https://doi.org/10.61767/mjte.002.3.1218>
30. Porcayo-Albino, A., Djepang-Kouamo, M., & Sibe, J. (2022). Long-run relationship between interest rate spread and



Artículo de divulgación

Castillo-Minjarez, 2024

unemployment in the CEMAC region: a panel data analysis. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 35-45.

DOI:

<https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.3545>



Artículo de divulgación Méndez-González et al., 2024

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.1.1620>

Recibido: 24-04-2023

Revisado: 26-04-2024

Aceptado: 01-05-2024

Publicado: 05-05-2024

***Metarhizium robertsii*, un prometedor aliado contra las infestaciones de Picudo en cultivos de nopal verdura**

***Metarhizium robertsii*, a promising ally against weevil infestations in vegetable cactus crops**

F. Méndez-González^{1,*}, E. Favela-Torres² y J.J. Buenrostro Figueroa¹

¹ Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Coordinación Delicias, C.P. 33089, Chihuahua, México.

² Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 09340, México.

* Correspondencia: mg.fernandomendez@gmail.com; fernando.mendez@ciad.mx

Resumen

La producción de nopal verdura es una actividad estratégica en México. El nopal es resistente a enfermedades e inclemencias climatológicas; sin embargo, es susceptible al ataque de diversos insectos. Entre ellos, el Picudo del nopal (*Cactophagus spinolae*) es potencialmente dañino para la planta y, regularmente, se combate con sustancias químicas poco amigables con el medio ambiente. Como alternativa para proteger a las plantas de infestaciones de Picudo, se evaluó el uso de *Metarhizium robertsii* como un agente de control biológico. A partir de la dosificación de esporas, el microorganismo mostró capacidad para disminuir la población de Picudos en condiciones de laboratorio y en campo abierto (hasta 87 y 23%, respectivamente). Lo anterior demuestra que *M. robertsii* puede utilizarse como agente de control biológico contra el Picudo del nopal. Con base en lo anterior, se podrá generar un paquete tecnológico para la producción y aplicación de altas cantidades de esporas de *M. robertsii* para el control biológico de Picudo del nopal con un enfoque sustentable.

Palabras clave: Control biológico, hongos entomopatógenos, *Opuntia* spp., *Cactophagus spinolae*, bioplaguicidas.

Abstract

The production of nopal vegetables is a strategic activity in Mexico. The nopal is resistant to diseases and inclement weather. However, it is susceptible to attack by various insects. Among them, the cactus weevil (*Cactophagus spinolae*) is potentially harmful to the plant, and no environmental chemical substances are used to combat it. Therefore, as an alternative to protect plants from weevil infestations, *Metarhizium robertsii* was evaluated as a biological



Artículo de divulgación

Méndez-González et al., 2024

control agent. From the dosage of spores, the microorganism showed the ability to reduce the population of Weevils under laboratory conditions and in the open field. The above demonstrates that *M. robertsii* can be a biological control agent against the Prickly Pear Weevil. Considering the above, generating a technological package for producing and applying of *M. robertsii* spores for the biological control of Weevils with a sustainable approach is possible.

Keywords: Biological control, entomopathogenic fungi, *Opuntia* spp., *Cactophagus spinolae*, biopesticides.

1. Introducción

El nopal verdura (*Opuntia* spp.) es un producto endémico de México, su importancia en la gastronomía nacional lo ha posicionado dentro de los diez principales cultivos del país. Anualmente, la producción de nopal en México excede las 900 mil toneladas. La mayoría de esta producción se concentra en el Estado de Morelos, la Ciudad de México y el Estado de México. La planta de nopal tiene una gran resistencia a enfermedades y condiciones climáticas adversas; por lo que, su cultivo es relativamente sencillo y económicamente viable. Sin embargo, la producción de nopal puede ser afectada por la proliferación de insectos como el Picudo, gusano blanco, gusano cebrá, grana cochinilla, chinches, trips y minador de la tuna. Entre ellos, el Picudo (*Cactophagus spinolae*) (Figura 1) es potencialmente dañino ya que se aloja dentro de la penca, menguándola hasta el deceso de la planta (Bravo-Aviles et al., 2014).

El Picudo del nopal es comúnmente combatido con insecticidas químicos a base de fenilpirazoles, los cuales, tienen un efecto de amplio espectro, siendo capaces de dañar a insectos benéficos (como polinizadores y entomófagos) y causar desequilibrio ambiental. Una alternativa natural para controlar la proliferación de Picudo es el uso de agentes de control biológico; los cuales, son organismos que parasitan, enferman o depredan a una plaga. Entre el amplio abanico de agentes de control biológico, los hongos entomopatógenos son altamente efectivos para el control poblacional de insectos. Estos microorganismos provocan enfermedades sobre insectos específicos, disminuyendo su población sin ocasionar daños a la salud o al medio

ambiente. Especies de coleópteros como el Picudo del nopal presentan susceptibilidad a enfermedades ocasionadas por hongos del género *Metarhizium* (Zimmermann, 1993). Este antecedente motivó a evaluar a la cepa de *Metarhizium robertsii* Xoch 8.1 como agente para el control biológico de Picudo en cultivos de nopal de la Ciudad de México. Esta cepa fue aislada por la Universidad Autónoma Metropolitana a partir de muestras de tierra de la Alcaldía de Xochimilco (CDMX). Para determinar si *M. robertsii* puede utilizarse para controlar la presencia de Picudo del nopal, es necesario que el microorganismo muestre capacidad infectiva sobre el insecto al aplicarse bajo condiciones de laboratorio y, posteriormente, en zonas de cultivo.

2. Pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio se realizan bajo condiciones ambientales controladas y corroboran si *M. robertsii* presenta actividad patógena sobre el Picudo del nopal. Para esta evaluación, se inoculan grupos de insectos con las esporas de *M. robertsii*, se comparan los índices de mortalidad entre grupos de insectos inoculados y controles positivos (insectos sin tratamiento) y, finalmente, se recolectan las esporas diseminadas en los cadáveres para comprobar que el deceso está relacionado con la actividad biológica de *M. robertsii* (Méndez-González et al., 2020). El desempeño del microorganismo en las pruebas de laboratorio fue exitoso, logrando disminuir la población de insectos infectados en un 87% a los 6 días de la aplicación (42% más mortalidad que en los grupos de control). En los insectos infectados se observó propagación de micelio sobre la cutícula



Artículo de divulgación

Méndez-González et al., 2024

y, las colonias aisladas, morfológicamente correspondieron a *M. robertsii* (Figura 2). Lo anterior demostró la efectividad del microorganismo y la viabilidad de evaluarlo en condiciones de campo. La mortalidad alcanzada es comparable con la obtenida en bioensayos con *Beauveria bassiana* (82%) (Tafoya et al., 2004).

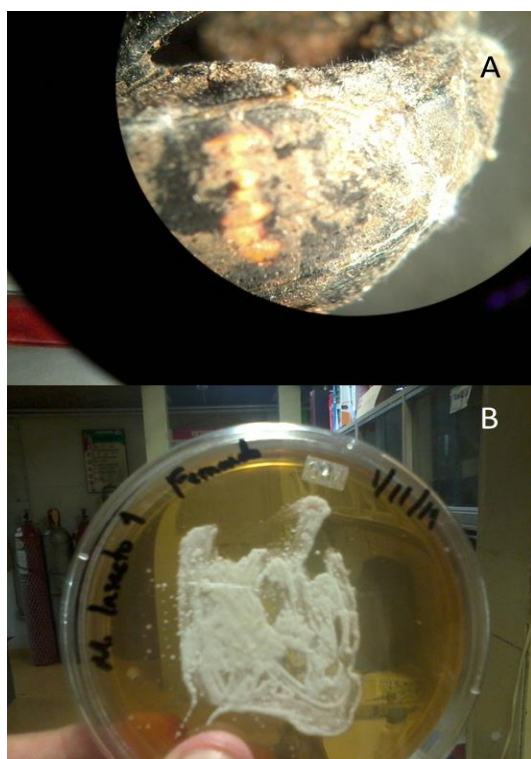


Figura 2. Evaluación de la capacidad infectiva de *M. robertsii* en condiciones de laboratorio. (A) Propagación del microorganismo sobre la cutícula del insecto; (B) Morfología de la colonia de *M. robertsii*.

3. Pruebas en zonas de cultivo

La evaluación en las zonas de cultivo son un gran reto para el microorganismo ya que, no solo deben interactuar con el insecto plaga, sino también, resistir las condiciones ambientales del sitio de aplicación. En la mayoría de los casos, estas condiciones ambientales son adversas para el desarrollo del microorganismo. En este estudio en particular, la evaluación en campo se realizó en un predio de la zona nopalera de San Lorenzo

Tlacoyucan, CDMX (N19.17506° y longitud 99.03478°). El predio se dividió en túneles de pencas usados para la aspersión de una suspensión de esporas y otros que sirvieron como testigo (asperjadas con agua), ambos separados por otros surcos utilizados como barrera física (Figura 2). Las esporas de *M. robertsii* utilizadas en el ensayo se produjeron sobre granos de arroz en bolsas de 500 g (las especificaciones pueden ser consultadas en Méndez-González et al., (2020)). Para su aplicación, las esporas se suspendieron en una solución de Tween 80 (0.05% v/v) y se aplicaron sobre las plantas con una motobomba (Figura 3). En el ensayo se aplicaron 1×10^{13} esporas viables por hectárea. Lo anterior en un horario por la mañana donde los Picudos emergen de sus nidos y se posan sobre la planta. Posterior a la aplicación, se monitoreó la frecuencia de avistamientos de Picudos en el predio durante cuatro semanas. Durante el periodo de muestreo no se realizó ninguna otra aplicación. En ese periodo, se observó que el tratamiento con esporas redujo la presencia de Picudos en un 23%. Este resultado demuestra que *M. robertsii* puede ser usado para el control biológico del Picudo del nopal y abre la puerta a nuevos estudios orientados a mejorar la efectividad del microorganismo durante su aplicación.

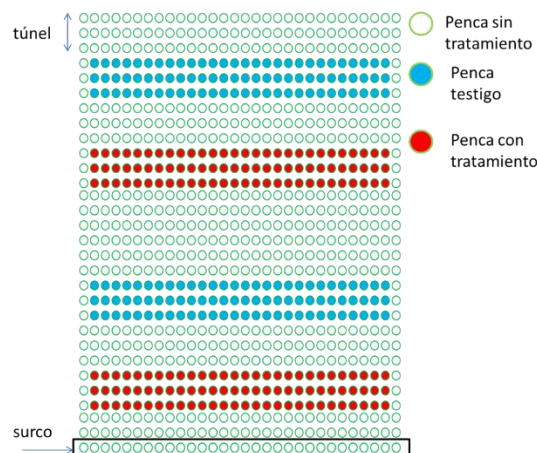


Figura 3. División del predio para la evaluación de *M. robertsii* en condiciones de campo.



Artículo de divulgación

Méndez-González et al., 2024



Figura 4. Evaluación del uso de *M. robertsii* para el control del Picudo del nopal en zonas de cultivo. (A) Sustrato colonizado con esporas; (B) Aplicación por aspersión.

4. Prospectivas para el uso de *M. robertsii* en control biológico

En una etapa inmediata, los rendimientos de mortalidad alcanzados por *M. robertsii* durante la aplicación en campo, podrían mejorarse por medio de establecer un procedimiento sistemático que considere la correcta dosis y frecuencia de aplicación. Por otro lado, Méndez-González et al. (2022) sugieren que la exitosa aplicación de hongos entomopatógenos para el control de plagas depende de la producción de altas concentraciones de propágulos infectivos que cuenten con una alta resistencia a las condiciones ambientales. Por lo que, además de los estudios de aplicación, se deben desarrollar nuevas tecnologías que potencialicen el uso de *M. robertsii*.

Se ha demostrado que, una alta producción de esporas puede obtenerse en biorreactores de columna de lecho empacado (CLE) (el diseño del biorreactor pueden ser consultado en Méndez-González et al., 2018). En estos biorreactores es posible producir hasta 150% más esporas que en bolsas de plástico (Méndez-González et al., 2020). Aunque existen complicaciones para usar los CLE a nivel industrial, estudios recientes demuestran que el biorreactor puede aumentar sus dimensiones usando texturizantes sintéticos (Méndez-González et al., 2022), permitiendo el desarrollo del microorganismo bajo condiciones favorables que garanticen su capacidad infectiva. Además de los sistemas de producción, se puede fortalecer la interacción del microorganismo con la plaga abordando estrategias a nivel molecular y/o diseñando formulaciones cuyos coadyuvantes mejoren la resistencia del microorganismo al medio ambiente y promuevan su capacidad infectiva sobre las plagas (Méndez-González et al., 2022).

Como se puede apreciar, identificar que *M. robertsii* puede ser usado para el control biológico del Picudo del nopal es solo el inicio del camino; no obstante, los recientes hallazgos orientados a mejorar la producción, resistencia ambiental y capacidad infectiva de las esporas de hongos entomopatógenos generan un panorama alentador a corto plazo.

5. Conclusión

Metarhizium robertsii demostró la capacidad de infectar al Picudo del nopal en aplicaciones realizadas bajo condiciones de laboratorio y en zonas de cultivo. La aplicación del microorganismo como agente de control biológico requiere establecer un procedimiento que incluya la dosis y la frecuencia de aplicación. Además, para mejorar la interacción con la plaga, es recomendable incorporar nuevos estudios que permitan producir altas concentraciones de propágulos (esporas) infectivos que cuenten con una alta resistencia a las condiciones ambientales. Este nuevo paquete tecnológico



Artículo de divulgación

Méndez-González et al., 2024

contribuirá al cultivo sustentable del nopal, beneficiando a miles de agricultores en México.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen al doctor **Juan Gabriel Rivera Martínez**[†] por facilitar el acercamiento con los productores de la zona nopalera de San Lorenzo Tlacoyucan.

7. Referencias

1. Bravo-Avilez, D., Rendón-Aguilar, B., Zavala-Hurtado, J. A., & Fornoni, J. (2014). Primer registro de *Cactophagus spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) sobre dos especies de *Stenocereus* (Cactaceae) en el centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3), 972–974. <https://doi.org/10.7550/rmb.43764>
2. Méndez-González, F., Castillo-Minjarez, J. M., Loera, O., & Favela-Torres, E. (2022). Current developments in the resistance, quality, and production of entomopathogenic fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(7), 115. <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03301-9>
3. Méndez-González, F., Figueroa-Montero, A., Saucedo-Castañeda, G., Loera, O., & Favela-Torres, E. (2022). Addition of spherical-style packing improves the production of conidia by *Metarhizium robertsii* in packed column bioreactors. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(6), 1517–1525. <https://doi.org/10.1002/jctb.6993>
4. Méndez-González, F., Loera, O., Saucedo-Castañeda, G., & Favela-Torres, E. (2020). Forced aeration promotes high production and productivity of infective conidia from *Metarhizium robertsii* in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 156, 107492. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107492>
5. Méndez-González, F., Loera-Corral, O., Saucedo-Castañeda, G., & Favela-Torres, E. (2018). Bioreactors for the production of biological control agents produced by solid-state fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, & C. R. Soccol (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 109–121). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00007-4>
6. Tafoya, E., Zuñiga-Delgadillo, M., Alatorre, R., Cibrian-Tovar, J., & Stanley, D. (2004). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* (Deuteromycota hyphomycetes) against the cactus weevil, *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. *Florida Entomologist*, 87(4), 533–536.
7. Zimmermann, G. (1993). The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its potential as a biocontrol agent. *Pesticide Science*, 37(4), 375–379. <https://doi.org/10.1002/ps.2780370410>



Artículo de investigación

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.1.2134>

Baltazar-Quezada et al., 2024

Recibido: 24-11-2023

Revisado: 09-01-2024

Aceptado: 24-03-2024

Publicado: 05-05-2024

Acumulación de metales pesados por protozoarios ciliados de vida libre y pedunculados

Accumulation of heavy metals by free-living and pedunculated ciliated protozoa

M. Baltazar-Quezada¹, S. García-Hernández², F. J. Martínez-Valdez¹ y M. Quezada-Cruz^{1*}

¹ Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Universidad Tecnológica de Tecámac, Km. 37.5 Carretera Federal México-Pachuca. Col. Sierra Hermosa, C.P. 55740, Estado de México, México.

² División Económico Administrativas, Universidad Tecnológica de Tecámac, Km. 37.5 Carretera Federal México-Pachuca. Col. Sierra Hermosa, C.P. 55740, Estado de México, México.

* Corresponding author: mquezadac@uttecamac.edu.mx

Resumen

El estudio se enfocó en determinar la capacidad que tiene el protozoario ciliado de vida libre *Tetrahymena* sp. y un consorcio de protozoarios ciliados pedunculados (*Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria* y *Epistylis* sp.) para acumular metales pesados. Se probaron tres medios de cultivo (trigo, avena, BE) para obtener el mejor crecimiento de *Tetrahymena* sp. El estudio se realizó en presencia de cuatro metales (cadmio, cobre, hierro y plomo) en una concentración de 50 mg/L, en presencia de dos fuentes de carbono diferentes, glucosa y el hidrolizado de la degradación de plumas de pollo. Los protozoarios se mantuvieron a 100 rpm, en oscuridad y a 19-24 °C. El mejor medio de cultivo para el crecimiento de *Tetrahymena* sp. fue el de trigo con una densidad de 3.55×10^4 protozoarios/100mL. Los protozoarios pedunculados identificados fueron *Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria* y *Epistylis* sp. En el caso de *Tetrahymena* sp. se observó un bajo porcentaje de acumulación de metales (7.15+/-3.87 y 6.84+/-2.50). Los protozoarios pedunculados tuvieron la capacidad acumular Co>Cd>Fe>Pb en presencia de glucosa y Cd>Pb>Co>Fe en presencia de hidrolizado de la degradación de plumas de pollo. La acumulación de los metales pesados fue factible, de tal manera que la máxima cantidad de metal acumulado fue de 48.25+/-3.66 % por el consorcio de protozoarios peritricos en presencia de cadmio con el hidrolizado como fuente de carbono.

Palabras clave: metales pesados, *Tetrahymena* sp., *Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria*, *Epistylis* sp.



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

Abstract

The study aimed to determine the capacity of the free-living ciliated protozoan *Tetrahymena* sp. and a consortium of pedunculated ciliated protozoa (*Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria*, and *Epistylis* sp.) to accumulate heavy metals. Three culture media (wheat, oat, BE) were tested to obtain the best growth of *Tetrahymena* sp. The study was conducted in the presence of four metals (cadmium, copper, iron, and lead) at a concentration of 50 mg/L, with two different carbon sources, glucose, and hydrolyzate chicken feather degradation. The protozoa were maintained at 100 rpm, in darkness, and at 19-24 °C. The best culture medium for *Tetrahymena* sp. growth was wheat with a density of 3.55×10^4 protozoa/100mL. The pedunculated ciliated protozoa identified were *Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria*, and *Epistylis* sp. *Tetrahymena* sp. showed a low percentage of metal accumulation (7.15+/-3.87 and 6.84+/-2.50). The pedunculated ciliated protozoa could accumulate Co>Cd>Fe>Pb in the presence of glucose and Cd>Pb>Co>Fe in the presence of hydrolyzate chicken feather degradation. Accumulation of heavy metals was feasible, with the maximum amount of accumulated metal being 48.25+/-3.66% by the peritrichous protozoa consortium in the presence of cadmium with hydrolyzed feathers as a carbon source.

Keywords: Heavy metals, *Tetrahymena* sp., *Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria*, *Epistylis* sp.

1. Introducción

En la actualidad, industrias como la tecnológica, agropecuaria y automotriz, día con día producen y desechan una gran cantidad de contaminantes al ambiente como los metales pesados. En los procesos que se trabajan con metales pesados se encuentra el galvanizado, la plomería, minería, pintura y reparación de baterías, todos muy comunes (Rodríguez, 2017). Estos elementos causan problemas como la esterilidad de suelos, intoxicación de mantos acuíferos, daños a la flora y fauna de ecosistemas y desarrollo de enfermedades en los seres humanos (Brutti *et al.*, 2018). Otro ejemplo es la industria de la nanotecnología, que ha creado productos innovadores en bastas áreas como la biología, química, medicina y física (Bundschuh *et al.*, 2018), sin embargo, su impacto en el medio ambiente así como en el ser humano es un factor que llama mucho la atención, ya que algunas nanopartículas están hechas o contienen metales como arsénico, zinc, cobre y titanio, entre otros (Zou *et al.*, 2013; Mortimer *et al.*, 2010; Mosquera *et al.*, 2015) y a largo plazo podrían causar problemas graves.

En México, dada su toxicidad y abundancia los metales más contaminantes son mercurio, arsénico, plomo y cromo; entre los sitios más afectados por las altas concentraciones de estos metales pesados en suelos se encuentran los estados de Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí (Covarrubias y Peña, 2016). Además, el país ha sido uno de los principales productores de plata a nivel mundial, no obstante, esta actividad causa daños de gran impacto por la cantidad de metales que contienen, así como la ausencia de tratamiento de los mismos (Moreno-Trovar *et al.*, 2012; Covarrubias y Peña, 2016).

Para dar solución a lo anterior, se ha registrado el uso de diversos organismos y microorganismos como remediadores de contaminación por metales pesados, algunos de ellos son *Heliantus annus* (Girasol) y *Sea mays* (Maíz), que han presentado capacidad de absorber grandes cantidades de uranio, cadmio y plomo respectivamente (Mojiri, 2011; Delgadillo- López *et al.*, 2011), bacterias como *Klebsiella* sp. y *Pseudomonas* sp. han sido utilizadas para el



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

tratamiento de mercurio, plomo, cadmio, níquel, cobre y zinc (Wei et al., 2019; Kamika y Momba, 2013; Munive et al., 2020, Orji et al., 2021), algas como *Chlorella vulgaris*, *Euglena gracilis* y *Dunaliella* sp. han presentado capacidad de acumulación de zinc, cobre, cadmio y cobalto (Khatiwada et al., 2020; Chiellini et al., 2020). También, algunos hongos han presentado capacidad para acumular metales pesados (Akpoy y Muchie, 2010). Algunos protozoarios flagelados y de vida libre como *Peranema* sp., *Tetrahymena thermophila*, *Aspidisca* sp., *Trachelophyllum* sp. y *Paramecium caudatum* cuentan con la capacidad de acumular metales pesados como el cobre, cadmio, zinc, cobalto, cromo, níquel y plomo (Kumar et al., 2017; Liu et al., 2017). Sin embargo, existe poca información de los protozoarios, en específico ciliados peritricos pedunculados, y su habilidad como bioacumuladores de metales pesados en comparación con las algas, hongos y bacterias (Kamika y Momba, 2015). Por lo anterior, el trabajo se enfoca en determinar la capacidad que tiene un protozoario ciliado de vida libre (*Tetrahymena* sp.) y un consorcio de protozoarios como *Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria* (pedunculados solitarios) y *Epistylis* sp. (pedunculado colonial) para acumular metales pesados como el cadmio, cobre, hierro y plomo en presencia de glucosa o hidrolizado de la degradación de plumas de pollo como dos probables fuentes de carbono. Adicionalmente, se probaron medios de cultivo con trigo, avena y un medio BE para determinar la mejor opción para el crecimiento de protozoarios ciliados de vida libre (*Tetrahymena* sp.).

2. Materiales y métodos

2.1 Aislamiento y crecimiento de protozoarios

Ciliados de vida libre. Para el crecimiento de los protozoarios ciliados de vida libre se probaron tres medios de cultivo (avena, trigo y medio BE). En el caso del medio con avena y de trigo, se trituraron por separado 25 granos de avena y 25 granos de trigo y se colocaron en matraces de 500 mL, se adicionaron 200 mL de agua destilada y se esterilizaron en una autoclave vertical marca EVAR modelo EV-30 a 121 °C, 15 lb/in² por 15

minutos. El medio BE se preparó de acuerdo con Fried et al. (2002), se adicionaron a 250 mL de agua destilada, 25.8 mg de acetato de sodio, 50.0 g de peptona, 15.8 mg de sulfato de amonio, 11.0 mg de fosfato de potasio KH₂PO₄, 3.5 g de KCl y 0.8 g de extracto de levadura; la mezcla se esterilizó a 121 °C, 15 lb/in² por 15 minutos. En un recipiente de plástico se recolectaron 500 mL de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales del Parque Estatal Sierra Hermosa, Tecámac, Edo. Méx. Se tomaron 50 ml de la muestra y se filtraron en papel Whatman de 0.45 µm y el sólido retenido (microorganismos) en el filtro se adicionó a cada uno de los medios de cultivo con agua destilada. El pH se midió con un potenciómetro HANNA modelo pH211 y se mantuvo en 7.5. Los matraces con medios de cultivo y protozoarios se dejaron en oscuridad a 21-25°C y se agitaron 3 veces al día de manera manual. El medio de cultivo se cambió cada 3 días en zona estéril reemplazando el 90% del medio de cultivo. Para determinar el crecimiento (densidad) de los protozoarios ciliados de vida libre se utilizó una cámara de Neubauer (Mortimer et al., 2010), se tomaron 25 µL del cultivo y se adicionaron 25 µL de lugol al 0.1% para inmovilizar los protozoarios. El conteo se llevó a cabo a los 0, 2, 4, 7 y 10 días en un microscopio marca Nikon ECLIPSE Ni-U a 40x. El cálculo de la densidad se realizó de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\frac{\text{No. de células}}{\text{No. de cuadros contados}} \times \frac{1 \text{ cuadro}}{\text{LAP mm}^3} \times \frac{1000 \text{ mm}^3}{1 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{1 \text{ mL}} \times \text{FD}$$

DONDE:

L= Longitud de la cámara de Neubauer

A= Ancho de la cámara de Neubauer

P= Profundidad de la cámara de Neubauer

FD= Factor de dilución

Ciliados pedunculados. Para el crecimiento de los protozoarios ciliados peritricos pedunculados coloniales y solitarios se inoculó un reactor por lote secuencial o también conocido como Secuencing Batch Reactor (SBR) empacado con



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

tezontle; el inóculo fue el lodo obtenido de la planta de tratamiento de lodos activados Sierra Hermosa, Tecámac, Edo. de México y fue alimentado cada 24 horas con agua residual del lavado de la sección de conejos de la empresa "Alimentos BALTA" ubicada en Temascalapa, México. La concentración de oxígeno fue siempre >2 mg/L (se midió con un medidor digital de oxígeno Smart Sensor). El biorreactor tuvo un volumen útil de 2.8 L y funcionó con ciclos típicos de alimentación (1.8 L de agua residual) cada 24 horas, aeración-reacción, sedimentación (20 minutos) y descarga. La temperatura se mantuvo de 19-24° C y el pH en 7.5. El SBR tuvo buenas eficiencias de remoción de materia orgánica medida como carbono orgánico total (COT) en promedio de 80.92% y la concentración de nitrógeno amoniacal del efluente fue de 0.02 a 0.2 mg/L. El COT y el nitrógeno amoniacal se midió en un analizador Shimadzu TOC-VSN modelo TOC-UVCSN. Después de un mes de funcionamiento del reactor, se sacaron tres tezontles y se enjuagaron tres veces con agua destilada. Posteriormente, se despegaron los protozoarios pedunculados con un pincel de pelo de camello y se colocaron en vasos de precipitado.

2.2 Identificación de protozoarios pedunculados

Una vez que se obtuvo el crecimiento de los protozoarios en los medios de cultivo y en el SBR, se realizó su identificación a partir de técnicas micrográficas y de tinción de acuerdo con Rivas-Castillo *et al.*, (2022). Para lo anterior, se tomaron 25 μ L de cada muestra y se extendieron con una pipeta Pasteur acostada y girandola en círculos en un portaobjetos (previamente lavado con dextrán, enjuagado con ácido nítrico al 10% y enjuagado con agua destilada). Después, se observaron las muestras en zig zag con los objetivos de 20 y 40x en un microscopio Nikon Eclipse Ni-U. Se marcaron con un plumón de punto fino los bordes del portaobjetos donde se encontraba algún protozoario para observar tamaño, forma y movimiento. Posteriormente, para fijar las muestras en el portaobjetos se dejaron secar al aire durante dos horas. Las dos tinciones realizadas a los protozoarios fueron la

MFD (Hematoxilina Delafield y Fijador de Morrison) y FD (Hematoxilina Delafield) (Rivas-Castillo *et al.*, 2022). Ambas técnicas resaltaron características importantes de los protozoarios ciliados pedunculados solitarios y coloniales como los núcleos, pedúnculos, estriaciones y espasmonema.

2.3 Acumulación de metales pesados

Se preparó agua sintética con la mezcla de cuatro metales pesados; cadmio, cobre, hierro y plomo (en forma de sales de sulfato, CdSO_4 , CuSO_4 , FeSO_4 y PbSO_4) en una concentración de 50 mg/L en 150 mL de agua destilada en matraces Erlenmeyer de 200 mL. Es decir, una concentración de 230, 310, 320 y 160 μ M de Cd, Cu, Fe y Pb respectivamente. A todos los matraces se les adicionó una solución de nutrientes cuya composición fue (g/L): 0.5 de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y 0.18 de nitrato de potasio (KNO_3) (Akport *et al.*, 2008). Se probaron dos diferentes fuentes de carbono: D-glucosa anhidro estéril (2.5 g/L) y el hidrolizado (sedimento) de la degradación biológica de plumas de pollo esterilizado en concentración de 2.5 g/L (Pahua-Ramos *et al.*, 2017). La solución de metales se inoculó con un ciliado de vida libre (*Tetrahymena* sp.) en una concentración de 1×10^3 protozoarios/mL o con un consorcio de protozoarios pedunculados (*Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria* y *Epistylis* sp.) en una concentración de 1×10^3 protozoarios/mL. Se realizó una cinética de crecimiento de protozoarios, de tal manera que en la fase exponencial (día 4-10) se tomaron 3 muestras (triplicado) y se realizó el conteo de protozoarios presentes en cada mililitro. Posteriormente se adicionó la cantidad de mililitros necesarios en cada matraz para poder llegar a la cantidad de microorganismos deseada (1×10^3 protozoarios/mL). Se adicionó una mezcla de antibióticos de tetraciclina y estreptomycin (100 μ g/mL) para eliminar infecciones por bacterias y hongos. Los matraces se pusieron en un agitador orbital marca BARNSTEAD International LAB/LINE modelo SHKA200 a 100 rpm, en un lugar oscuro a 19-24 °C. Un matraz con la mezcla de metales y



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

sin inóculo se utilizó como control. Todo el estudio se realizó por triplicado.

2.4 Determinaciones analíticas

En todos los matraces se midió el pH con un potenciómetro HANNA modelo pH211 al inicio y al final de la experimentación. Asimismo, se midió la temperatura durante todo el proceso con un termómetro de mercurio marca Brannan.

Para determinar la concentración de metales pesados en el medio de cultivo, se separó la biomasa (protozoarios) del líquido por centrifugación a 3000 rpm durante 7 min en una centrífuga digital marca HERMLE modelo Z300, el sobrenadante se recogió y se filtró en una membrana de 0.22 μm para eliminar todas las células como lo indica Martín-González *et al.*, (2006). Las muestras se digirieron en una solución de ácido sulfúrico (99%):ácido nítrico (70%) en partes iguales de acuerdo con el método descrito por APHA, AWWA y WCPF (2022). Después de las digestiones, las muestras se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC Scientific Equipment modelo Savant AA. El flujo de gas que se utilizó fue de aire/acetileno y se verificó la sensibilidad del espectrofotómetro con una mezcla comercial de estándares de metales pesados marca SCP Science de 1000 ppm. Las muestras se pasaron por triplicado. El cálculo de la concentración de cada metal pesado en la muestra se realizó de acuerdo con el método descrito por APHA, AWWA y WCPF (2022). El cálculo de la acumulación de metales pesados en las células se determinó por la diferencia entre la concentración inicial de los metales y la concentración final obtenida por medio de absorción atómica como se indica en Martín-González *et al.*, (2006).

2.5 Estadísticos

El diseño experimental empleado fue completamente al azar. Para el crecimiento de protozoarios en los diferentes medios de cultivo (avena, trigo y medio BE) se calculó la densidad de microorganismos, posteriormente se realizó un ANOVA seguido de la prueba de Tukey para distinguir grupos con diferencias significativas;

ambas pruebas estadísticas se realizaron en el programa Real Statistics. Para distinguir grupos con diferencias significativas entre las fuentes de carbono y la acumulación de metales pesados se calculó la diferencia entre la concentración inicial y final, posteriormente se realizaron los mismos análisis estadísticos (ANOVA y Tukey), pero en esta ocasión se desarrolló en el programa R.

3. Resultados y discusión

3.1 Aislamiento y crecimiento de protozoarios

Ciliados de vida libre. Los protozoarios ciliados de vida libre crecieron en todos los medios de cultivo (avena, trigo y BE) (Figura 1) y la especie predominante fue *Thetrahymena* sp. (Figura 2); este protozoario se caracteriza por ser un ciliado eucariota unicelular (Nusblat *et al.*, 2017), tiene cuerpo piriforme con una pequeña abertura oral situada en el tercio anterior de la célula. Su tamaño es de 25-90 μm , tiene una vacuola pulsátil en el extremo posterior y un macronúcleo esférico (Isac, 2008). En todos los medios de cultivo, la etapa de adaptación estuvo comprendida entre los primeros siete días, posteriormente se dió una etapa de crecimiento con una densidad máxima de 3.25×10^4 , 2.910×10^4 y 1.46×10^4 protozoarios/100mL en medio trigo, avena y BE respectivamente; valores similares a los obtenidos por Marín (2017), cuyas densidades estuvieron comprendidas en un intervalo de 1.98×10^3 a 2.60×10^4 células /100 mL en una infusión de hojuelas de avena triturradas, granos de trigo y arroz cocido.

El análisis de varianza (Tabla1) indicó que hubo diferencia significativa del 1% al evaluar el crecimiento de los protozoarios con los diferentes medios de cultivo. La prueba de Tukey indicó que no hubo diferencia significativa en el crecimiento de los protozoarios en medio de avena o trigo, pero si hubo diferencia significativa al comparar cada medio de cultivo con el testigo.

La estrategia con medio de cultivo de trigo, presencia de luz, agitación manual tres veces al día y recambio del 80% de medio de cultivo por nuevo, de 3 a 4 días permitió los mejores



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

resultados del crecimiento de protozoarios de aguas residuales con respecto a la supervivencia y número de organismos. El medio trigo fue estratégico, ya que se menciona que para los protozoos bacterívoros, la forma más sencilla de enriquecer una muestra es agregar granos hervidos de cebada, trigo o arroz, que promueven el crecimiento de bacterias y, por lo tanto, producen una fuente de alimento para éstos microorganismos (Warren y Esteban, 2019).

Tetrahymena sp. con frecuencia se alimenta de los restos de organismos microscópicos como bacterias, que crecen en medio de trigo debido a sus alto contenido de nutrientes tales como, minerales (fósforo, zinc, selenio, potasio, hierro) y bajo contenido de sodio o sales minerales: elementos catalíticos, calcio, magnesio, sodio, potasio, cloro, azufre, silicio, zinc, manganeso, cobalto, cobre, yodo, arsénico, vitaminas A, B, E, K, D, PP y fermentos, del mismo modo, la humedad que guarda el medio es un factor que favorece la proliferación para dichos microorganismos (Hernández et al., 2002).

Los resultados reportados por Jacobsen (1988), indican que *Tetrahymena* sp. es capaz de aprovechar una variedad de fuentes de fosfato para su crecimiento y multiplicación, permitiendo el crecimiento del protozoario a un ritmo de más de 6 generaciones en 18 horas. En el medio BE del presente estudio, la fuente de fósforo que

aprovechó esta especie fue el fosfato monopotásico, mientras que en el estudio realizado por Jacobsen se utilizó fosfato dibásico hidratado. En el experimento de Jacobsen, para el día 5 y a pH constante de 7.5, *Tetrahymena* sp. había alcanzado una duplicación en su crecimiento, lo que coincide con el crecimiento obtenido en medio BE, pues a pH de neutro, para el día 5 el crecimiento fue aproximadamente 1×10^4 protozoarios/L.

Ciliados pedunculados. Las técnicas micrográficas y de tinción (Figura 3) permitieron identificar a tres ciliados pedunculados *Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria* y *Epistylis entzii*.

Isac et al. (2008) menciona que los protozoarios indican parámetros de calidad de acuerdo con su abundancia en el sistema; en el caso del reactor SBR indicaron la buena calidad del agua pues la abundancia de *Vorticella* sp. se asocia con buenas condiciones de aireación y un adecuado funcionamiento en el reactor. Los protozoarios ciliados sésiles identificados como *Epistylis* sp. indican excelente calidad del efluente depurado y buen rendimiento en la depuración (a bajas descargas másicas, altos tiempos de retención celular, óptima oxigenación y nitrificación en el sistema) respectivamente.

Tabla 1. Crecimiento de protozoarios en tres medios de cultivo

Medio de cultivo	Crecimiento de <i>Tetrahymena</i> sp. $\times 10^3/100\text{mL}$)
Testigo	0 ^a
Avena	29.10 ^c
Trigo	31.55 ^c
BE	16.80 ^b



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

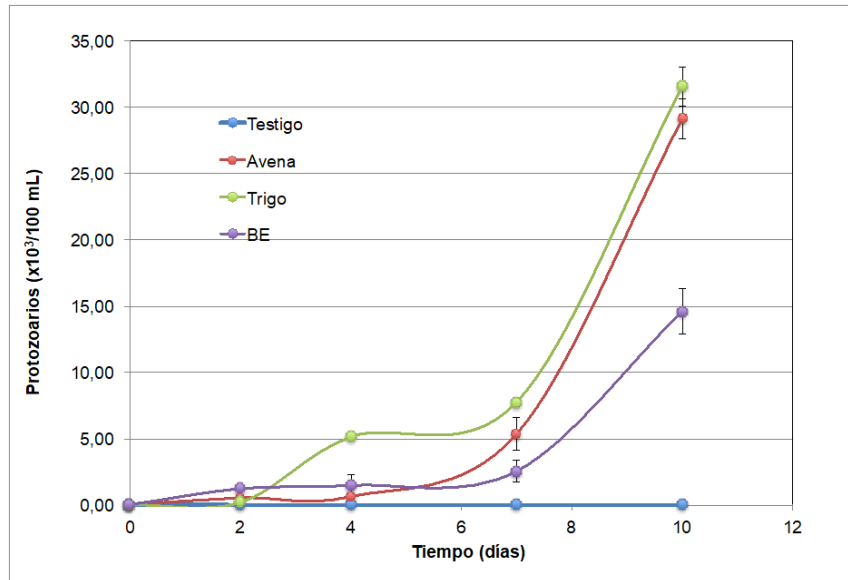


Figura 1. Crecimiento de *Tetrahymena* sp. en avena, trigo y medio BE.

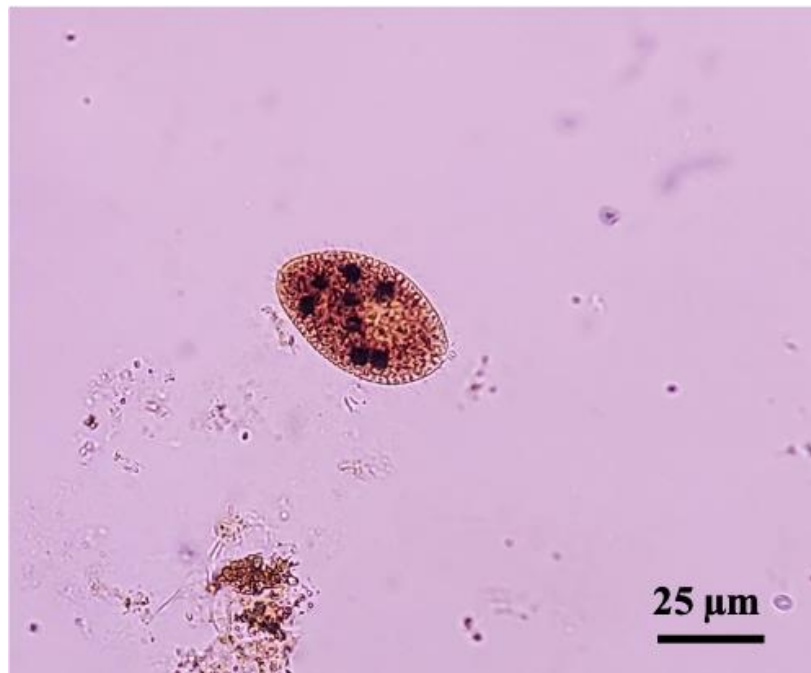


Figura 2. *Tetrahymena* sp. con Lugol al 0.05 %. Microscopía óptica a 20x.



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

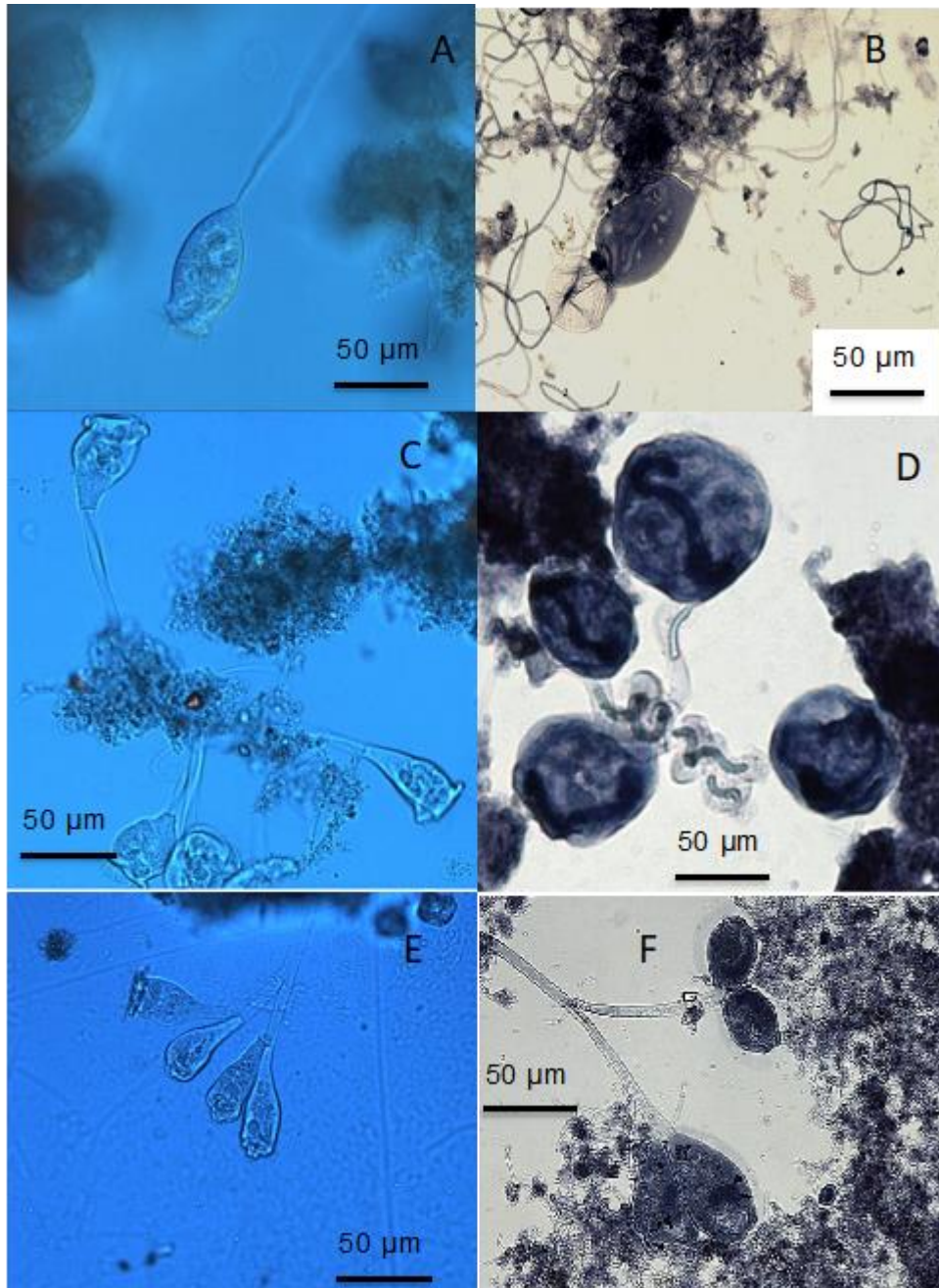


Figura 3. A) *Vorticella alpestris* *in vivo* (peritrico solitario) en técnica de Nomarski. B) *Vorticella alpestris* con tinción FMD (núcleo en forma de "J"). C) pseudocolonia de *Vorticella convallaria* (peritrico solitario) *in vivo* en técnica de Nomarski. D) pseudocolonia de *Vorticella convallaria* con tinción FD (núcleo en forma de "C"). E) *Epistylis* sp. *in vivo* (peritrico colonial) con técnica de Nomarski. F) *Epistylis entzii* con tinción con FD (núcleo en forma de "C").



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

3.2 Acumulación de metales pesados

El análisis de varianza indicó que hubo diferencia significativa en la acumulación de metales pesados tanto para *Tetrahymena* sp. como para el consorcio de protozoarios (*Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria* y *Epistylis entzii*) al comparar las diferentes fuentes de carbono en presencia de los diferentes metales. Sin embargo, en el caso de *Tetrahymena* sp., la prueba de Tukey reveló que únicamente hubo diferencia significativa en dos casos, al comparar el testigo con cobre y glucosa y plomo con glucosa. La máxima acumulación de metal por el protozoario *Tetrahymena* sp. fue en presencia de cobre con glucosa, plomo con glucosa, cadmio con hidrolizado y hierro con hidrolizado (Figura 4) y los máximos porcentajes de acumulación estuvieron comprendidos entre 7.15 ± 3.87 y 6.84 ± 2.50 .

En el caso del consorcio de protozoarios pedunculados (*Vorticella alpestris*, *Vorticella convallaria* y *Epistylis entzii*), la prueba de Tukey

mostró que hay diferencia significativa al comparar el testigo con todas las condiciones de metales pesados y las dos diferentes fuentes de carbono, excepto en el caso de hierro con hidrolizado. Se destacan tres grupos, a saber, un primer grupo etiquetado con la letra a que contiene al testigo con ambas fuentes de carbono y la combinación hierro e hidrolizado; un segundo grupo etiquetado con la letra b que contiene las combinaciones glucosa con hierro y plomo; por último, el grupo c con las combinaciones cadmio y glucosa, cobre y glucosa, cadmio e hidrolizado, cobre e hidrolizado y plomo e hidrolizado. La máxima cantidad de metal acumulado por el consorcio de protozoarios fue en presencia de cadmio con hidrolizado de la degradación de plumas de pollo como fuente de carbono (Figura 5). En el caso del consorcio con glucosa como fuente de carbono, el máximo porcentaje de acumulación fue de 36.05 ± 0.58 y con hidrolizado fue de 48.25 ± 3.66 .

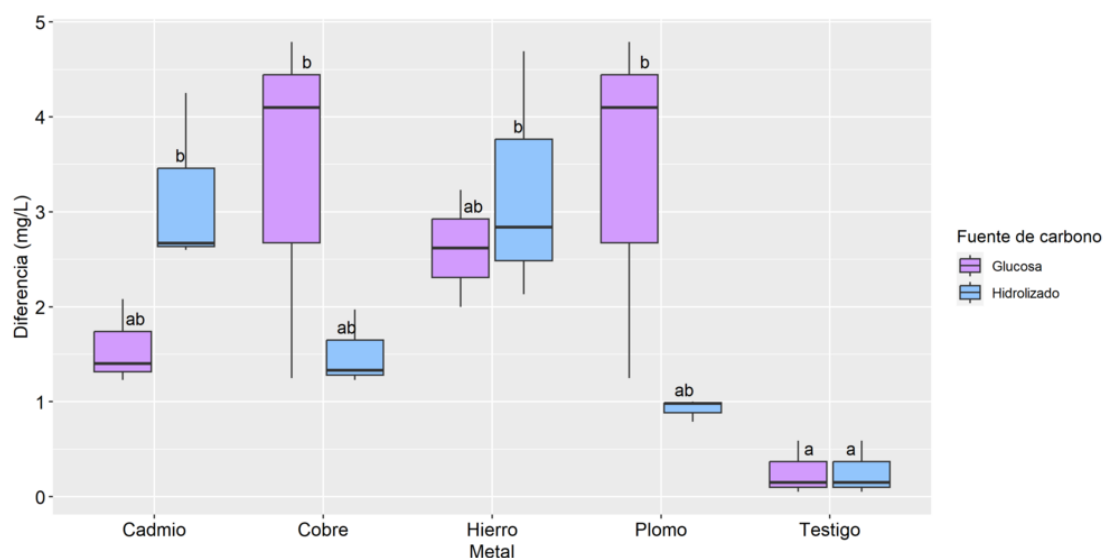


Figura 4. Acumulación de diferentes metales pesados por *Tetrahymena* sp. en presencia de glucosa e hidrolizado como fuente de carbono. Los valores de las letras a y b indican diferencias significativas entre los valores de los promedios, con intervalos de confianza del 99%, de acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación múltiple (Tukey).



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

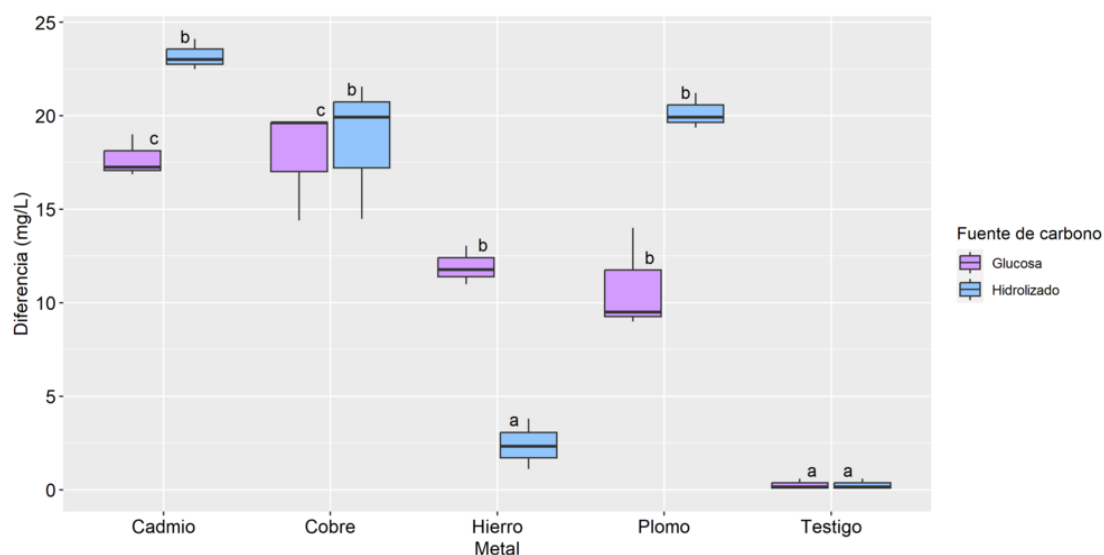


Figura 5. Acumulación de diferentes metales pesados por el consorcio en presencia de glucosa e hidrolizado como fuente de carbono. Los valores de las letras a, b y c indican diferencias significativas entre los valores de los promedios, con intervalos de confianza del 99%, de acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de comparación múltiple (Tukey).

Se ha observado que los patrones generales de toxicidad obtenidos para los protozoos ciliados como *Euplotes* sp. y *Oxytricha* sp. fueron $Cr^{3+} > Cd^{2+} > Pb^{2+} > Cr^{6+} > Ni^{2+}$ y los de *Coleps* sp. y *Chilodonella* sp. fueron $Cr^{6+} > Cr^{3+} > Cd^{2+} > Pb^{2+} > Ni^{2+}$ (Castro y Marín 2022), resultados similares en el presente trabajo, ya que *Tetrahymena* acumuló más cadmio que plomo. Los autores García-García et al. (2016) mencionan que esto se debe probablemente a varios tipos de adaptación de los protozoos, posiblemente inducida por diversas fuentes, niveles e incidentes de exposición a fuerte contaminación y a las condiciones fisicoquímicas prevaletes. Se ha observado una variedad de diferentes mecanismos desarrollados principalmente en bacterias, protistas y microalgas para acumular metales pesados, siendo los más relevantes aquellos que involucran la biosíntesis de fitoquelatinas y metalotioneínas; metabolismo de fosfato/polifosfato; compartimentación de complejos de metales pesados en vacuolas, cloroplastos y mitocondrias; y secreción de malato y otros ácidos orgánicos, incluso algunos autores mencionan que los miembros de los

géneros *Acanthamoeba* y *Dictyostelium* utilizan metales como zinc (Zn) y cobre (Cu), y posiblemente metaloides, para matar a sus presas bacterianas después de la fagocitosis (Yanshuang et al., 2023). También, se ha reportado que el principal mecanismo de defensa de protozoarios ciliados contra los metales pesados como el Cd, Cu y Zn es la producción de metalotioneínas (Díaz et al., 2006). Las metalotioneínas constituyen una superfamilia de proteínas, ricas en cisteína capaces de unir metales a su estructura (Juárez-Rebollar et al., 2014). En el caso de *Tetrahymena* spp. se menciona que tienen algunas proteínas metalotioneínas que son las encargadas de neutralizar el efecto de los metales pesados Cd, Cu y Zn (Maurya y Pandey, 2020). Otros autores como Wang et al. (2023) mencionan que *Tetrahymena* sp. puede responder a las señales de cadmio y desintoxicarse expresando proteínas como la MT, GPX y GSH.

En un estudio realizado por Tyagi et al. (2012) acerca de la toxicidad por metales, de las 12 especies que identificaron en las aguas



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

residuales, solo los géneros *Vorticella* sp. y *Epistylis* sp. exhibieron la mayor tolerancia contra la toxicidad de metales pesados, además de que mostraron la mayor afinidad de adsorción de metales por Cu, seguido de Zn, Pb, Ni y Cd.

4. Conclusiones

La investigación revela un significativo avance en el entendimiento de *Tetrahymena* sp. y el consorcio de protozoarios como acumuladores de metales pesados. Con resultados notables, donde tres protozoarios del consorcio demostraron una gran capacidad, acumulando el 48.5% de Cadmio. Este estudio es importante porque es un terreno poco explorado, ya que la mayoría de las investigaciones se centran en bacterias acumuladoras de metales pesados y no en protozoarios. La presencia de glucosa y el hidrolizado de plumas de pollo contribuye en la comprensión de estos como fuentes de carbono útiles en el proceso de acumulación de metales, destacando su potencial aplicabilidad en el campo medioambiental y de remediación.

5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo técnico del IBT. Cesar Gerardo Rivas Valladares por las determinaciones del crecimiento de los protozoarios ciliados de vida libre y el apoyo de la empresa "Alimentos BALTA" por proporcionarnos los materiales para la construcción del Sequencing Batch Reactor y por las facilidades para la toma de muestras del agua residual del lavado del Departamento de conejos. Se agradece el apoyo técnico de la IBT. Rocío Margarita Ahuatzí Rodríguez por su apoyo en la identificación de *Tetrahymena* sp.

6. Referencias

1. Akport OB, Momba NBM, Okkonkwo JO. The effects of pH and temperature on phosphate and nitrate uptake by wastewater protozoa. Afr. J. Biotechnol. 2008; 7(13): 2221-2226. <http://www.academicjournals.org/AJB>
2. American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. 2022. Standard methods for the examination of water and wastewater. 24th Edition. American Public Health Association. Washington D.C, US. <https://doi.org/10.2105/AJPH.51.6.940-a>
3. Bundschuh, M., Filser, J., Lüderwald, S., McKee, M., Metreveli, G., Schaumann, G., Schulz, R., Wagner, E. (2018). Nanopartículas en el medio ambiente: ¿de dónde venimos, hacia dónde vamos?. Environmental Sciences Europe. 30(6):1-17. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0132-6>
4. Brutti L., Beltrán M. y García de Salamone (2018) Biorremediación de los recursos naturales. Ed. 1ª. Ediciones INTA Instituto de Suelos, Centro de Investigación de Recursos Naturales Hurlingham, Buenos Aires, Argentina. pp. 68-78, 386-389.
5. Castro, E. F. L. & Marín, L. J. C. (2022). Ecotoxicological effect of heavy metals in free-living ciliate protozoa of Lake Maracaibo, Venezuela. Journal of water and development. 101-116. <https://www.researchgate.net/publication/357888561>
6. Chiellini C, Guglielminetti L, Pistelli L, Ciurli A. Screening of trace metal elements for pollution tolerance of freshwater and marine microalgal strains: Overview and perspectives. Algal Res. 2020; 45: 101-751. <http://doi:10.1016/j.algal.2019.101751>
7. Covarrubias A, Peña CJ. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. Rev. Int. de Contam. 2017; 33(1): 7-21. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.esp01.01>
8. Delgadillo- López AE, González-Ramírez CA, Prieto-García F, Villagómez-Ibarra JR, Acevedo-Sandoval O. Fitorremediación: una alternativa



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

- para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2011; 14: 597-612.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
9. Díaz, S., Martín-González, A., & Carlos Gutiérrez, J. (2006). Evaluation of heavy metal acute toxicity and bioaccumulation in soil ciliated protozoa. *Environment International*. 32(6):711–717.
<http://doi.10.1016/j.envint.2006.03.004>
 10. Fried J., Ludwig W., Psenner R. and Schleifer K. H. (2002). Improvement of Ciliate Identification and Quantification: a New Protocol for Fluorescence In Situ Hybridization (FISH) in Combination with Silver Stain Techniques. *System. Applied Microbiology*. 25:555-571.
<http://www.urbanfischer.de/journals/sam>
 11. García-García J. D., Sánchez-Thomas R., Moreno-Sánchez R. (2016). Bio-recovery of non-essential heavy metals by intra- and extracellular mechanisms in free-living microorganisms. *Biotechnology Advances* 34:859–873.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.05.003>
 12. Hernández, A., Plana, R., Martín, G y Santander, J. (2002) Estudio de algunos géneros microbianos asociados a diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el suelo ferralítico rojo” en Cultivos tropicales. 23 2):15-20.
<https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218114003.pdf>
 13. Isac L., Rodriguez E., Salas L., Fernández N. (2008). Atlas of protists and metazoans present in activated sludge. Presentado en: Jornada Internacional de Tratamiento y Reutilización en Aguas Residuales. Grupo Bioindicación Sevilla. Sevilla, España. pp. 176.
<https://www.researchgate.net/publication/234842687> Atlas de protistas y metazoos presentes en fangos activos
 14. Jacobsen de Florín, M.O. (1988) Exoenzimas en *Tetrahymena*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores, Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires. Argentina. pp. 85.
https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n2511_JacobsendeFlorinChristensen.pdf
 15. Juárez-Rebollar, Méndez-Armenta, M. (2014). Aspectos funcionales de la metalotioneina en el sistema nervioso central. *Archivos de neurociencias*. 19(1):34-41.
<https://doi.org/10.31157/an.v19i1.28>
 16. Kamika I. and Momba M. NB. (2013). Assessing the resistance and bioremediation ability of selected bacterial and protozoan species to heavy metals in metal-rich industrial wastewater. *BMC Microbiology*. 13(28):1-14.
<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/13/28>
 17. Kamika, I., & Momba, M. N. B. (2015). Effect of nickel on nutrient removal by selected indigenous protozoan species in wastewater systems. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 22(2):147–156.
<https://doi:10.1016/j.sjbs.2014.09.010>
 18. Khatiwada, B., Hasan, M., Sun, A., Kamath, K., Mirzaei, M., Sunna, A. y Nevalainen, H. (2020). Proteomic response of *Euglena gracilis* to heavy metal exposure—Identification of key proteins involved in heavy metal tolerance and accumulation. *Algal Research* 45:.
<https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101764>
 19. Kumar S., Stecher G., Tamura K. (2016). MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Molecular Biology Evolution*. 33(7):1870-1874. Liu, C., Qu, G., Cao, M., Liang, Y., Hu, L., Shi, J., ... Jiang, G. (2017). Distinct toxicological



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

- characteristics and mechanisms of Hg 2+ and MeHg in *Tetrahymena* under low concentration exposure. *Aquatic Toxicology*, 193, 152–159. <http://doi:10.1016/j.aquatox.2017.10.01410.1016/j.aquatox.2017.10.014>
20. Liu, C., Qu, G., Cao, M., Liang, Y., Hu, L., Shi, J., Cai, J. and Jiang, G. (2017). Distinct toxicological characteristics and mechanisms of Hg 2+ and MeHg in *Tetrahymena* under low concentration exposure. *Aquatic Toxicology*, 193, 152–159. <http://doi:10.1016/j.aquatox.2017.10.01410.1016/j.aquatox.2017.10.014>
21. Martín-González, A., Díaz, S., Borniquel, S., Gallego, A., Gutiérrez, J.C. (2006) Cytotoxicity and bioaccumulation of heavy metals by ciliated protozoa isolated from urban wastewater treatment plants. *Research in Microbiolog.* 157(72). <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2005.06.005>
22. Maurya, R., & Pandey, A. K. (2020). Importance of protozoa *Tetrahymena* in toxicological studies: A review. *Science of The Total Environment*, 741, 140058. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140058>
23. Marín, J. C., Rincón, N., Diaz-Borrego, L., Morales, E. (2017). Cultivo de protozoarios ciliados de vida libre a partir de muestras de agua del Lago de Maracaibo. *Impacto Científico*. 12(1):157-170. <https://biblat.unam.mx/hevila/Impactocientifico/2017/vol12/no1/11.pdf>
24. Mojiri, A. (2011). The Potential of Corn (*Zea mays*) for Phytoremediation of Soil. Contaminated with Cadmium and Lead. *Journal of Biology Environmental Science*. 5(13):17-22. <https://uludag.edu.tr/dosyalar/jbes/13/mak04.pdf>
25. Moreno, T., R., Téllez, J., Monroy, M. G. (2012). Influencia de los minerales de los jales en la bioaccesibilidad de arsénico, plomo, zinc y cadmio en el Distrito Minero Zimapán, México. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*. 28(3): 203-218. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300003
26. Mortimer M., Kasemets K., Khru A. (2010). Toxicity of ZnO and CuO nanoparticles to ciliated protozoa *Tetrahymena thermophile*. *Toxicology*. 269:182–189. <http://doi:10.1016/j.tox.2009.07.007>
27. Mosquera E., Rosas N., Debut A., Guerrero V.H. (2015). Síntesis y aracterización de nanopartículas de dióxido de titanio obtenidas por el método de Sol-Gel. 36(3):1-7. https://www.researchgate.net/publication/283266714_Sintesis_y_Caracterizacion_de_Nano_particulas_de_Dioxido_de_Titanio_Obtenidas_por_el_Metodo_de_Sol-Gel
28. Munive. C. R., Gamarra S. G., Munive Y. Y., Puertas, R. F., Valdiviezo G. L., Cabello T. R. (2020). Lead and cadmium uptake by sunflower from co., Lorgio ntaminated soil and remediated with organic amendments in the form of compost and vermicompost. *Scientia Agropecuaria*. 11(2): 177–186. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
29. Nublant A. D., Sánchez G. M. L., MONTES M. G., Cid N. C., Nudel C. B. (2017). *Revista Farmacéutica*. 159(2):16-31. <https://www.anfyb.com.ar/wp-content/uploads/2016/07/REVISTA-159-2-2017-Internet.pdf>
30. Orijí O. U., Awoke J. N., Aja P. M., Alope C., Obasi O. D., Alum E. U., Udum-Ibiam O. E. (2021). Halotolerant and metalotolerant bacteria strains with heavy metals bioremediation possibilities isolated from Uburu Salt Lake, Southeastern, Nigeri. *Heliyon*. 7(e07512):1-8.



Artículo de investigación

Baltazar-Quezada et al., 2024

- <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07512>
31. Pahuá-Ramos M. E., Hernández-Melchor D. J., Camacho-Pérez B., (2017). Galicia-García P.R., Cerón-Montes G. I. Degradation of chicken feathers by co-culture of *Alcaligenes* and *Brevundimonas*. *BioTechnology: An Indian Journal*. 3(6):1-11. <http://www.tsijournals.com/journals/archive/t/sbt-volume-13-issue-6-year-2017.html>
 32. Rivas-Castillo A. M., García-Barrera A. A., Garrido-Hernández A., Martínez-Valdez F. J., Cruz-Romero M. S. y Quezada-Cruz. (2022). Peritrichous Protozoa in a Tezontle-Packed Sequencing Batch Reactor as Potential Indicators of Water Quality. *Polish Journal of Microbiology*. 71(4): 539-551. <https://doi.org/10.33073/pjm-2022-049>
 33. Rodríguez H. MsC. D. (2017). Occupational poisoning due to heavy metals. *MEDISAN*. 21(12):3372. [https://www.researchgate.net/publication/331013618 Occupational poisoning due to heavy metals](https://www.researchgate.net/publication/331013618_Occupational_poisoning_due_to_heavy_metals)
 34. Tyagi, V., Bhatia, A., Gaur, R., Ali, M., Khan, A., Khursheed, A., y Kazmi, A. (2012). Effects of multi-metal toxicity on the performance of sewage treatment system during the festival of colors (Holi) in India. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184(12):7517-29. <https://pesquisa.bvsalud.org/gim/resource/en/mdl-22270594>
 35. Yanshuang, Y., Yuan-Ping, L., Kexin, R., Xiuli, H., Chi Fru, E., Rønn, R., Rivera, W., Becker, K., Feng, R., Yang, J., Rensing, C. (2023). A brief history of metal recruitment in protozoan predation. *Trends in Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2023.11.008>
 36. Wang, R., Zhu, Z., Cheng, W., Chang, C., Song, X., & Huang, F. (2023). Cadmium accumulation and isotope fractionation in typical protozoa tetrahymena: A New Perspective on Remediation of Cd Pollution in Wastewater. *Journal of Hazardous Materials*. 454(131517):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131517>
 37. Warren, A., & Esteban, G. F. (2019). Protozoa. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Fourth Edition. Elsevier Inc. 9–42. <http://doi.org/10.1016/b978-0-12-385024-9.00002-2>
 38. Wei Y., Zhao Y., Zhao S., Gao X., Zhengb Y., Zuob H., Weia Z. (2019). Roles of different humin and heavy-metal resistant bacteria from composting on heavy metal removal. *Bioresource Technology*. 1-36. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122375>
 39. Zou X.-Y., Xu B., Chang-Ping Y., Zhang H.-W. (2013). Combined toxicity of ferroferric oxide nanoparticles and arsenic to the ciliated protozoa Tetrahymena Pyriformis. *Aquatic Toxicology*. 134-135:66–73. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.03.006>



Artículo de Revisión

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.1.3543>

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

Recibido: 04-02-2024

Revisado: 19-02-2024

Aceptado: 14-03-2024

Publicado: 05-05-2024

El control biológico como alternativa para una agricultura sustentable en un entorno amenazado por el cambio climático

Biological control as an alternative for sustainable agriculture in an environment threatened by climate change

G. Chávez-Escalante¹ y F. Méndez-González^{2*}

¹ Universidad Tecnológica de Tecámac. División Electromecánica Industrial, Tecámac, Estado de México, C. P. 55740, México.

² Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Coordinación Delicias, C.P. 33089, Chihuahua, México.

* Corresponding author: mg.fernandomendez@gmail.com; fernando.mendez@ciad.mx

Resumen

El cambio climático es un fenómeno natural que contribuye a la aparición y proliferación de plagas y enfermedades dañinas para la agricultura. Estas plagas se han combatido con sustancias químicas que son potencialmente dañinas para el medio ambiente y para la salud humana. Por lo que, se han generado diversas alternativas, entre ellas, se encuentra el control biológico; el cual, utiliza enemigos naturales de las plagas para su supresión. La efectividad de los organismos usados como agentes de control biológico generó un creciente mercado de consumo. No obstante, aún se requiere diseñar procesos industriales que permitan la producción de bioplaguicidas con la calidad necesaria para su aplicación en campo.

Palabras clave: Cambio climático, plaguicidas, impacto ambiental, bioinsecticidas, control biológico.

Abstract

Climate change is a natural phenomenon contributing to the appearance and proliferation of pests and diseases harmful to agriculture. These pests have been combated with chemicals potentially damaging the environment and human health. Therefore, various alternatives have been generated; among them is biological control, which uses natural enemies of pests to suppress them. The effectiveness of organisms used as biological control agents generated a growing consumer market. However, it is still necessary to design industrial processes that allow the production of biopesticides with the quality needed for their application in the field.



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

Keywords: Climate change, pesticides, environmental impact, bioinsecticides, biological control.

1. Introducción

El sector agropecuario ha sufrido cambios y adaptaciones a lo largo de los años, entre ellos se engloban los ocasionados por las variaciones climáticas, fertilidad de la tierra y demandas de la sociedad. Las variaciones climáticas representan una problemática difícil de controlar, estas son ocasionadas por diversos factores que alteran la composición de la atmósfera y pueden ser relacionados de forma directa o indirecta con la actividad humana (Lewandowski et al., 2018). Entre los efectos del cambio climático se encuentran el incremento en la temperatura, reducción de la precipitación y mayor frecuencia de eventos extremos (Goula et al., 2006; Timité et al., 2022); lo cual, perjudica el desarrollo de los cultivos y provoca la proliferación de plagas endémicas (Kreß et al., 2014) y la aparición de plagas exóticas. La aparición y proliferación de plagas exóticas, se debe a que la modificación en la temperatura (calentamiento global) provoca estrés en los ecosistemas (Dudgeon et al., 2006; O. E. Sala et al., 2000) y una subsecuente modificación en la distribución de especies (Dudgeon et al., 2006; Durance & Ormerod, 2007). Algunas de estas especies son insectos, de los cuales, se han identificado algunas especies potencialmente dañinas para los cultivos. Regularmente, estas especies son tratadas con sustancias químicas que presentan diversos efectos dañinos. Por lo que, en este manuscrito se describirá el efecto del cambio climático sobre la aparición y la proliferación de insectos plaga, los efectos del uso de plaguicidas para el combate de estas plagas sobre los ecosistemas y, finalmente, se fundamentará como el uso de estrategias de control biológico pueden contribuir a una agricultura sustentable y los retos actuales para su implementación.

2. Efecto del cambio climático sobre las plagas agrícolas

Se ha reportado que la modificación en la temperatura tiene un impacto alto en la dinámica de las poblaciones de plagas, debido a que acorta los tiempos de generación, incrementa la temporada de actividad, el rango de extensión geográfica y, en caso de los insectos, incrementa la posibilidad de una hibernación exitosa (Alto & Juliano, 2001; Porter et al., 1991). Estas plagas beneficiadas por el cambio de temperatura ambiental pueden ocasionar pérdidas totales o parciales de la producción agrícola, afectando a la dinámica de conversión del carbono (Kurz et al., 2008; Kurz & Apps, 1999) y potencializando la acumulación de gases de invernadero (Raymond et al., 2015). Para combatir las plagas se han utilizado sustancias químicas (plaguicidas) que provocan efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

3. Efecto del uso de plaguicidas químicos

Entre las sustancias químicas más utilizadas para el combate de plagas se encuentran: el deltamethrin, permethrin, λ -cyhalothrin, DDT, lindano, toxafeno, dieldrin y malathion (Angelini et al., 2007; Basilua Kanza et al., 2013). Estas sustancias son plaguicidas de amplio espectro, por lo que, afectan tanto a la población de plagas como a especies benéficas (entomófagos, polinizadores, entre otros) (Carrieri et al., 2003; Lawler et al., 2007). Además, transportándose por vía difusiva (Bundschuh et al., 2014) son capaces de contaminar mantos acuíferos (Schulz, 2004) y suelo, presentando un efecto intrínseco negativo sobre los ecosistemas (Matthiessen et al., 1995) y ocasionando un desequilibrio ecológico. Además, este tipo de compuestos y sus productos de degradación son tóxicos (Bundschuh et al., 2014), capaces de persistir



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

activos por años y afectar a la salud humana (Gutiérrez-Ramírez et al., 2013). Los efectos negativos de estos compuestos se potencializan por el desconocimiento técnico de las aplicaciones, frecuencia de aplicación y manejo de grupos toxicológicos y químicos. Además, los efectos de insecticidas químicos pueden incrementarse por el calentamiento global, debido a que existe una interacción entre la temperatura y la toxicidad (Heugens et al., 2001). Para la mayoría de los insecticidas el factor de toxicidad se incrementa 4.06 cuando la temperatura aumenta 10 °C; sin embargo, la toxicidad de los organofosfatos puede aumentar en un mayor rango en función de la temperatura (Dietrich et al., 2014). La contaminación química producida por este tipo de plaguicidas y el estrés térmico contribuyen a la susceptibilidad a enfermedades en especies no diana (Dietrich et al., 2014) y pueden contribuir a la extinción de especies en peligro. Por lo que, los insecticidas químicos han ocasionado preocupación a nivel mundial y se les reconoce como un peligro latente para el medio ambiente y la salud humana y, en consecuencia, se ha tratado de disminuir su uso. Con este fin, han surgido varios modelos con un enfoque sustentable (Castillo-Minjarez, 2022). Dentro de estos modelos, se han ideado estrategias orientadas hacia el manejo integral de plagas (MIP), donde se llevan a cabo diversas acciones de carácter sustentable, no dañinas para el medio ambiente y que no representen una amenaza para la salud humana. Una de las alternativas que ofrece el MIP es el control biológico; el cual, por sus resultados, ha generado interés alrededor del mundo.

4. El control biológico como una alternativa sustentable

El uso de agentes de control biológico (ACB) de plagas ha cobrado impulso debido a su gran efectividad y bajo riesgo de afectaciones ambientales o de salud (Auld & Morin, 1995; Henry et al., 2012; Méndez-González et al., 2022). Estos organismos pueden ser parasitoides, depredadores o patógenos (Tabla 1) y presentan

diferentes mecanismos de acción (Tamayo-Mejía et al., 2020).

Los parasitoides se desarrollan sobre o dentro del hospedero, alimentándose de él hasta que perece (Bernal & España-Luna, 2020). Los depredadores son organismos que se alimentan de las plagas, algunos atacan a más de una variedad de presa. Los patógenos son entidades que ocasionan enfermedades en el huésped que pueden causar la muerte. Entre los patógenos, los nemátodos se caracterizan por buscar de forma activa a su huésped (Badii & Abreu, 2006). En el caso de hongos, bacterias, protozoarios y virus el mecanismo de infección comienza con la ingesta. No obstante, los hongos patógenos también tienen la capacidad de adherirse al huésped para comenzar el proceso de infección (Jeffs & Khachatourians, 1997; Kamp & Bidochka, 2002).

La gran efectividad de los ACB ha generado un creciente mercado internacional que asciende a más de 1.8 mil millones de dólares anuales (Muñiz-Paredes et al., 2017). Sin embargo, el control biológico presenta ciertas limitantes, entre ellas, se encuentran las asociadas a los procesos de producción, almacenamiento y aplicación; las cuales, tienen la capacidad de afectar la efectividad del producto y la rentabilidad comercial.

5. Retos para la producción y aplicación de agentes de control biológico

Organismos como parásitos y depredadores, por su naturaleza son complicados de producir en grandes escalas. Sin embargo, esa no es una característica de los patógenos (hongos, bacterias y virus); los cuales, representan la mayoría de los ACB producidos, comercializados y aplicados en el mundo. No obstante, muchos de los procesos de producción de ACB patógenos, carecen de monitoreo y control de proceso (Méndez-González, Loera, et al., 2018); por lo que, en algunos casos, los productos



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

finales carecen de estándares de calidad (Jenkins & Grzywacz, 2000). La variación en producción y calidad de los bioplaguicidas limita su exitosa comercialización (Méndez-González et al., 2022), ya que, puede generar la percepción de que los ACB son pobres en eficacia y de calidad cuestionable. Para solucionar esta limitante se deben desarrollar e implementar procesos de producción para la producción controlada de bioplaguicidas a nivel industrial. Estos nuevos

procesos deben de considerar tres aspectos: 1) el mantenimiento de la línea celular, 2) el monitorio y control de las condiciones de cultivo y 3) la calidad del producto final (Tabla 2). Además, en el producto final, se deben especificar las características y los procedimientos de aplicación y almacenaje, garantizando la efectividad de uso.

Tabla 1. Organismos utilizados en el control biológico.

Clase de agente de control biológico	Tipo de organismos	Organismos
Parasitoide	Koinobiontes e idiobiontes	Familias e insectos como: <i>Trichogrammatidae</i> , <i>Tachinidae</i> , <i>Phoridae</i> , <i>Cryptochetidae</i> , <i>Cecidomyiidae</i> , <i>Acroceridae</i> , <i>Nemestrinidae</i> , <i>Bombyliidae</i> , <i>Phoridae</i> , <i>Pipunculidae</i> , <i>Conopidae</i> , <i>Pyrgotidae</i> , <i>Sciomyzidae</i> , <i>Cryptochetidae</i> , <i>Calliphoridae</i> , <i>Sarcophagidae</i> , <i>Diaeretiella</i> , <i>Cotesia flavipes</i> y <i>Spalangia</i> spp (Bernal & España-Luna, 2020; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013; van Driesche et al., 2008)
Depredadores	Insectos polífagos y monófagos	Familias de insectos como: <i>Anthocoridae</i> , <i>Nabidae</i> , <i>Reduviidae</i> , <i>Geocoridae</i> , <i>Carabidae</i> , <i>Coccinellidae</i> , <i>Nitidulidae</i> , <i>Sraphylinidae</i> , <i>Chrysopidae</i> , <i>Formicidae</i> , <i>Cecidomyiidae</i> y <i>Syrphidae</i> (van Driesche et al., 2008)
Patógenos	Virus	Virus de la poliedrosis nuclear (<i>Baculoviridae</i> y <i>Reoviridae</i>) y virus de la granulosis (<i>Poxviridae</i>) (Badii & Abreu, 2006; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)
	Bacterias	<i>Bacillus popilliae</i> , <i>Bacillus Sphericus</i> y <i>Bacillus thuringiensis</i> (Badii & Abreu, 2006; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)
	Hongos	Hyphomycetes (<i>Beauveria</i> , <i>Metarhizium</i> , <i>Verticillium</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Cordyceps</i> y <i>Penicillium</i>) Zigomicetes (<i>Entomophthora</i> , <i>Erynia</i> y <i>Entomophaga</i> y <i>Oomycetes</i> (<i>Phytium</i> y <i>Tarichum</i>) (Badii & Abreu, 2006; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013; Méndez-González, Loera-Corral, et al., 2018; A. Sala et al., 2019; Sun et al., 2002)
	Nemátodos	Familias de nematodos como: <i>Mermithidae</i> , <i>Steinernematidae</i> y <i>Heterorhabditidae</i> (Alatorre-Rosas, 2020; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)
Protozoarios	<i>Nosema</i> spp. (Alatorre-Rosas & Tamayo-Mejía, 2020; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)	



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

Tabla 2. Parámetros de control y calidad de proceso en la producción de agentes de control biológico.

Aspecto	Parámetro
Línea celular	Estabilidad genética y fenotípica
Control de proceso	Temperatura Humedad pH Monitoreo de la contaminación Almacenamiento Nutrición Consumo de O ₂ Producción de CO ₂
Calidad del producto	Pureza biológica Concentración Viabilidad Infectividad Vida de anaquel

6. Conclusión

Entre otros efectos, el cambio climático promueve la proliferación de plagas endémicas y exóticas. Regularmente, estas plagas son tratadas con sustancias químicas que son potencialmente nocivas para el medio ambiente y la salud humana. El control biológico podría implementarse en lugar de la aplicación de sustancias químicas. Bacterias, hongos, nemátodos, protozoarios e insectos son efectivos agentes de control biológico que presentan diversos mecanismos de acción para combatir las plagas. Sin embargo, para poder usar a los agentes de control biológico en lugar de las sustancias químicas, es necesario diseñar procesos con un alto grado de industrialización que garanticen la producción de bioplaguicidas con la calidad necesaria para aplicarse en campo.

7. Referencias

1. Alatorre-Rosas, R. (2020). Nematodos parásitos de insectos. In H. C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 271–310). Colegio de Posgraduados.
2. Alatorre-Rosas, R., & Tamayo-Mejía, F. (2020). Protozoarios-microporida y hongos entomopatógenos. In H. C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 187–238). Colegio de Posgraduados.
3. Alto, B. W., & Juliano, S. A. (2001). Precipitation and Temperature Effects on Populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): Implications for Range Expansion. *Journal of Medical Entomology*, 38(5), 646–656. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.5.646>
4. Angelini, R., Finarelli, A. C., Angelini, P., Po, C., Petropulacos, K., Macini, P., Fiorentini, C., Fortuna, C., Venturi, G., Romi, R., Majori, G., Nicoletti, L., Rezza, G., & Cassone, A. (2007). An outbreak of chikungunya fever in the province of Ravenna, Italy. *Weekly Releases (1997–2007)*, 12(36). <https://doi.org/10.2807/esw.12.36.03260-en>



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

5. Auld, B. A., & Morin, L. (1995). Constraints in the Development of Bioherbicides. *Weed Technology*, 9(3), 638–652. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00023964>
6. Badii, M. H., & Abreu, J. L. (2006). Control biológico una forma sustentable de control de plagas. *International Journal of Good Conscience*, 1(1), 82–89.
7. Basilua Kanza, J. P., El Fahime, E., Alaoui, S., Essassi, E. M., Brooke, B., Nkebolo Malafu, A., & Watsenga Tezzo, F. (2013). Pyrethroid, DDT and malathion resistance in the malaria vector *Anopheles gambiae* from the Democratic Republic of Congo. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 107(1), 8–14. <https://doi.org/10.1093/trstmh/trs002>
8. Bernal, J. S., & España-Luna, M. P. (2020). Biología, ecología y etología de parasitoides. In H. C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 139–154). Colegio de Posgraduados.
9. Bundschuh, M., Goedkoop, W., & Kreuger, J. (2014). Evaluation of pesticide monitoring strategies in agricultural streams based on the toxic-unit concept — Experiences from long-term measurements. *Science of The Total Environment*, 484, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.015>
10. Carrieri, M., Bacchi, M., Bellini, R., & Maini, S. (2003). On the Competition Occurring Between *Aedes albopictus* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) in Italy. *Environmental Entomology*, 32(6), 1313–1321. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-32.6.1313>
11. Castillo-Minjarez, J. M. (2022). Contexto de los bioplaguicidas comerciales de base fúngica en México. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 15–27. <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.1527>
12. Dietrich, J. P., Van Gaest, A. L., Strickland, S. A., & Arkoosh, M. R. (2014). The impact of temperature stress and pesticide exposure on mortality and disease susceptibility of endangered Pacific salmon. *Chemosphere*, 108, 353–359. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.079>
13. Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
14. Durance, I., & Ormerod, S. J. (2007). Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology*, 13(5), 942–957. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01340.x>
15. Goula, B. T. A., Savane, I., Konan, B., Fadika, V., & Kouadio, G. B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Vertigo*, Volume 7 Numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.2038>
16. Gutiérrez-Ramirez, A., Robles-Bermúdez, A., Santillan-Ortega, C., Ortiz-Catón, M., & Cambero-Campos, O. J. (2013). Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el estado de



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

- Nayarit, México. *Revista Biociencias*, 2(3), 102–112.
17. Henry, M., Béguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S., & Decourtye, A. (2012). A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science*, 336(6079), 348–350. <https://doi.org/10.1126/science.1215039>
18. Heugens, E. H. W., Hendriks, A. J., Dekker, T., Straalen, N. M. van, & Admiraal, W. (2001). A Review of the Effects of Multiple Stressors on Aquatic Organisms and Analysis of Uncertainty Factors for Use in Risk Assessment. *Critical Reviews in Toxicology*, 31(3), 247–284. <https://doi.org/10.1080/20014091111695>
19. Jeffs, L. B., & Khachatourians, G. G. (1997). Estimation of spore hydrophobicity for members of the genera *Beauveria*, *Metarhizium*, and *Tolypocladium* by salt-mediated aggregation and sedimentation. *Canadian Journal of Microbiology*, 43(1), 23–28. <https://doi.org/10.1139/m97-004>
20. Jenkins, N. E., & Grzywacz, D. (2000). Quality control of fungal and viral biocontrol agents - Assurance of product performance. *Biocontrol Science and Technology*, 10(6), 753–777. <https://doi.org/10.1080/09583150020011717>
21. Kamp, A. M., & Bidochka, M. J. (2002). Conidium production by insect pathogenic fungi on commercially available agars. *Letters in Applied Microbiology*, 35(1), 74–77. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.2002.01128.x>
22. Kreß, A., Kuch, U., Oehlmann, J., & Müller, R. (2014). Impact of temperature and nutrition on the toxicity of the insecticide λ -cyhalothrin in full-lifecycle tests with the target mosquito species *Aedes albopictus* and *Culex pipiens*. *Journal of Pest Science*, 87(4), 739–750. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0620-4>
23. Kurz, W. A., & Apps, M. J. (1999). A 70-Year Retrospective Analysis of Carbon Fluxes in the Canadian Forest Sector. *Ecological Applications*, 9(2), 526. <https://doi.org/10.2307/2641142>
24. Kurz, W. A., Stinson, G., Rampley, G. J., Dymond, C. C., & Neilson, E. T. (2008). Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(5), 1551–1555. <https://doi.org/10.1073/pnas.0708133105>
25. Lawler, S. P., Dritz, D. A., Christiansen, J. A., & Cornel, A. J. (2007). Effects of lambda-cyhalothrin on mosquito larvae and predatory aquatic insects. *Pest Management Science*, 63(3), 234–240. <https://doi.org/10.1002/ps.1279>
26. Lewandowski, I., Gaudet, N., Lask, J., Maier, J., Tchouga, B., & Vargas-Carpintero, R. (2018). Context. In *Bioeconomy* (pp. 5–16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_2
27. Matthiessen, P., Sheahan, D., Harrison, R., Kirby, M., Rycroft, R., Turnbull, A., Volkner, C., & Williams, R. (1995). Use of a *Gammarus pulex* Bioassay to Measure the Effects of Transient Carbofuran Runoff from Farmland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 30(2), 111–119. <https://doi.org/10.1006/eesa.1995.1013>



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

28. Méndez-González, F., Castillo-Minjarez, J. M., Loera, O., & Favela-Torres, E. (2022). Current developments in the resistance, quality, and production of entomopathogenic fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(7), 115. <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03301-9>
29. Méndez-González, F., Loera, O., & Favela-Torres, E. (2018). Conidia production of *Metarhizium anisopliae* in bags and packed column bioreactors. *Current Biotechnology*, 7(1), 65–69. <https://doi.org/10.2174/2211550105666160926123350>
30. Méndez-González, F., Loera-Corral, O., Saucedo-Castañeda, G., & Favela-Torres, E. (2018). Bioreactors for the production of biological control agents produced by solid-state fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, & C. R. Soccol (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 109–121). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00007-4>
31. Muñoz-Paredes, F., Miranda-Hernández, F., & Loera, O. (2017). Production of conidia by entomopathogenic fungi: from inoculants to final quality tests. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(3), 57–66. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2229-2>
32. Porter, J. H., Parry, M. L., & Carter, T. R. (1991). The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57(1–3), 221–240. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(91\)90088-8](https://doi.org/10.1016/0168-1923(91)90088-8)
33. Raymond, C. L., Healey, S., Peduzzi, A., & Patterson, P. (2015). Representative regional models of post-disturbance forest carbon accumulation: Integrating inventory data and a growth and yield model. *Forest Ecology and Management*, 336, 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.038>
34. Sala, A., Barrena, R., Artola, A., & Sánchez, A. (2019). Current developments in the production of fungal biological control agents by solid-state fermentation using organic solid waste. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(8), 655–694. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1557497>
35. Sala, O. E., Stuart Chapin, F., III, Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287(5459), 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
36. Schulz, R. (2004). Field Studies on Exposure, Effects, and Risk Mitigation of Aquatic Nonpoint-Source Insecticide Pollution: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 33(2), 419–448. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.4190>
37. Sun, J., Fuxa, J. R., & Henderson, G. (2002). Sporulation of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on *Coptotermes formosanus* and in vitro. *Journal of Invertebrate Pathology*, 81(2), 78–85. [https://doi.org/10.1016/S0022-2011\(02\)00152-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2011(02)00152-0)
38. Tamayo-Mejía, F., Alatorre-Rosas, R., Delgado-Fernández, S., & Ocampo-Hernández, J. A. (2020). Principios de aplicación de entomopatógenos. In H. C. Arredondo-Bernal,



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 405–426). Colegio de Posgraduados.

39. Timité, N., Kouakou, A. T. M., Bamba, I., Barima, Y. S. S., & Bogaert, J. (2022). Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire: Weather Observations, Perceptions, and Adaptation Strategies of Farmers. *Sustainability*, 14(16), 10410. <https://doi.org/10.3390/su141610410>

40. van Driesche, R. G., Hoddle, M. S., & Center, T. D. (2008). *Control of pest and weeds by natural enemies: An introduction to biological control* (R. G. van Driesche, M. S. Hoddle, & T. D. Center, Eds.; 1st ed.). Wiley-Blackwell.



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.1.4453>

Recibido: 14-02-2024

Revisado: 09-03-2024

Aceptado: 24-03-2024

Publicado: 05-05-2024

Extracción y caracterización de pigmentos de las brácteas bugambilia (*Bougainvillea* sp.)

Extraction and characterization of pigments from the bracts of bougambillia (*Bougainvillea* sp.)

C. Compeán-Vargas¹, A. Pichardo-Sánchez^{1,2}, N. R. Rodríguez-Durán¹, A. Del Ángel-Del Ángel¹, L. V. Rodríguez-Durán^{1*}

¹ Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Mante. Cd. Mante, Tamaulipas, México. Blvd. Enrique Cárdenas González No. 1201 Pte, Cd. Mante, Tamaulipas, C.P. 89840.

² Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, Departamento de Biotecnología. Ciudad de México. Av. San Rafael Atlixco 186, Iztapalapa, Ciudad de México, C.P. 09340.

* Corresponding author: luis.duran@docentes.uat.edu.mx

Resumen

La bugambilia (*Bougainvillea* sp.) es una planta trepadora de ramas leñosas con espinas. La flor es pequeña, de color amarillo blanquecino, rodeada de brácteas, que pueden tener diferentes colores como rosa, amarillo, beige, blanco, violeta, azul, etc. Por lo tanto, las brácteas de bugambilia son una fuente potencial de pigmentos para la industria alimentaria. El objetivo de este estudio fue extraer y caracterizar los pigmentos de las brácteas del árbol de la bugambilia. En un primer experimento se optimizó la obtención de los pigmentos con soluciones acuosas de etanol por extracción asistida por ultrasonido (EAU). Se evaluaron tres factores (temperatura, tiempo y concentración de etanol) a tres niveles, utilizando un diseño experimental Box-Behken; Posteriormente, se comparó este proceso con la extracción convencional por maceración. Finalmente, se evaluó el contenido de compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu, la actividad antioxidante por el método ABTS y la actividad antimicrobiana frente a *E. coli* por el método de difusión en disco. En las condiciones seleccionadas (30 min, 55 °C y 60% de etanol) se obtuvo un rendimiento de 25.3 ± 2.2 % por EAU, este es mayor al obtenido por maceración (24.2 ± 2.0 %), pero esta diferencia no es estadísticamente significativa. Ambos extractos mostraron una alta capacidad antioxidante (89-90% de inhibición de la oxidación de radicales ABTS) y una cantidad considerable de compuestos fenólicos (30.9-35.9 mg EAG/g). Sin embargo, ninguno de los extractos mostró actividad antimicrobiana contra *E. coli*. Estos resultados servirán para estandarizar un proceso de extracción de un pigmento natural con potencial aplicación en la industria alimentaria.

Palabras clave: Bugambilia, antioxidantes, pigmentos, optimización.



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

Abstract

Bougambillia (*Bougainvillea* sp.) is a climbing plant with woody branches with thorns. The flower is small, whitish yellow, surrounded by bracts, which can have different colors such as pink, yellow, beige, white, violet, blue, etc. Therefore, bougambillia bracts are a potential source of pigments for the food industry. The objective of this study was to extract and characterize the pigments of the bracts of the bougainvillea tree. In a first experiment, the obtention of the pigments with aqueous ethanol solutions by ultrasound-assisted extraction (UAE) was optimized. Three factors (temperature, time, and ethanol concentration) were evaluated at three levels, using a Box-Behken experimental design; subsequently, this process was compared with conventional extraction by maceration. Finally, the content of phenolic compounds was evaluated by the Folin-Ciocalteu method, antioxidant activity by the ABTS method and antimicrobial activity against *E. coli* by the disk diffusion method. Under the selected conditions (30 min, 55 °C, and 60% ethanol) a yield of $25.3 \pm 2.2\%$ was obtained by UAE, this is greater than that obtained by maceration ($24.2 \pm 2.0\%$), but this difference is not statistically significant. Both extracts showed a high antioxidant capacity (89-90% inhibition of ABTS radical oxidation) and a considerable amount of phenolic compounds (30.9-35.9 mg GAE/g). However, none of the extracts showed antimicrobial activity against *E. coli*. These results will serve to standardize a process for the extraction of a natural pigment with potential application in the food industry.

Keywords: Bougambillia, antioxidants, pigments, optimization.

1. Introducción

El género *Bougainvillea* es un grupo muy extendido en todo el mundo, pertenece a la familia Nyctaginaceae y contiene aproximadamente 18 especies, de las cuales solo cuatro especies (*B. buttiana*, *B. glabra*, *B. spectabilis* y *B. peruviana*) son explotadas comercialmente (Abarca-Vargas y Petricevich, 2018). La bugambilia (*Bougainvillea* sp.) es una planta trepadora de ramas leñosas provistas de espinas, originaria de Brasil. La flor es pequeña y generalmente blanca, pero cada grupo de tres flores está rodeado por tres o seis brácteas, las cuales se caracterizan por tener diferentes colores (rosa, amarillo, beige, blanco, violeta, azul, etc.) (Moneruzzaman et al., 2010).

Algunas especies de bugambilia se utilizan la medicina tradicional para el tratamiento de diversos padecimientos, como la tos, tos ferina, asma, bronquitis, disentería, dolor de estómago, gripe, bronquitis, entre otros (Abarca-Vargas y Petricevich, 2018). Diversos estudios *in vitro* e *in*

vivo han demostrado que los extractos de *Bougainvillea* sp. tienen actividades biológicas, tales como antioxidante (Abarca-Vargas et al., 2016), antibacteriana (Cardona-Bedoya et al., 2017), anti-diabética (Adebayo et al., 2009; Chauhan et al., 2015), antilipémica (Garg et al., 2015), antinociceptiva (Ogunwande et al., 2018), antiinflamatoria (Alvarez-Perez et al., 2012) y citotóxica (Salem et al., 2019).

Las brácteas de la bugambilia contienen pigmentos en su interior, los cuales varían de acuerdo con su color, entre los cuales se encuentran las betalainas (Gandía-Herrero y García-Carmona, 2013). Las betalainas son pigmentos hidrofílicos que contienen nitrógeno y que se sintetizan a partir del aminoácido tirosina. Se dividen en dos grupos estructurales: las betacianinas rojo-violeta y las betaxantinas amarillo-naranja (Azeredo, 2009). Además, las brácteas de la bugambilia contienen otros fitoquímicos como ácidos grasos, alcoholes grasos, aldehídos, cetonas, terpenos, ácidos



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

fenólicos y flavonoides (Abarca-Vargas et al., 2019; Abarca-Vargas et al., 2016; Saleem et al., 2020; Vukovic et al., 2013).

El contenido de fitoquímicos de las brácteas de bugambilia pueden variar de acuerdo con la especie, variedad, condiciones de crecimiento y métodos de extracción por lo que el objetivo del presente estudio fue caracterizar los pigmentos de las brácteas del árbol de la bugambilia obtenidos mediante extracción asistida por ultrasonido y maceración.

2. Materiales y métodos

2.1 Material vegetal

El material vegetal se obtuvo de un árbol ubicado en Cd. Mante, Tamaulipas. Las brácteas de bugambilia fueron cortadas y secadas durante 24 horas a una temperatura de 60 °C. Las brácteas se mantuvieron en bolsas herméticas hasta su uso.

2.2. Extracción por maceración

Se colocó un gramo de brácteas de bugambilia en frascos de vidrio de 250 mL con tapa hermética, se añadieron 40 mL de solución de etanol al 60% (v/v), se almacenaron durante 24 h a temperatura ambiente en la oscuridad. Los extractos se filtraron a través de papel Whatman No. 1 y se almacenaron a 4 °C hasta su uso.

2.3 Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU)

Se colocó 1 g de brácteas de *Bougainvillea* sp. en tubos de polipropileno de 50 mL y se agregaron y 40 mL de solución de etanol. Se sometió a un tratamiento ultrasónico con temperatura controlada en un baño aquasonic modelo 7500. Los extractos se filtraron a través de papel filtro

Whatman No. 1 y se almacenaron a 4 °C hasta su uso.

Se evaluó el efecto de la temperatura, concentración de etanol y el tiempo sobre la extracción de pigmentos de las brácteas de *Bougainvillea* sp. mediante EAU. Se utilizó un diseño experimental Box Behnken con tres factores y tres niveles (Tabla 1 y 2).

Las extracciones se llevaron a cabo por triplicado. La variable de respuesta fue la absorbancia a 540 nm. Los resultados se analizaron con el software Statgraphics 18 (Statgraphics Technologies, The plains, EUA).

2.4 Análisis espectrofotométrico

La cuantificación del pigmento se realizó espectrofotométrico. Las muestras se diluyeron 10 veces con agua destilada y se midió la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo lambda 35 (Waltham, EUA).

2.5 Recuperación del pigmento

Los extractos se filtraron a través de papel filtro Whatman No. 1. Los extractos filtrados se concentraron a 65 °C y a presión reducida en un evaporador rotatorio Heidolph (Schwabach, Alemania) para eliminar el etanol presente. Los extractos concentrados se secaron en una estufa a 60 °C durante 48 horas. El material seco se recuperó y se almacenó en tubos de plástico protegidos de la luz.

Tabla 1. Factores y niveles utilizados para la optimización de la extracción de pigmentos de brácteas de *Bougainvillea* sp.

Factor	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Temperatura (°C)	30	45	60
Concentración de etanol (% V/V)	50	70	90
Tiempo (min)	15	30	45



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

Tabla 2. Diseño experimental utilizado para la optimización de la extracción de pigmentos de brácteas de *Bougainvillea* sp.

Tratamiento	Concentración (% v/v)	Temperatura (° C)	Tiempo (min)
1	70	45	30
2	50	30	30
3	90	30	30
4	50	60	30
5	90	60	30
6	50	45	15
7	90	45	15
8	70	45	30
9	50	45	45
10	90	45	45
11	70	30	15
12	70	60	15
13	70	30	45
14	70	60	45
15	70	45	30

2.6 Actividad antioxidante

Los extractos se disolvieron en agua destilada a una concentración de 1 mg/mL. La actividad antioxidante se determinó por el método del ABTS como lo describió Nitha et al (2008). Se preparó una solución ABTS (7 mM) y persulfato de amonio (2.45 mM) y se dejó reaccionar por más de 16 horas a temperatura ambiente en la oscuridad. La solución se diluyó con una solución salina tamponada con fosfato hasta obtener una absorbancia de 0.75 a 734 nm. Se colocó 1 mL del reactivo ABTS en tubos de ensaye y se añadieron 10 µL de extracto o solución salina (para los controles). Los tubos se mezclaron y dejaron reposar 6 minutos antes de medir la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo Lambda 35 (Waltham, EUA). Los resultados se expresaron como % de inhibición del radical ABTS y se calcularon con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{Abs_{Control} - Abs_{Muestra}}{Abs_{Control}} \times 100$$

2.7 Determinación de fenoles totales

Para la determinación de fenoles totales de utilizo el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y Rossi (1965) con algunas modificaciones. Se colocaron 200 µL de los extractos en tubos de vidrio, se añadió 600 µL de agua destilada y 200 µL de reactivo de Folin (1 N), se mezcló y se dejó reposar por 5 minutos, se agregó 1 mL de carbonato de sodio (8%) y 1 mL de agua destilada, se mezcló y se dejó reposar por 30 minutos a temperatura ambiente en la oscuridad. Se midió la absorbancia a 765 nm. Se realizó una curva de calibración con ácido gálico como estándar (de 0 a 500 mg/L) y los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico/g de extracto (mg EAG/g).



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

2.8 Actividad antimicrobiana

La prueba de actividad antimicrobiana de los extractos de brácteas de bugambilia se llevó a cabo mediante la prueba de difusión de disco descrita por Ortez et al. (2005). Para ello se prepararon cajas con agar Muller Hinton y se inocularon con una suspensión de *Escherichia coli* estandarizada a una turbidez equivalente al estándar 0.5 de McFarland. Se sumergieron discos de papel estéril de 6 mm en los extractos y se colocaron sobre las cajas de Petri inoculados. Se incubaron durante 24 horas a 37 °C.

3. Resultados y discusión

3.1 Optimización de la extracción de pigmentos de *Bougainvillea* sp.

Se evaluó el efecto de la temperatura, el tiempo y la concentración de etanol sobre la extracción de pigmentos de brácteas de *Bougainvillea* sp mediante un proceso de extracción asistida por ultrasonido. Los tres factores se evaluaron en tres niveles, siguiendo un diseño experimental Box Behnken (Tablas 1 y 2).

La figura 1 muestra los efectos estandarizados de los factores estudiados. Los efectos estadísticamente significativos ($\alpha = 0.05$) son la temperatura (B), la concentración de etanol (A) y su interacción (AB). El tiempo de extracción no tiene un efecto significativo en el rango estudiado.

En la figura 2 se muestra el gráfico de superficie de respuesta, que representa el efecto simultáneo de la temperatura y concentración de etanol sobre la extracción de pigmentos de *Bougainvillea* sp. En esta figura se observa que la temperatura tiene un efecto lineal positivo y un efecto cuadrático negativo, mientras que la concentración tiene un efecto lineal y cuadrático negativo. Los datos obtenidos se ajustaron a un modelo de segundo orden ($r^2 = 0.87$). Este modelo se optimizó matemáticamente y se encontró que las mejores condiciones para la extracción asistida por ultrasonido son una temperatura de 54.6 °C, una concentración de etanol del 57.5% y un tiempo de extracción de 32.1 minutos.

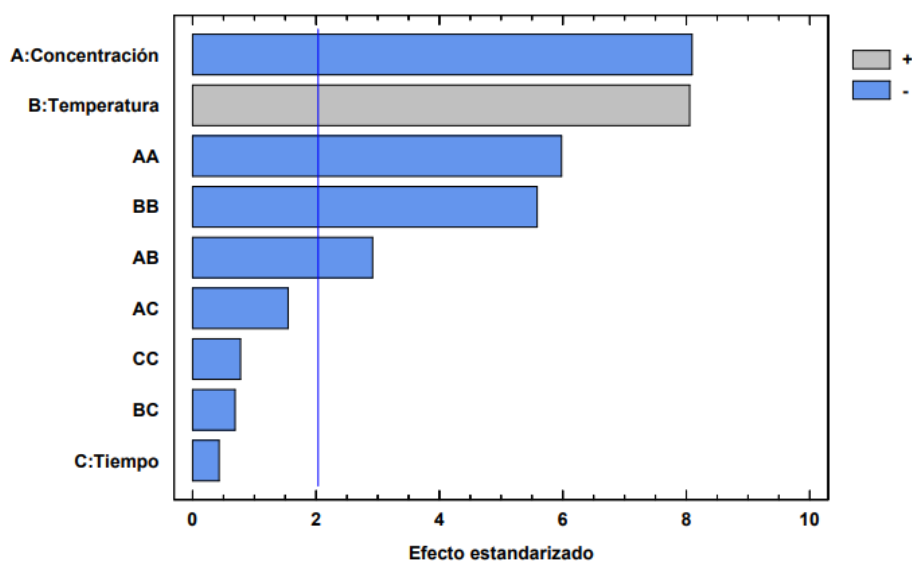


Figura 1. Diagrama de Pareto del diseño experimental Box Behnken.



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

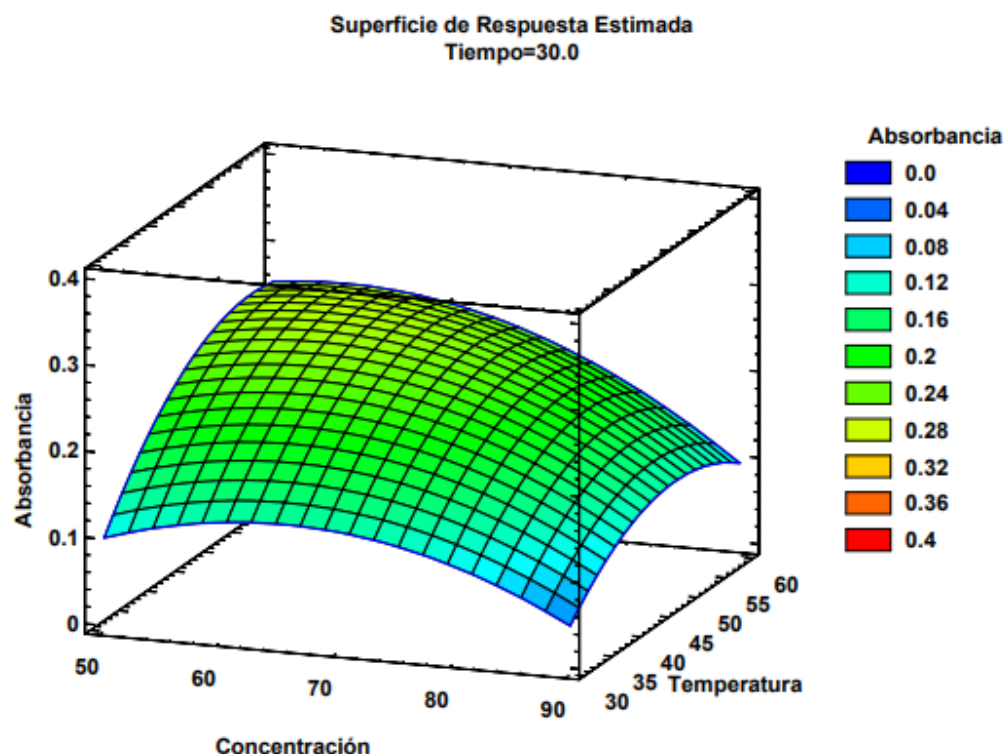


Figura 2. Efecto simultáneo de la concentración de etanol y temperatura sobre la extracción de pigmentos de *Bougainvillea* sp.

Maran et al., (2014) reportaron que los extractos obtenidos de brácteas de *Bougainvillea glabra* tienen valores óptimos de extracción de 55 °C para temperatura y 37 minutos para el tiempo de extracción, estos resultados son muy cercanos a los obtenidos en este estudio. Ellos observaron un aumento en el rendimiento de pigmento de 40 a 55 °C después del cual mostró un patrón decreciente. La solubilidad y difusividad de los sólidos del material vegetal se acelera con el aumento de la temperatura, lo que a su vez maximiza el rendimiento de la extracción, por otro lado, las altas temperaturas favorecen la degradación del pigmento, lo que resulta en una disminución del rendimiento de la extracción (Yang y Zhai, 2010).

La eficiencia de extracción y las actividades farmacológicas de los extractos vegetales

dependen en gran medida de la polaridad del solvente. Por ejemplo, Abarca-Vargas y Petricevich (2020) evaluaron el efecto de la concentración del solvente (etanol) sobre la extracción de compuestos fenólicos de brácteas de *Bougainvillea x buttiana*. Ellos obtuvieron los mayores rendimientos utilizando agua como solvente, debido probablemente a la presencia de compuestos hidrofílicos, como azúcares y proteínas. Sin embargo, la mayor concentración de compuestos fenólicos la obtuvieron con etanol al 60%.

3.2 Caracterización de los pigmentos de *Bougainvillea* sp.

Se comparó el rendimiento, la concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los pigmentos extraídos de brácteas de *Bougainvillea* sp por ultrasonido y por



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

maceración. En el caso del ultrasonido las extracciones se realizaron a 55°C con etanol al 60% durante 30 min. La maceración se realizó con etanol al 60% durante 24 h. La tabla 3 muestra los resultados obtenidos para ambos métodos.

En la tabla 3 se observa que se obtuvo un mayor rendimiento por el método de ultrasonido. Sin embargo, de acuerdo con en el análisis estadístico esta diferencia no es estadísticamente significativa. La mayor actividad antioxidante (90.3%) se obtuvo con el método del ultrasonido, pero de acuerdo con el análisis estadístico no existen diferencias significativas ($\alpha = 0.05$).

De acuerdo con Abarca Vargas et al. (2016) los extractos metanólicos de *Bougainvillea x buttiana* presentaron mayor actividad antioxidante frente a otros solventes. Gandía-Herrero et al. (2012) señala que el ácido betalámico contiene una alta capacidad de radicales equivalentes a los del resveratrol presente en las uvas, este resultado es confirma los antes mencionados, sin embargo, podemos atribuir que este se ve afectado directamente debido a la pureza de los extractos.

La mayor extracción de fenoles (35.9 ± 0.8 mg EAG/g) se obtuvo por maceración. Ambos extractos tienen un menor contenido de fenoles totales que los obtenidos a partir de brácteas de bugambilia morada (79.9 ± 0.7 mg EAG/g) y bugambilia amarilla (129.6 ± 0.3) utilizando extracción asistida por ultrasonido (Jaramillo et

al., 2021). Los extractos obtenidos en el presente trabajo poseen mayor cantidad de compuestos fenólicos que los descritos por Montiel-Sanchez et al. (2020) y Righi Pessoa et al. (2018) para otros materiales. Montiel-Sanchez et al. (2020) observaron que las betalainas presentes en el garambullo tienen 10 mg compuestos fenólicos por gramo de fruto, mientras que en la piel tiene 8.4 mg GAE/g respectivamente. Righi-Pessoa et al. (2018) reportaron 65.62 ± 0.135 mg EAG/g presentes en el betabel utilizando el método de extracción asistida por ultrasonido.

3.3 Actividad antimicrobiana de los pigmentos de *Bougainvillea* sp.

Los extractos etanólicos obtenidos de las brácteas de bugambilia por ambos métodos no inhibieron el crecimiento de *E. coli* en agar Mueller Hinton en las condiciones estudiadas (Figura 3). Cardona-Bedoya et al. (2017) reportaron la inhibición del crecimiento de *Staphylococcus aureus* del 35.50 al 36.80%, del 35.50 al 42.30% de *Pseudomonas aeruginosa* y del 21 al 28.50% de *E. coli* por extractos etanólicos de flores de bugambilia. Por otro lado, Madhusudhan et al. (2019) observaron una inhibición de 0.2 ± 0.07 cm para *B. thuringiensis*, 0.2 ± 0.17 cm para *Shigella flexneri* y 0.5 ± 0.21 cm para *Salmonella typhi*. Estas diferencias pueden estar relacionadas con el origen del material biológico, los métodos de extracción o la pureza de los extractos.

Tabla 3. Caracterización de los pigmentos extraídos por maceración y ultrasonido

	Maceración	Ultrasonido
Rendimiento (% p/p)	24.2 ± 2.0^a	25.3 ± 2.2^a
Actividad antioxidante (% de inhibición ABTS)	88.8 ± 2.7^a	90.3 ± 1.8^a
Compuestos fenólicos totales (mg EAG/g)	35.9 ± 0.8^a	30.9 ± 0.6^b

Letras similares en la misma línea indican que no existen diferencias significativas entre las muestras (prueba T, $\alpha = 0.05$).



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

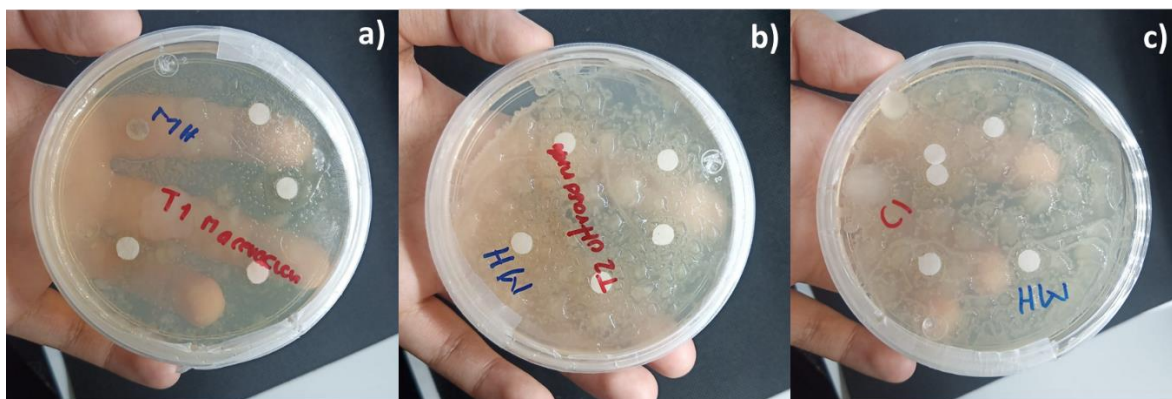


Figura 3. Crecimiento de *E. coli* en presencia del extracto obtenido por maceración (a), ultrasonido (b) y etanol (c).

4. Conclusiones

La concentración del solvente y la temperatura afectan la extracción de pigmentos de las brácteas de *Bougainvillea* sp mediante extracción asistida por ultrasonido (EAU). Bajo las condiciones seleccionadas (30 min, 55 °C y 60% de etanol) se obtuvo un rendimiento ($25.3 \pm 2.2\%$) similar al obtenido por maceración ($24.2 \pm 2.0\%$), pero en una fracción del tiempo. Ambos extractos mostraron una alta capacidad antioxidante (89-90% de inhibición de la oxidación radical ABTS) y una cantidad considerable de compuestos fenólicos (30.9 a 35.9 mg GAE/g). Sin embargo, ninguno de los extractos mostró actividad antimicrobiana contra *E. coli*. Estos resultados servirán para estandarizar un proceso de extracción de un pigmento natural con potencial aplicación en la industria alimentaria.

5. Referencias

1. Abarca-Vargas, R., & Petricevich, V. (2018). *Bougainvillea* Genus: A review on phytochemistry, pharmacology, and toxicology. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 9070927.
2. Abarca-Vargas, R., Peña-Malacara, C. F., & Petricevich L., V. (2016). Characterization of chemical compounds with antioxidant and cytotoxic activities in *Bougainvillea x buttiana* Holtum and Standl, (var. Rose) extracts. *Antioxidants*, 5(4), 1-11.
3. Abarca-Vargas, R., & Petricevich, V. L. (2020). Comparison of different extraction methods for the phenolic compounds recovery with the antioxidant activity of *Bougainvillea x buttiana*. *Current Analytical Chemistry*, 16(6), 778-787.
4. Abarca-Vargas, R., Zamilpa, A., & Petricevich, V. L. (2019). Development and validation of conditions for extracting flavonoids content and evaluation of antioxidant and cytoprotective activities from *Bougainvillea x buttiana* bractes (var. Rose). *Antioxidants*, 8(8), 1-17.
5. Adebayo, G. I., Alabi, O. T., V., O. B., & Soladoye, A. O. (2009). Anti-diabetic properties of the aqueous leaf extract of *Bougainvillea glabra* (Glory the Garden) on alloxan- induced diabetic rats. *Records of Natural Products*, 3(4), 187-192.
6. Alvarez-Perez Gil, A., Barbosa-Navarro, L., Patipo-Vera, M., & Petricevich, V. (2012). Anti-inflammatory and antinociceptive activities of the ethanolic extract of *Bougainvillea x buttiana*. *Journal of Ethnopharmacology*, 144(3), 712-719.



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

7. Azeredo, H. M. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12), 2365-2376.
8. Cardona-Bedoya, L., Rodriguez-Gonzalez, C. A., & Clavijo-Maldonado, A. (2017). Actividad antibacteriana de extractos etanólicos de *Bougainvillea glabra* choisy (veranera). *Revista Nova*, 3, 39-46.
9. Chauhan, P., Mahajan, S., Kulshrestha, A., Shrivastava, S., Sharma, B., Goswamy, H., & Prasad, G. (2015). *Bougainvillea spectabilis* exhibits antihyperglycemic and antioxidant activities in experimental diabetes. *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternatives Medicine*, 21(3), 177-185.
10. Gandia-Herrero, F., Escribano, J., & Garcia-Carmona, F. (2012). Purification and antiradical properties of the structural unit of betalains. *Journal of Natural Products*, 75(6), 1030-1036.
11. Gandía-Herrero, F., & García-Carmona, F. (2013). Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. *Trends in Plant Science*, 18(6), 334-343.
12. Garg, B., Srivastava, N., & Srivastava, S. (2015). Antihyperlipidemic effect of *Bougainvillea glabra* leaves in triton wr-1339 induced hyperlipidemic rats. *Der Pharmacia Lettre*, 7(7), 187-190.
13. Jaramillo, C., Armijos, J. C., Cedeño, R., Campo, M., & Rojas, L. (2021). Comparación de la relación de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante en brácteas de dos variedades de *Bougainvillea glabra* choisy. *Infoanalítica*, 9(1), 167-179.
14. Madhusudhan, K., Vinayarani, G., Moorthy, S., Stish, L., Thirupathalah, Y., Maheshwari, C., Prakash, H.S., Teotia, R.S. & Sivaprasad, V. (2019). Isolation, purification and characterization of antibacterial bioactive compounds from *Bougainvillea spectabilis* leaf. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 2668-2673.
15. Maran, J. P., Priya, B., & Nivetha, C. V. (2014). Optimization of ultrasound-assisted extraction of natural pigments from *Bougainvillea glabra* flowers. *Industrial Crops and Products*, 63, 63, 182-189.
16. Moneruzzaman, K., Hossain, A., Amru, N., Saifudin, M., Imdadul, H., & Wirakarnain, S. (2010). Effect of sucrose and kinetin on the quality and vase life of *Bougainvillea glabra* var. Elizabeth Angus bracts at different temperatures. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7), 474-479.
17. Montiel-Sanchez, M., Gracia-Cayuela, T., Gomez-Maqueo, A., S. Garcia, H., & Cano, M. P. (2020). *In vitro* gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (*Myrtillocactus geometrizans*). *Food Chemistry*, 342, 1-43.
18. Nitha, B., De, S., Adhikari, S. K., Devasagayam, T. P., & Janardhanan, K. K. (2008). Evaluation of free radical scavenging activity of morel mushroom, *Morchella esculenta* mycelia: A potential source of therapeutically useful antioxidants. *Pharmaceutical Biology*, 48, 453-460.
19. Ogunwande, I. A., Avoseh, O. N., Olasunkanmi, K. N., Lawal, O. A., Ascrizzi, R., & Flamini, G. (2018). Chemical composition, anti-nociceptive and anti-inflammatory activities of essential oil for *Bougainvillea glabra*. *Journal of Ethnopharmacology*, 232, 188-192.
20. Ortez, J. H. (2005). Prueba de difusión por disco. En M. B. Coyle, *Manual de pruebas de susceptibilidad antimicrobiana* (págs. 39-54). American Society for Microbiology.



Artículo de investigación

Compean-Vargas et al., 2024

21. Righi Pessoa da Silva, H., da Silva, C., & Cervejeira Bolanho, B. (2018). Ultrasonic-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 41(6), 1-6.
22. Saleem, H., Htar, T. T., Naidu, R., Anwar, S., Zengin, G., Locatelli, M., & Ahemad, N. (2020). HPLC–PDA polyphenolic quantification, UHPLC–MS secondary metabolite composition, and *In Vitro* enzyme inhibition potential of *Bougainvillea glabra*. *Plants*, 9(3), 1-11.
23. Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
24. Vukovic, N., Kacaniova, M., Hleba, L., & Sukdolak, S. (2013). Chemical composition of the essential oil of *Bougainvillea spectabilis* from Montenegro. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 212-215.
25. Yang, Z., & Zhai, W. (2010). Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob and identification with HPLC–MS. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(3), 470-476.



Anexos de la publicación

GUÍA PARA AUTORES

Los autores que sometan artículos a la revista deberán incluir una carta de exposición de motivos donde expongan la congruencia de su manuscrito con la revista, así mismo, en la misma carta, deben exponer que los autores están de acuerdo con las políticas editoriales de la revista.

Tipos de publicación

Artículos de investigación: Estos deberían incluir de forma completa, clara y concisa el estado del arte, metodología y los hallazgos experimentales obtenidos por el autor (o grupo de autores).

Artículos de revisión: Este tipo de publicación deberá ser producto de una rigurosa revisión bibliográfica y, como fruto de ella debe ofrecer una clara prospectiva del tema. La extensión deberá ser entre las 5000 y 10000 palabras (incluyendo bibliografía).

Contribuciones cortas: Esas serán aceptadas cuando se consideren un avance considerable de un hallazgo experimental y, por lo tanto, se hace de forma preliminar. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras. También son aceptables artículos de revisión cortos (mini review) y estos no deben exceder las 5000 palabras (incluyendo bibliografía).

Artículos de divulgación: Se podrán abordar temas acordes a alguna de las áreas de la revista, su redacción deberá ser orientada hacia el público en general. Este tipo de contribución no debe exceder las 3000 palabras.

Lenguaje

La Mexican Journal of Technology and Engineering aceptará indistintamente contribuciones en español e inglés. Investigadores con lengua materna diferente al inglés, deben presentar un certificado de revisión emitido por alguna agencia de servicio de traducción y corrección de estilo.

Envío de manuscritos

Para enviar manuscritos a la revista es necesario que uno de los autores sea designado como autor de correspondencia. La dirección postal completa y correo electrónico debe señalarse dentro del manuscrito sometido. El autor de correspondencia deberá asegurarse de que el manuscrito sometido cumpla con todos los requerimientos señalados en la guía de autores y asegurarse de tener los siguientes documentos antes del envío:



Anexos de la publicación

- El Archivo en Word del manuscrito.
- Archivos individuales de las imágenes utilizadas en el manuscrito en formato JPG o TIFF.
- Archivo JPG o TIFF con el resumen gráfico (opcional).
- En caso de someter en idioma inglés, el certificado de revisión.
- En caso de utilizar recursos visuales provenientes de otras fuentes debe incluir una carta de permiso para el uso del material de los autores originales o de la editorial responsable.

Todos los archivos deberán enviarse al correo electrónico editorial@mexicanjournalte.com. Las notificaciones relacionadas con la decisión del editor y el proceso de revisión serán enviadas al correo electrónico del autor de correspondencia.

Árbitros

En todos los casos los manuscritos sometidos serán arbitrados de forma independiente. Para ello, los autores pueden enviar junto con el documento sometido, un escrito donde sugieran hasta tres árbitros; proporcionando, el nombre del investigador, adscripción y correo electrónico.

Revisión por pares

La revista opera con un proceso de revisión de simple ciego. Todas las contribuciones serán revisadas por el editor de área y, una vez determinada la idoneidad del escrito sometido, se enviará para su revisión a un mínimo de dos revisores expertos quienes evaluarán la calidad científica. El editor del área será el responsable de la decisión final (aceptación o rechazo) de cada manuscrito.

Estructura y formato de las contribuciones

Aspectos generales

Todas las contribuciones que se propongan para su publicación en la *Mexican Journal of Technology and Engineering* deberán ser escritas a doble espacio (incluyendo tablas, figuras y referencias) y, usando Calibri (cuerpo), tamaño 11 en todo el manuscrito. Los márgenes en todos los costados serán de 2.5 cm. Los renglones deben estar numerados (con numeración consecutiva) en todo el manuscrito.

Los artículos deben estar divididos en secciones y subsecciones del artículo deben estar claramente definidas y debidamente numeradas (secciones: 1, 2, 3, ...; subsecciones: 1.1, 1.2, 1.3...). Los apartados básicos de la estructura principal del manuscrito se definen a continuación:



Anexos de la publicación

Título. El título debe estar redactado en español e inglés. Deberá ser breve (20 palabras o menos), conciso e informativo, reflejando de forma sustanciosa el contenido de la contribución. El título deberá estar centrado, con mayúsculas (excepto por nombres científicos) y sin punto final. Evitar las abreviaciones, asteriscos y fórmulas a medida donde sea posible. Cuando sea el caso, nombres científicos de especies se escribirán con *itálicas* y con mayúscula en la primera letra del género.

Nombres de los autores. Los autores deben ser nombrados con un nombre y, posteriormente, el apellido (o apellido compuesto). Los autores deben estar separados por comas y al final del apellido se colocarán superíndices numéricos progresivos que indicarán la afiliación de cada autor. Su ubicación será centrada, inmediatamente debajo del título, sin grados académicos y sin cargos laborales.

Afiliaciones. Colocar las afiliaciones de forma numérica y en orden de aparición de los autores. Colocar la institución, el departamento, código postal y país.

Autor de correspondencia. El autor de correspondencia debe ser señalado con un asterisco en forma de superíndice. Sus datos de correspondencia deben contener: Institución, departamento, dirección postal, código postal, ciudad, país y correo electrónico.

Resumen. Debe ser redactado en español e inglés, con un máximo de 300 palabras de extensión. Debe estar redactado en el idioma en el que está escrito el artículo. Debe de englobar los contenidos y conclusiones relevantes del artículo.

Palabras clave. Incluir términos que faciliten la búsqueda del artículo en línea, se aceptarán de tres a seis términos simples o compuestos, con mayúscula sólo los nombres propios, separados por comas, con punto al final de la última. Se ubicarán abajo del resumen alineadas al margen izquierdo del texto.

Introducción. Redactar el estado del arte que sustente la relevancia de la investigación y establecer de forma clara los objetivos del artículo.

Materiales y métodos. Redactar de forma detallada los procedimientos utilizados en el trabajo experimental y, en el caso de realizar procedimientos provenientes de otras fuentes de información, referenciarlos adecuadamente.

Resultados y discusión. Se presentarán los hechos derivados de la aplicación de las metodologías descritas, ordenados de manera lógica y objetiva. Los resultados deben ser descritos de forma clara y precisa, sin recurrir a la repetición de datos de tablas y figuras. En la discusión, se debe interpretar la relevancia de los resultados obtenidos y su comparación con la literatura publicada.

Conclusiones. Deben presentarse de forma categórica, breve y precisa, mencionando las aportaciones específicas al conocimiento con base en los resultados más relevantes del manuscrito.

Agradecimientos. En caso de que los autores lo consideren adecuado, en esta sección podrán reconocer a personas o instituciones que financiaron, asesoraron o auxiliaron en la investigación.



Anexos de la publicación

Referencias. Las referencias deben presentarse en formato APA.

Tablas. Colocar las tablas al final del manuscrito (como texto editable), en orden de aparición y debidamente numeradas. Las tablas deben de referenciarse en el manuscrito. Colocar encima de la tabla su descripción.

Imágenes. Las imágenes deben referenciarse en el manuscrito. Colocar al final del manuscrito los pies de imagen y enviar las imágenes en archivos independientes en formato JPG o TIFF. Las imágenes deben contener de 300 a 1000 dpi.

*NOTA: Por su naturaleza, los artículos de divulgación y de revisión bibliográfica están exentos de las secciones de materiales y métodos y, resultados y discusión. Las secciones y subsecciones del cuerpo del manuscrito son determinadas por los autores.