



Centro Interdisciplinario de Investigación
para el Desarrollo Integral Regional,
Unidad Oaxaca



Revista Científica Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca

Conocimiento biocultural y
tecnología aplicada para la
sustentabilidad

2025
Vol. 9, No. 9
CCCTO

ISSN 2594-0171



Educación
Secretaría de Educación Pública



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"



Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos"
Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero
C.P. 07738, Ciudad de México

2025

**Revista Científica
Contribución al
Conocimiento Científico y
Tecnológico en Oaxaca
Vol. 9, No. 9**

Conocimiento biocultural y tecnología aplicada para la
sustentabilidad

Editores

Carlos Granados-Echegoyen
Gustavo Hinojosa-Arango

DIRECTORIO

Dr. Baldomero H. Zárate-Nicolás
Director CIIDIR Unidad Oaxaca

Dr. Gustavo Hinojosa-Arango
Subdirector Académico y de Investigación

Ing. Liliana del Carmen Sánchez Ballesteros
Subdirectora de Servicios Educativos e Integración Social

Mtro. Abraham David Guzmán Cabrera
Subdirector Administrativo

Jefe del Departamento de Investigación

M. en C. María Yescas-León
Jefa del Departamento de Posgrado

Lic. Alberto de los Santos-Pérez
Jefe del Departamento de Servicios Educativos

Jefe de la Unidad Politécnica de Integración Social

C.P. Miriam Camila García-Prado
Jefa del Departamento de Capital Humano y Recursos Financieros

Ing. Víctor Luis González-Velasco
Jefe del Departamento de Recursos Materiales y Servicios

M. en C. Gabriel Isaías Cruz-Ruiz
Coordinador de Enlace y Gestión Técnica

L.I. Justo César Marcial-Aguilera
Jefe de la Unidad de Informática

INSTITUCIONALES

Agustín Hernández Ramos - agustin_hernandez3578@hotmail.com

Alfonso Vásquez López – avasquez@ipn.mx

Braulio Agustín Ojeda Victoria - brauliojedavic@gmail.com

Brenda Jazmín Nolasco Pérez - bnolascop2400@alumno.ipn.mx

Dagoberto Reyes Aguilar - 121920052@voaxaca.tecnm.mx

Dalia Sitlaly Muñoz Calvo - dmunozc2500@alumno.ipn.mx

Eben Ezer Hu-Villamil - ehuv2400@alumno.ipn.mx

Emmanuel de Jesús Ramírez Rivera - oax2010@hotmail.com

Fátima Maigualida Gómez Hernández - fatimamgomezhernandez@gmail.com

Fidel Diego-Nava – fdiego@ipn.mx

Gonzalo Berra Ruiz - gberrar2500@alumno.ipn.mx

Jaime Ruiz Vega – jvega@ipn.mx

José Abimael Campos Ruiz - jcamposr1700@alumno.ipn.mx

Miguel Crisanto Martínez - mcrisantom2500@alumno.ipn.mx

Milagros Flor Rodríguez Salazar - mrodriguezs2500@alumno.ipn.mx

Oscar Eduardo Ramírez Lucero - L20770180@itvalletla.edu.mx

Rafael Pérez Pacheco – rperezp@ipn.mx

Rosa Isela Antonio Borjas - rantonio2400@alumno.ipn.mx

Sabino H. Martínez Tomas – smartinez@ipn.mx

Sergio Fabricio Cahuich Castillo - scahuichc2200@alumno.ipn.mx

NACIONALES

Alfonso Luna-Cruz - alfonso.luna@umich.mx

Antonio Villalobos González - villa101483@gmail.com

Carlos Fernández-Ríos - cfernandezrios1@gmail.com

Dr. Salvador Ordaz-Silva - salvador.ordaz.silva@uabc.edu.mx

Elizabeth Argüello García - arguello.elizabeth@colpos.mx

Esperanza Loera-Alvarado - esperanza.loera@umich.mx

Evert Villanueva Sánchez - evillanueva1206@gmail.com

Fernando Hernández-Baz - ferhbmex@yahoo.com.mx

Florinda García-Pérez - jafvavadoga@hotmail.com

Fulgencio Alatorre-Cobos - fulgencio.alatorre@cicy.mx

Gregorio Hernández Salinas - gregorio_18_18@live.com.mx

Jesús Alberto Camacho-Montoya - alberto.camacho.1848@outlook.com

Josefa A. Paat Estrella - josapaae@uacam.mx

Josefa de los Ángeles Paat Estrella - josapaae@uacam.mx

Juan Carlos Camacho-Chab - juanccam@uacam.mx

Juan Miguel Durán Lugo - jumduran@uacam.mx

María Edith Quezada Fadanelli - edith_quezada_p40@zongolica.tecnm.mx

María J. García-Ramírez - mjgarcia@uacam.mx

Mario Miranda-Salcedo - mmiranda8@hotmail.com

Mayra Yaneth de la Cruz de Jesús - yaneth_cj@zongolica.tecnm.mx

Mirna Isela Vallejo Nieto - mvallejo@ecosur.mx

Ricardo Isaac Márquez - ricisaac@uacam.mx

Silvia Sósol Sánchez - ssosols@huatusco.tecnm.mx

Sinue Isabel Morales Alonso - smorales@lasallebajio.edu.mx

Yolanda Rodríguez-Pagaza - ypagaza@hotmail.com

EXTRANJERO

Dr. Gonzalo Ivan Silva Aguayo. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Chile. gosilva@udec.cl

Dra. Leidy Julieth Salamanca-Canizales. Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA), Valle de Cauca, Colombia. ljsalamancac@unal.edu.co

Dra. Maureen Isabel Leyva-Silva. Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri, Departamento de Control de Vectores, La Habana, Cuba. maureen@ipk.sld.cu

M. en C. Oswaldo Rene Rodríguez-Flores. Universidad Nacional Agraria, Departamento de Protección Agrícola y Forestal, Laboratorio de Entomología Agrícola, Managua, Nicaragua. oroflores@yahoo.com

Comité Editorial

Editores en Jefes

Carlos Granados-Echegoyen

SECIHTI- Instituto Politécnico Nacional, Bioplanta – Unidad de Investigación y Colaboración para Bioensayos Entomológicos, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca), México. cgranadose@ipn.mx

Gustavo Hinojosa-Arango

SECIHTI- Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca), México. ghinojosa@ipn.mx

Editores Asociados

Dra. Nancy Alonso-Hernández. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca), México. nalonsoh@ipn.mx

Dra. Yolanda Donají Ortiz-Hernández. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca), México. yortiz@ipn.mx

Dr. Baldomero H. Zárate-Nicolás. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR Oaxaca), México. bzarate@ipn.mx

Responsables de la Edición

L. en E. Paulo Nava Arellanes

L. en E. Julio Alberto Alanis Rabanales

Departamento de Servicios Educativos
CIIDIR Oaxaca

La Revista Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca CCCTO, es una publicación del Instituto Politécnico Nacional (IPN) a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR Unidad Oaxaca), Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán C.P. 71230. Oaxaca, México.

Teléfono: (951) 517 0610 Ext. 82769

ccctociidiroaxaca@ipn.mx • <https://web.ciidiroaxaca.ipn.mx/cccto/>

ISSN: 2594-0171

Hecho en México

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca CCCTO es el instrumento de comunicación científica del CIIDIR Unidad Oaxaca dependencia del Instituto Politécnico Nacional. Los artículos originales, revisiones y notas que se publican en la revista son sometidos a un proceso de revisión en el que intervienen al menos dos evaluadores especializados de instituciones de diversos países.

Los volúmenes publicados están disponibles en acceso abierto en:

<https://web.ciidiroaxaca.ipn.mx/cccto/?q=numeros-publicados>

La reproducción por cualquier medio de los textos publicados en esta revista podrá hacerse siempre y cuando se cite la fuente, incluyendo el nombre del autor, el nombre y número de la revista, y la dirección electrónica de la misma. Asimismo, los contenidos se pueden copiar, distribuir, mostrar y utilizar para cualquier propósito que no sea comercial sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación Para más información escribir a:

ccctociidiroaxaca@ipn.mx • investigacionoaxaca@ipn.mx

Editores en Jefe:

Carlos Granados-Echegoyen / cgranadose@ipn.mx

Gustavo Hinojosa-Arango / ghinojosa@ipn.mx

Edición y Estilo: Nancy Alonso-Hernández / nalonsoh@ipn.mx

Coordinación Editorial: @somucaab A.C.

Para la conformación de este ejemplar se contó con la participación de profesores, investigadores, técnicos, estudiantes y profesionistas de diversas instituciones, quienes nos brindan una parte del quehacer científico que desempeñan en las diversas regiones de México y el mundo.

Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca, Año 9, Vol. 9, Núm. 9, diciembre 2025, es una publicación anual editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR – Unidad Oaxaca. Calle Hornos No. 1003, Col. Noche Buena, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. México, C.P. 71230. Teléfonos: 951 517 06 10, ext. 82769, <http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/cccto/>, Editor responsable: Dr. Carlos Granados-Echegoyen. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-060817174800–203. ISSN: 2594-0171, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Unidad de Informática del CIIDIR – UNIDAD OAXACA del IPN: L.I. Justo César Marcial Aguilera. Fecha de la última modificación, 31 diciembre de 2025. Tiraje: 100 ejemplares.

PRESENTACIÓN

El volumen 9, número 9 (2025) de la Revista Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca (CCCTO) reúne una selección amplia y diversa de investigaciones que reflejan el compromiso de la comunidad científica con la generación de conocimiento pertinente, multidisciplinario y socialmente útil. En esta edición se integran aportes que abordan problemáticas actuales desde perspectivas agroecológicas, ambientales, biotecnológicas, socioculturales, tecnológicas y de gestión territorial, mostrando la riqueza académica de las instituciones participantes y la relevancia de su trabajo para el desarrollo regional, nacional e internacional.

El eje conceptual que articula este número denominado “*Conocimiento biocultural y tecnología aplicada para la sustentabilidad*” se fortalece a través de estudios que examinan la transformación del territorio y los recursos naturales mediante metodologías geoespaciales, el aprovechamiento de cultivos domésticos y semillas nativas, la práctica ancestral de la entomofagia en un contexto urbano, así como investigaciones sobre cestería tradicional, bioculturalidad, agroecología, producción agrícola y manejo sustentable de los recursos. Asimismo, se presentan contribuciones que exploran innovaciones tecnológicas y metodológicas dentro de la ingeniería, tales como la caracterización de lixiviados, el análisis de filtros activos y el uso de drones para la estimación de la altura del maíz, evidenciando cómo la ciencia aplicada impulsa mejoras en la producción agrícola y la gestión ambiental. Este volumen también incluye trabajos sobre biodiversidad, flora, hongos endófitos, procesos ecológicos y dinámicas comunitarias vinculadas con ecosistemas clave como manglares y dunas costeras.

En el ámbito de la producción y protección vegetal, se incorporan investigaciones relacionadas con el germoplasma de arroz, propagación vegetal, biopreparados, microorganismos antagónicos y entomopatógenos, así como prácticas tradicionales de cultivo que refuerzan la resiliencia socioecológica y la soberanía alimentaria. Estos aportes resaltan la importancia de la ciencia para fortalecer estrategias de conservación, mejorar la productividad y promover sistemas agroalimentarios sostenibles. Cada artículo contenido en este volumen es el resultado del esfuerzo conjunto entre investigadores, estudiantes, técnicos y profesionales de distintas instituciones nacionales e internacionales. Agradecemos profundamente su participación, el rigor de su trabajo y la confianza depositada en esta revista como un espacio para compartir sus avances.

Con esta edición, reafirmamos nuestro compromiso con el acceso abierto, la divulgación responsable y la promoción del conocimiento científico como herramienta para el bienestar social. Invitamos a la comunidad lectora a explorar estos trabajos, reflexionar sobre su contenido y continuar impulsando la generación de alternativas que contribuyan al desarrollo sostenible de Oaxaca, México y el mundo.

Huélum, Huélum... ¡Gloria!

Editores

CONTENIDO

Administración y Seguridad Alimentaria

- 1 Metodología de análisis espacial para la planeación y conservación de los recursos naturales en Oaxaca 14**
Marco Aurelio Acevedo-Ortiz, Gema Lugo-Espinosa*, Fernando Elí Ortiz-Hernández
- 2 Usos alternativos de cultivos domésticos y semillas en Valles centrales, Oaxaca. Una visión campesinista 22**
Gema Lugo-Espinosa, Marco Aurelio Acevedo-Ortiz*, Teodulfo Aquino-Bolaños
- 3 Entomofagia en Oaxaca: una práctica ancestral vigente en México 29**
Tamara Aquino-Aguilar*, Yolanda Donají Ortiz-Hernández, Jesús Andrés Morales-López, Teodulfo Aquino-Bolaños, Tlacaelel Aquino-López, Keyla Cruz-García
- 4 Cestería: plantas utilizadas por las comunidades mayas de Camino Real en Campeche, México 38**
José R. Tucuch-Tun, William Cetzal-Ix*, Héctor M. J. López-Castilla

Ingeniería y Métodos Computacionales

- 5 Evaluación del estado actual y determinación de la madurez de los lixiviados de un relleno sanitario costero en Campeche, México 47**
Alberto Efrén Chab-Ruíz, Wendy Paloma Mas-Ku, Pedro Alberto Camacho-Chab*, Juan Pablo Ek-Huchim, Carolina Flota-Bañuelos, Ligia Marina Pech-Canul, Ismerái Cruz-Burgos
- 6 Análisis de la respuesta en frecuencia de un “filtro activo pasa bajas” a partir del método de polos y ceros 61**
César Hernández-Sánchez*, Pedro Sánchez-Santiago*, Franco Gabriel Caballero-Julián, Álvaro César Guevara-Ramírez, Héctor Javier Jarquín-Flores, Rosa Isabel Hernández-Sánchez
- 7 Estimación de la altura del maíz a través de imágenes de alta resolución obtenidas con un DRON 68**
Gonzalo Neftaly Gijón-Yescas, Pedro Salvador-Morales*, Yameli Aguilar-Duarte, Enrique Arcocha-Gómez, Noel Antonio González-Valdivia, Brallan Chan-Ek, Zeyli Alejandra Pineda-León

Patrones y Procesos de la Biodiversidad

- 8 Presencia de plaguicidas en cera de abejas colectadas de apiarios en dos tipos de paisajes en Campeche 76**
Azucena Vargas-Valero* Julio Cesar Espinoza-Hernández, Rubén G. Medina-Hernández, Jorge A. Vivas-Rodríguez, Daniel Dzul-Uuh
- 9 Distinción y diversidad taxonómicas de la flora de las dunas costeras de Campeche, México 83**
René Efraín Canché-Solís, Mónica Beatriz López-Hernández, Ariel Miguel Villarino-Valdivieso, Gustavo Enrique Mendoza-Arroyo*
- 10 Perspectivas biotecnológicas de hongos endófitos asociados a poáceas distribuidas en climas tropicales 94**
Tatiana Esperanza Vales-Bautista, Milton Carlos Soto-Barajas, José Efraín Ramírez-Benítez, Norma Laura Rodríguez-Ávila*
- 11 Actividades asociadas al manglar: dinámicas locales de uso y conservación en la costa de Tabasco, México 104**
Carlos Alberto Martínez-Márquez*, Ángel Sol-Sánchez, Juan Manuel Zaldívar-Cruz

Producción y Protección Vegetal

- 12 Características de germoplasma de arroz en conidios de temporal** 115
Antonio Villalobos-González, Mónica Beatriz López-Hernández*, Leonardo Hernández-Aragón, Enrique Arcocha-Gómez, Pedro Salvador-Morales
- 13 Viabilidad de la inocuidad de tres cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato para su aplicación en campo** 121
Juan Carlos Camacho-Chab*, Mirna Merina Gutiérrez-Gómez, Carmen Abril Ojeda-Aldana, María Manuela Reyes-Estébanez, Manuel Jesús Chan-Bacab, Benjamín Otto Ortega-Morales, Karen D. Atenea Priego-Delgado, Rodrigo Enrique Tun-Che
- 14 Efecto de las fases lunares en el acomodamiento de *Brosimum alicastrum* Swartz** 130
María de los Ángeles Novelo-Pérez, Noel Antonio González-Valdivia, Víctor Daniel Cuervo-Osorio, Enrique Arcocha-Gómez, Bernardino Candelaria-Martínez*
- 15 Efecto de arreglos hormonales y luz LED en la germinación *in-vitro* de palma jipi (*Carludovica palmata* Ruiz & Pavón)** 136
María Jesús Sarao-Pech, Karina Verdel-Aranda, Delfina Margarita Chan-Uc, Lorena Guadalupe Ramón-Canul, Gerardo Alfonso Avilés-Ramírez, Norma Laura Rodríguez-Ávila*
- 16 Efecto del sustrato en la propagación de estacas de pitahaya** 141
Hermenegildo Cerqueda-Reyes, Yolanda Donají Ortiz-Hernández*, José Cruz Carrillo Rodríguez
- 17 Germinación de semillas de tres especies de *Hylocereus*** 148
Hermenegildo Cerqueda-Reyes, Yolanda Donají Ortiz-Hernández*, José Cruz Carrillo-Rodríguez
- 18 Aislamiento de microorganismos del suelo con capacidad antagónica y entomopatógena en San Vicente, Baja California** 155
Salvador Elizarrarás-López, Salvador Ordaz-Silva, Jorge Luis Delgadillo-Ángeles, José Guadalupe Pedro-Méndez*, Imelda, Nancy Alonso-Hernández, Laura Dennisse Carrasco-Peña, Carlos Granados-Echegoyen
- 19 Etnobotánica del gigantón (*Tithonia diversifolia* L.) en comunidades nahuas de Zongolica, Veracruz, México** 160
Dulce María Hernández-Tepole, Ricardo Serna-Lagunes, César Sotelo-Leyva, Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera, Carlos Granados-Echegoyen, Rogelio Limón-Rivera, Gregorio Hernández-Salinas*
- 20 Diagnóstico participativo de productores y comerciantes en mercados locales de los Valles Centrales de Oaxaca: hacia una transición agroecológica y una economía circular comunitaria** 168
Nancy Alonso-Hernández*, Carlos Granados-Echegoyen, Rafael Pérez-Pacheco, Baldomero H. Zárate-Nicolás, José Abimael Campos-Ruiz
- 21 Efectividad biológica de productos para el control del nematodo agallador bajo condiciones de invernadero** 175
Saúl Morales-Martínez, Ixtlali Esmeralda Vázquez-De la Cruz, Imelda V. López-Sánchez, Gerardo Montelongo Ruíz-Gerardo, Julio Cesar Chacón-Hernández, Salvador Ordaz-Silva*, José G. Pedro-Méndez
- 22 Colonización micorrízica en raíces de *Alamania punicea* Lex. creciendo en diferentes forofitos** 179
Evelyn Abril Carlos-Fernández, Demetria Mondragón-Chaparro*, Gustavo Ramiro Hernández-Álvarez, Delia A. Cuevas-Aguirre

The background of the page is a repeating pattern of light brown butterflies and leaves on a white background. The butterflies are scattered across the page, and the leaves are small and simple in design.

Administración y Seguridad Alimentaria

Metodología de análisis espacial para la planeación y conservación de los recursos naturales en Oaxaca

Marco Aurelio Acevedo-Ortiz¹, Gema Lugo-Espinosa^{1*}, Fernando Elí Ortiz-Hernández²

¹SECIHTI-Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. ²Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacán, Ciudad de México, México. *Autor para correspondencia: glugoe@ipn.mx

Recibido: 29/09/25; Aceptado: 15/11/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La transformación de los paisajes en Oaxaca ha sido impulsada por factores ambientales, económicos y sociales que han modificado el uso de suelo, la cobertura vegetal y la disponibilidad de recursos, afectando la producción de alimentos y la conservación de la biodiversidad. Para comprender estas dinámicas, se propone una metodología basada en el uso de información geoespacial y socioeconómica de INEGI y SISPLADE, integrada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta metodología combina el análisis espacial con entrevistas semiestructuradas y talleres comunitarios, lo que permite detectar transiciones de uso de suelo, visualizar patrones de cambio y contextualizar las causas sociales detrás de estas transformaciones. Los resultados, representados en mapas y gráficas, se convierten en herramientas que facilitan el diálogo entre comunidades, técnicos y autoridades, fortaleciendo la planeación territorial y la toma de decisiones. Su carácter participativo genera propuestas de manejo con mayor legitimidad y viabilidad de implementación. Este enfoque es replicable y adaptable a otras regiones que buscan equilibrar producción agrícola, conservación de la biodiversidad y bienestar comunitario, contribuyendo a la gobernanza local y al diseño de políticas públicas para el manejo sostenible del territorio.

Palabras clave: metodología, análisis espacial, SIG, gobernanza territorial, conservación, participación comunitaria.

ABSTRACT

Landscape transformation in Oaxaca has been driven by environmental, economic, and social factors that have altered land use, vegetation cover, and the availability of resources, with direct implications for food production and biodiversity conservation. To better understand these dynamics, this study proposes a methodology that integrates geospatial and socio-economic information from INEGI and SISPLADE using Geographic Information Systems (GIS). The approach combines spatial analysis with semi-structured interviews and community workshops, enabling the detection of land-use transitions, the visualization of spatial patterns, and the identification of the social drivers behind these changes. The results, presented as maps and trend charts, become practical tools that facilitate dialogue among communities, technical teams, and decision-makers, strengthening territorial planning and collective decision-making. By incorporating local knowledge, the methodology fosters management proposals with greater legitimacy and higher chances of implementation. Its replicable and adaptable nature makes it valuable not only for the municipalities of Oaxaca but also for other regions seeking to balance agricultural production, biodiversity conservation, and community well-being, thus contributing to local governance and the design of public policies for sustainable land management.

Key words: methodology, spatial analysis, GIS, territorial governance, conservation, community participation.

INTRODUCCIÓN

La transformación de los paisajes en las últimas décadas ha sido impulsada por factores ambientales, económicos y sociales que modifican el uso de suelo, la cobertura vegetal y la disponibilidad de recursos (Acevedo-Ortiz et al., 2024). Estas dinámicas influyen directamente en la producción de alimentos, la seguridad hídrica y la conservación de la biodiversidad, lo que convierte su análisis en

una prioridad para la gestión sostenible de los territorios (Lugo-Espinosa et al., 2024; Lugo-Espinosa et al., 2025).

Para comprender estos cambios, es indispensable contar con información geográfica confiable y actualizada. En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) provee datos esenciales sobre relieve, vegetación, clima, suelos, agua y localidades, disponibles tanto en cartas impresas como en cartografía digital. Este acervo incluye información de geodesia, que establece el marco de referencia cartográfico nacional; topografía, que describe el relieve y las construcciones humanas; y toponimia, que ubica geográficamente y administrativamente los lugares. Además, integra información sobre recursos naturales, cartografía urbana de localidades con más de 2,500 habitantes, el Marco Geoestadístico para georreferenciar censos y encuestas, así como datos catastrales y de fotogrametría para una interpretación detallada del territorio (INEGI, 2024).

En el caso de Oaxaca, esta información se articula con el Sistema de Información para la Planeación del Desarrollo (SISPLADE), que funge como una plataforma de apoyo para la toma de decisiones y la priorización de proyectos de inversión pública. Este sistema reúne datos sobre el estado del desarrollo municipal y los recursos disponibles, lo que permite elaborar diagnósticos más precisos y establecer prioridades para la planeación a mediano y largo plazo. Además, estructura el proceso de planeación en componentes que van desde la recopilación de información hasta la evaluación de resultados, ofreciendo a los gobiernos municipales y estatales un panorama integral para orientar el ordenamiento territorial y los planes de desarrollo (SISPLADE, 2025).

El uso combinado de estas fuentes de información se ve potenciado por los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten integrar datos geoespaciales, estadísticos y socioeconómicos en un entorno unificado (Jonker, 2023). Mediante los SIG es posible analizar cambios de uso de suelo, detectar patrones espaciales, generar mapas temáticos y evaluar escenarios de manejo. Estas herramientas facilitan la visualización de dinámicas complejas, la identificación de áreas prioritarias para conservación o restauración y la generación de evidencia que sustente las decisiones de política pública. El acceso creciente a plataformas digitales y servicios de cartografía en línea ha ampliado las posibilidades de participación de investigadores, autoridades y comunidades, favoreciendo procesos de planeación más informados y colaborativos.

Este trabajo tiene como objetivo presentar una metodología replicable que integra información geográfica nacional y herramientas de SIG para analizar las dinámicas territoriales en el estado de Oaxaca, generar evidencia que oriente la planeación municipal y fortalecer las acciones de conservación de los recursos naturales en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología comienza con la recopilación de información geoespacial y socioeconómica que permite caracterizar el territorio y entender su evolución en el tiempo. Para ello se utilizan las series históricas de uso de suelo y vegetación de INEGI (INEGI, 1992, 2001, 2005, 2009, 2013, 2017, 2021), junto con información demográfica y social proveniente de censos (INEGI, 2025). Esta base se complementa con los planes de desarrollo municipal del estado de Oaxaca (SISPLADE, 2025) y con registros de áreas destinadas a la conservación (CONANP, 2025), lo que facilita relacionar los datos espaciales con los instrumentos de planeación vigentes).

Además de las fuentes oficiales, la metodología incluye entrevistas semiestructuradas y recorridos de observación participativa para recuperar el conocimiento local sobre el uso histórico del territorio y dar contexto a los cambios observados. Así, el diagnóstico combina información cuantitativa y la experiencia de las comunidades, ofreciendo un panorama integral (Figura 1).

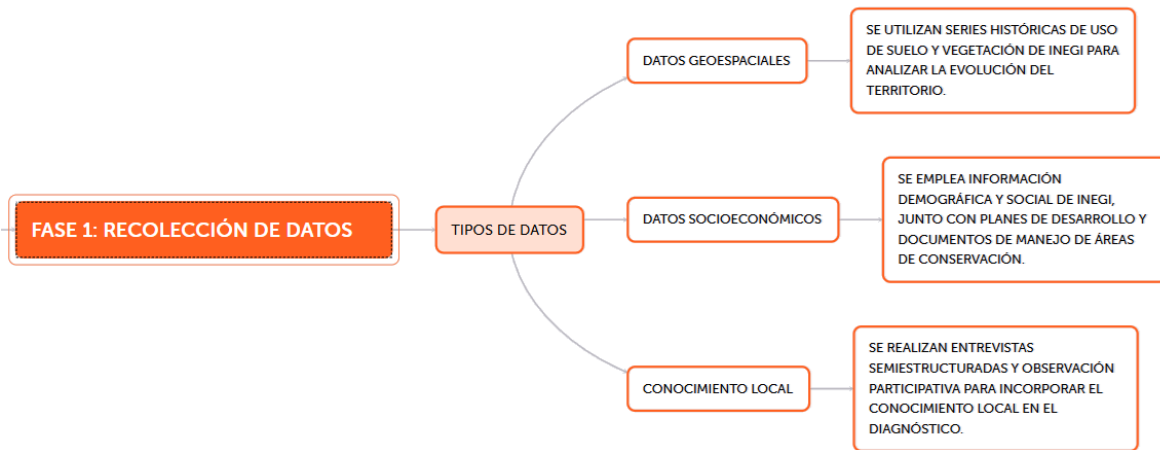


Figura 1. Proceso de recolección de datos en el análisis espacial: integración de información geoespacial, socioeconómica y participativa.

Una vez integrada, la información se homogeniza en un mismo sistema de referencia espacial para garantizar su consistencia. Con esta base se aplican herramientas de geoprocésamiento en software SIG—como *intersect*, *clip* y *dissolve*— que permiten identificar transiciones de uso de suelo, calcular superficies por categoría y generar productos cartográficos. Estos se presentan en forma de mapas temáticos y gráficas de tendencia, lo que facilita interpretar las dinámicas de transformación del paisaje y brinda insumos para la validación comunitaria y la toma de decisiones (Figura 2).

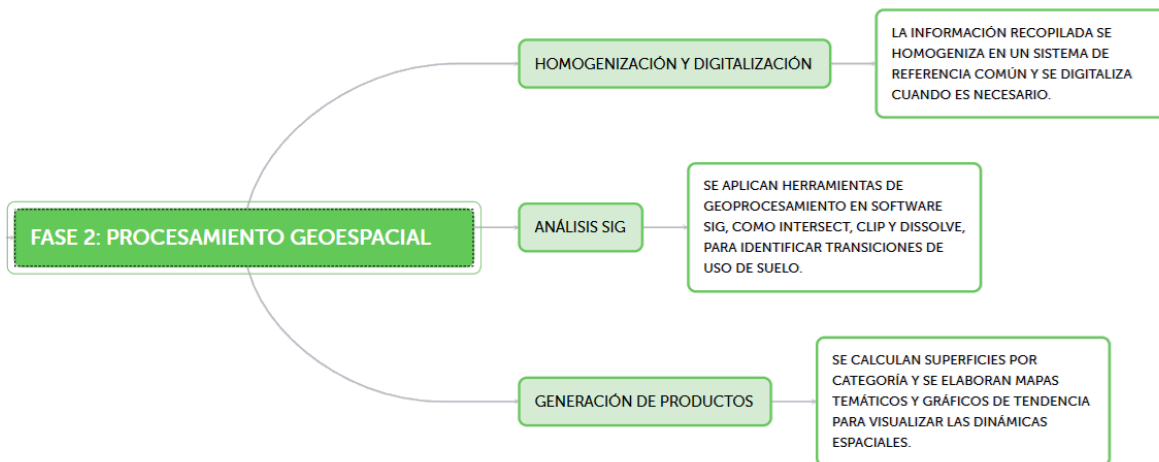


Figura 2. Procesamiento de datos geoespaciales para identificar transiciones de uso de suelo y producir resultados cartográficos.

Los resultados preliminares se presentan en talleres comunitarios, donde se comparan las interpretaciones técnicas con el conocimiento local. Estos espacios van más allá de la simple validación, pues fomentan el diálogo y la construcción de acuerdos colectivos, asegurando que los

productos finales tengan sentido para quienes habitan el territorio y que las propuestas de conservación cuenten con su respaldo (Figura 3).

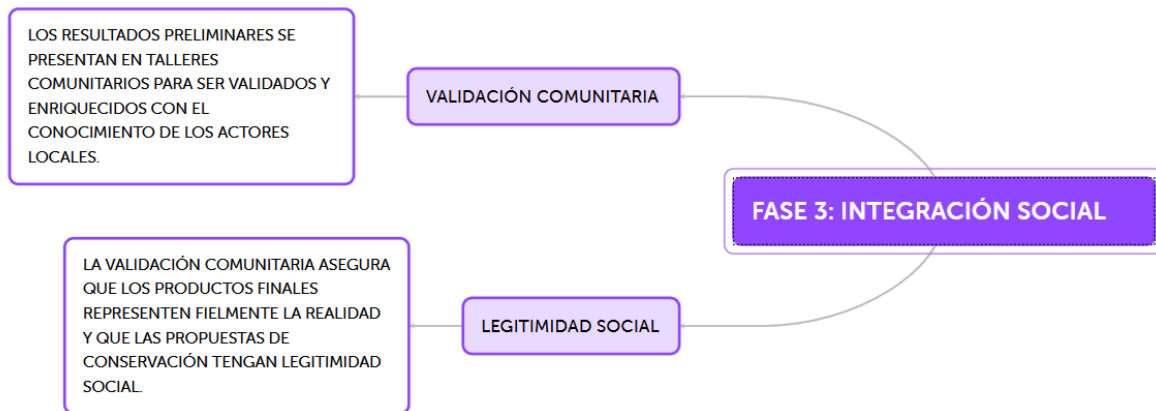


Figura 3. Representación de la integración social: incorporación del conocimiento local y construcción de acuerdos comunitarios.

Finalmente, los hallazgos se comunican en formatos accesibles —mapas impresos, infografías, reportes y presentaciones— que pueden ser discutidos en asambleas comunitarias y reuniones de planeación. La meta es que la información sea apropiada por la población y sirva para orientar planes de manejo, restauración o proyectos de conservación, convirtiéndose en una herramienta práctica para la gestión del territorio (Figura 4).



Figura 4. Estrategias de comunicación de resultados: mapas, infografías y presentaciones para motivar la acción en el territorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de esta metodología ha permitido reconocer de manera clara los patrones de transformación del territorio. En los municipios de Santa María Jacatepec (Figura 5), San Juan Bautista Valle Nacional (Figura 6) y San José Chiltepec (Figura 7), se han identificado áreas que muestran recuperación de vegetación secundaria, parcelas que han mantenido su uso agrícola y zonas que han cambiado de categoría de uso de suelo de forma más acelerada (Acevedo-Ortiz et al., 2024; Lugo-Espinosa et al., 2024; Lugo-Espinosa et al., 2025).

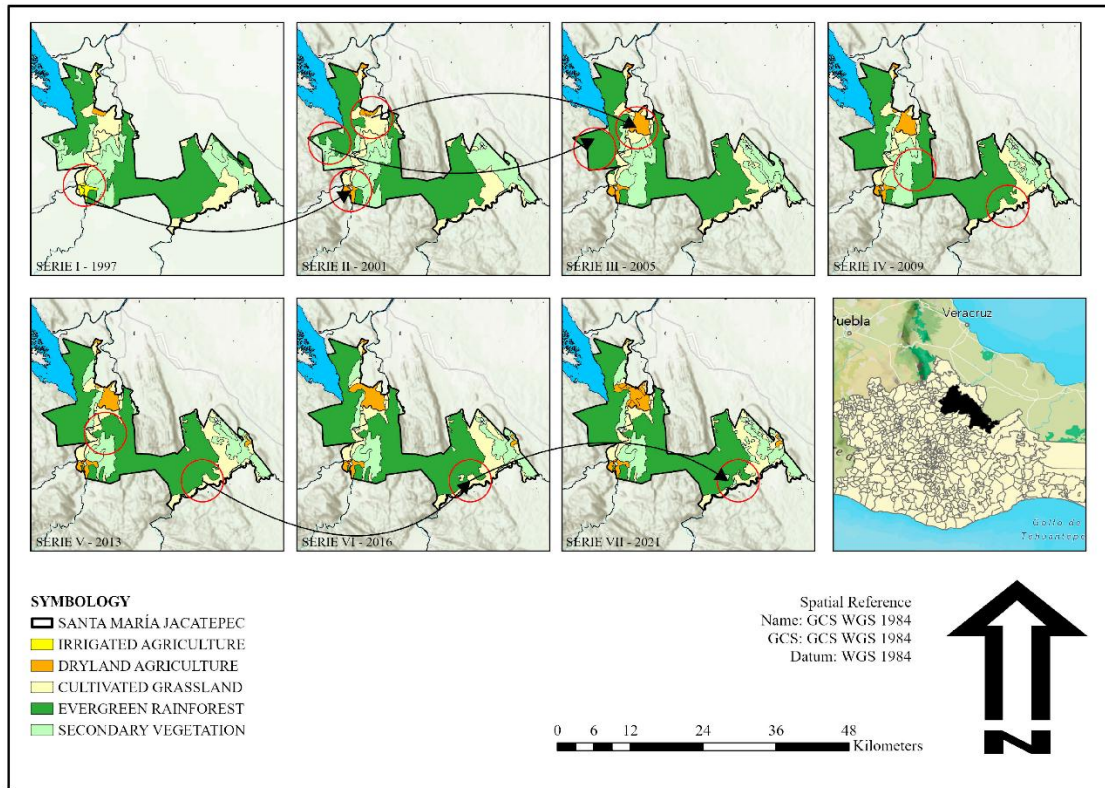


Figura 5. Cambio de uso de suelo en Santa María Jacatepec en Lugo-Espinosa et al. (2025).

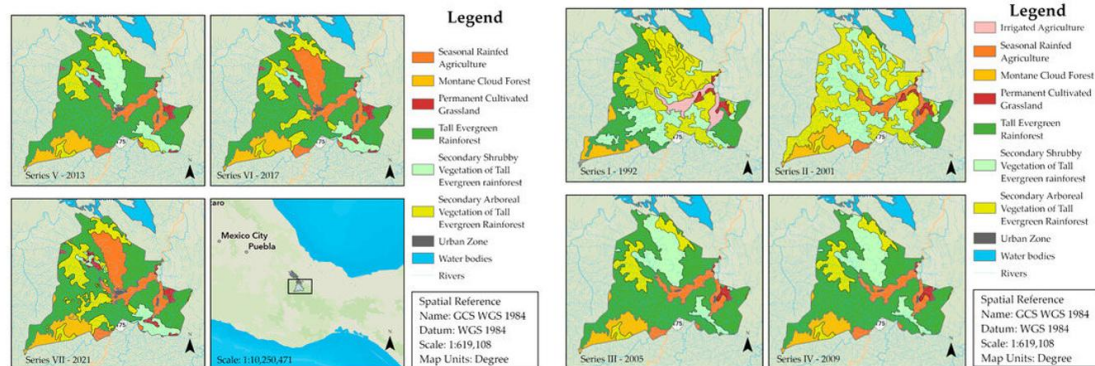


Figura 6. Cambio de Uso de Suelo en San Juan Bautista Valle Nacional en Lugo-Espinosa et al. (2025).

Estos hallazgos no solo se expresan en cifras o porcentajes: al transformarse en mapas y gráficas, se vuelven herramientas de trabajo para las comunidades y los equipos técnicos (Ungar et al., 2020; Martínez-Casas, 2022). Ver el territorio en un mapa, con los cambios resaltados, facilita la conversación sobre qué áreas restaurar, dónde mantener la producción agrícola o qué sitios proteger a largo plazo contribuyendo a la resiliencia de las comunidades (Ford et al., 2020; Torre, 2025). El componente social de la metodología es fundamental para interpretar estos resultados (Ostrom, Janssen, & Anderies, 2007; Ungar et al., 2020; Acevedo-Ortiz et al., 2022; Washington et al., 2024). Las entrevistas y los talleres participativos permiten identificar las razones detrás de los cambios: la migración que ha dejado parcelas en descanso, la presión ganadera que reduce la regeneración de

bosques o la influencia de programas de conservación que incentivan la protección de ciertas áreas (Figura 8).

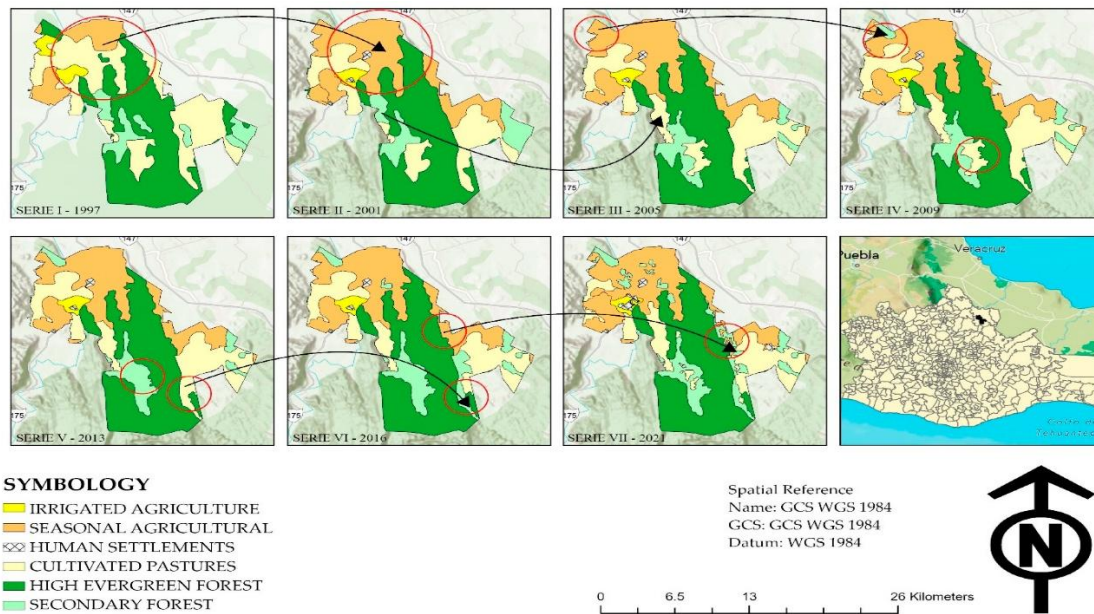


Figura 7. Cambio de uso de suelo en San José Chiltepec en Acevedo-Ortiz *et al.* (2024)



Figura 8. Procesos participativos para la gestión territorial: A) Identificación de comunidades prioritarias, B) Reconocimiento colectivo del territorio.

Este diálogo ayuda a que las propuestas de manejo no se queden en el plano técnico, sino que reflejen las prioridades y el conocimiento de quienes habitan el territorio (Mishra et al., 2017; Sánchez & Robson, 2022). Al combinar el análisis geoespacial con el conocimiento local (Ostrom, 2000; Karelakis et al., 2013) se logra algo más que un diagnóstico: se construyen acuerdos colectivos sobre el futuro del territorio (Slocum et al., 1995; Ostrom et al., 2007; Ortuño et al., 2022). Esto fortalece la gobernanza, legitima las acciones de conservación y aumenta la posibilidad de que los planes de manejo se lleven a cabo de manera sostenida en el tiempo.

CONCLUSIÓN

El análisis espacial, combinado con datos socioeconómicos y procesos participativos, ofrece más que un diagnóstico: se convierte en una herramienta de diálogo y planeación que empodera a las comunidades y fortalece la gobernanza local. Esta metodología demuestra que es posible traducir

información compleja en productos visuales comprensibles que facilitan la toma de decisiones, priorizan acciones y generan acuerdos colectivos. Su carácter replicable la hace útil no solo para los municipios de Oaxaca, sino para otras regiones que buscan equilibrar producción agrícola, conservación de la biodiversidad y bienestar comunitario. Aplicada de manera continua, esta estrategia puede apoyar la actualización de ordenamientos territoriales, el monitoreo de cambios de uso de suelo y el diseño de políticas públicas que reconozcan el papel de las comunidades en la gestión sostenible de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de EcoLogic Development Fund que facilitó el acceso a software geoespacial y tecnología para el diseño de la metodología. A la Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) y al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por todas las facilidades y apoyo brindado para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- Acevedo-Ortiz, M. A., Lugo-Espinosa, G., Ortiz-Hernández, Y. D., & Ortiz-Hernández, F. E. (2022). Herramientas metodológicas en procesos participativos en comunidades rurales para la conservación de recursos naturales. En M. E. Tavera-Cortés (Ed.), *Estrategias para el desarrollo sostenible en México* (pp. 93–106). Texcoco, Estado de México: Editorial ASMIIA.
- Acevedo-Ortiz, M. A., Lugo-Espinosa, G., Ortiz-Hernández, Y. D., Pérez-Pacheco, R., Ortiz-Hernández, F. E., Martínez-Tomás, S. H., et al. (2024). Nature-Based Solutions for Conservation and Food Sovereignty in Indigenous Communities of Oaxaca. *Sustainability*, 16(18), 8151.
- CONANP. (2025). Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación, Mapa Interactivo. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Recuperado el 29/09/2025, de <https://sig.conanp.gob.mx/ADVC#4/22.53/-102.55>
- Ford, J. D., King, N., Galappaththi, E. K., Pearce, T., McDowell, G., & Harper, S. L. (2020). The Resilience of Indigenous Peoples to Environmental Change. *One Earth*, 2(6), 532–543.
- INEGI. (1992). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie I. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24/04/2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007020..>
- INEGI. (2001). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie II. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24/04/2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007021.>
- INEGI. (2005). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24/04/2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007022.>
- INEGI. (2009). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie IV. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24/04/2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007023.>
- INEGI. (2013). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie V. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24/04/2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007024.>
- INEGI. (2017). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24/04/2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459.>
- INEGI. (2021). Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación. Serie VII. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 24/04/2025, de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781.>
- INEGI. (2024). Quiénes somos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 29/09/2025, de <https://www.inegi.org.mx/inegi/contenido/infogeo.html>.
- INEGI. (2025). Datos abiertos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 10/06/2025, de <https://www.inegi.org.mx/datosabiertos/>

- Jonker, A. (2023). ¿Qué es un SIG (sistema de información geográfica)? IBM. Recuperado el 29/09/2025, de <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/geographic-information-system>.
- Karelakis, C., Zafeiriou, E., Galanopoulos, K., & Koutroumanidis, T. (2013). Natural resources in regional and rural development: moving from public perceptions to policy action. *New Medit*, 12(1), 56–65.
- Lugo-Espinosa, G., Acevedo-Ortiz, M. A., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., Ortiz-Hernández, F. E., Pérez-Pacheco, R., et al. (2024). Cultural Heritage, Migration, and Land Use Transformation in San José Chiltepec, Oaxaca. *Land*, 13(10), 1658.
- Lugo-Espinosa, G., Acevedo-Ortiz, M. A., Ortiz-Hernández, Y. D., Ortiz-Hernández, F. E., & Tavera-Cortés, M. E. (2025). Land Use Change and Biocultural Heritage in Valle Nacional, Oaxaca: Women's Contributions and Community Resilience. *Land*, 14(9), 1735.
- Martínez-Casas, R. (2022). Todo sea para el Desarrollo: El reacomodo de comunidades indígenas por la construcción de represas en el Alto Papaloapan. *O Público e o Privado*, 20.
- Mishra, C., Young, J. C., Fiechter, M., Rutherford, B., & Redpath, S. M. (2017). Building partnerships with communities for biodiversity conservation: lessons from Asian mountains. *Journal of Applied Ecology*, 54(6), 1583–1591.
- Ortuño, M., De Los Ríos, I., & Sastre-Merino, S. (2022). The development of skills as a key factor of the cooperative system: analysis of the cooperative of artisan women tejemujeres-gualaceo-ecuador from the WWP model. *Sustainability*, 14(23), 16233.
- Ostrom, E. (2000). Diseños complejos para manejos complejos. *Gaceta Ecológica*, 43–58.
- Ostrom, E., Janssen, M. A., & Anderies, J. M. (2007). Going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(39), 15176–15178.
- Sánchez, C. M., & Robson, J. P. (2022). Avanzando con los tiempos: jóvenes, bienes comunes y desarrollo comunitario. *Medio Ambiente y Urbanización*, 96(1), 33–62.
- SISPLADE. (2025). SISPLADE - INPLAN Oaxaca. Sistema de Información para la Planeación del Desarrollo. Recuperado el 29/09/2025, de <https://sisplade.oaxaca.gob.mx/sisplade/>.
- Slocum, R., Wichhart, L., Rocheleau, D. E., & Thomas-Slayter, B. P. (1995). Power, process and participation: tools for change. Intermediate Technology Publications.
- Torre, A. (2025). Contribution to the theory of territorial development: a territorial innovations approach. *Regional Studies*, 59(1), 2193218.
- Ungar, M., McRuer, J., Liu, X., Theron, L. C., Blais, D., & Schnurr, M. A. (2020). Social-ecological resilience through a biocultural lens: a participatory methodology to support global targets and local priorities. *Ecology and Society*, 25.
- Washington, S. A., Johnson, L., & Mendoza Chui, K. (2024). Indigenous Methodologies in International Research on Indigenous Family and Community Engagement. *Review of Educational Research*, 00346543241279565.

Usos alternativos de cultivos domésticos y semillas en Valles Centrales, Oaxaca. Una visión campesinista

Gema Lugo-Espinosa¹, Marco Aurelio Acevedo-Ortiz^{1*}, Teodulfo Aquino-Bolaños¹

SECIHTI-Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: macevedoo@ipn.mx

Recibido: 29/09/25; Aceptado: 05/10/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

El constante intercambio de mercancías tecnificadas, la producción a gran escala y la apertura comercial a empresas transnacionales ha generado que la agricultura sea gradualmente desplazada, por dar paso a nuevas actividades alternativas a la economía campesina. En una forma de resistencia, la población resguarda sus saberes en su cotidianidad, haciendo uso común de los cultivos que siembran en sus parcelas y traspatios. El Objetivo es analizar los usos tradicionales de los cultivos domésticos y semillas nativas a nivel comunitario. Para ello, se realizó una metodología con diseño cualitativo, observación directa, entrevistas no estructuradas, información documental y análisis de contenido con base en la etnografía. Los resultados indican que los cultivos tienen (1) usos gastronómicos, (2) usos para salud (3) usos para limpieza, (4) usos de intercambio y venta. A través de estas formas de uso, los productores otorgan valor económico, social, productivo y simbólico a sus productos, lo que contribuye a su bienestar familiar, promueve la reproducción y cuidado de sus cultivos revitalizando la agricultura.

Palabras clave: Usos tradicionales, saberes ancestrales, producción artesanal, campesinos, maíz.

ABSTRACT

The constant exchange of technologically advanced goods, large-scale production, and the opening of trade to transnational companies have led to the gradual displacement of agriculture, giving way to new alternative activities within the peasant economy. As a form of resistance, local populations preserve their traditional knowledge in daily life, making common use of the crops they cultivate in their plots and backyards. The objective of this study is to analyze the traditional uses of domestic crops and native seeds at the community level. To this end, a qualitative methodology was developed that included direct observation, unstructured interviews, documentary research, and content analysis based on ethnographic methods. The results indicate that crops serve (1) gastronomic, (2) health and cosmetic, (3) cleaning, and (4) exchange and commercial purposes. Through these uses, producers attribute economic, social, productive, and symbolic value to their products, which contributes to family well-being, promotes the reproduction and care of their crops, and revitalizes agriculture.

Key words: Traditional uses, ancestral knowledge, artisanal production, farmers, corn.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades rurales, entendidas como espacios sociales, políticos, territoriales y culturales donde convergen múltiples dinámicas de la población, se desarrollan en territorios que poseen recursos naturales aprovechados mediante actividades productivas primarias. La relación entre campesino y tierra encierra un valor y una fuerza que posibilitan la generación de medios de vida sostenibles, ya que el trabajo colectivo contribuye a conservar la tierra y aprovechar sus bondades a través de cultivos de temporal y de riego. Las oportunidades de desarrollo surgen de las dinámicas productivas propias de cada zona rural. En la Región de Valles Centrales, por ejemplo, coexiste una amplia gama de actividades como la producción agrícola, la elaboración de artesanías, la venta de alimentos y bebidas tradicionales, así como la demostración de parcelas en eventos culturales que combinan agroturismo y recreación temática. Sin embargo, la creciente precarización de las actividades agrícolas y la falta de empleos estables impulsan la búsqueda de alternativas y fomentan

la emigración. El objetivo de esta investigación es analizar los usos tradicionales de los cultivos domésticos y las semillas para fortalecer las prácticas de preservación a nivel comunitario. El principal vacío de información que se busca atender es el reconocimiento y la valoración de los saberes tradicionales desde una visión integral de las comunidades indígenas. Dichos conocimientos constituyen una fuente de bienestar y permiten el uso adecuado de los recursos naturales mediante el manejo de cultivos nativos que son sembrados, preservados y cosechados, asegurando la continuidad de un ciclo de producción y protección vegetal que incide indirectamente en la calidad de vida de la población.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología tiene un diseño cualitativo, las herramientas metodológicas fueron observación directa, entrevistas no estructuradas, información documental y análisis de contenido con base en la etnografía. El estudio consistió en tres fases: a) investigación documental, en la que se analizaron bases de datos oficiales a nivel municipal y estatal para constatar los elementos del contexto rural, b) trabajo de campo, en donde se realizaron recorridos en la zona de estudio antes, durante y después de los eventos programados para la exposición en torno al maíz; y c) análisis de contenido, en base a registros de observación y entrevistas no estructuradas de productores como punto de partida para generar una etnografía.

Zona de estudio. El sitio de estudio pertenece a Valles Centrales y corresponde a los municipios de Villa de Zaachila, Cuilápam de Guerrero y Santa Cruz Xoxocotlán (figura 1), donde se han llevado a cabo eventos de exposición en honor al maíz y productos agroalimentarios, con el apoyo institucional a nivel local y municipal estas comunidades presentan las principales cosechas que han tenido por la implementación de técnicas agroecológicas. El suelo dominante en esta zona es vertisol, lo cual permite cultivos de parcela y traspatio prósperos. La precipitación media anual es de 600-800 mm con un clima predominante semi cálido con vegetación es xerófila alterada por presión antropogénica (SISPLADE, 2024). En estas comunidades prevalece el comercio como actividad económica principal y adquiere un lugar importante en la elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal.

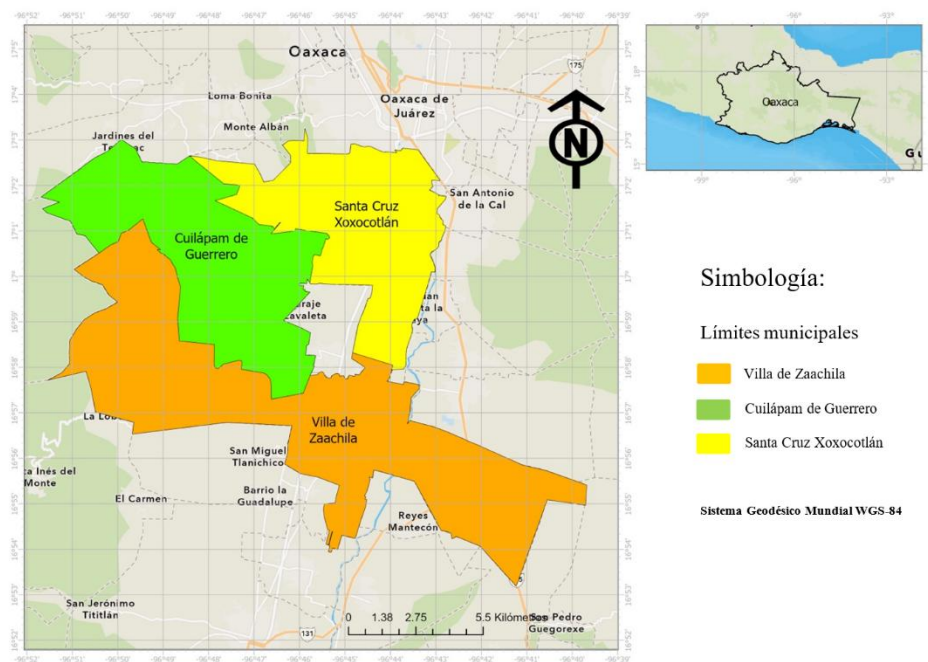


Figura 1. Ubicación de zona de estudio.

En esta zona de estudio, la población productora tiene orígenes indígenas zapoteca y su legado ancestral de cultivar la tierra proviene de años de historia de pueblos originarios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En una forma de transformar su producción, los productores junto con sus familias han adaptado sus saberes para la elaboración de productos derivados de los cultivos básicos de sus traspatios y parcelas. Otorgando el valor simbólico, en las semillas y material vegetativo se representan años de historia y cultura, como herencia de los pueblos indígenas. Se identificaron los siguientes usos:

Usos gastronómicos. La mayoría de los cultivos son de consumo local, debido a la producción a mediana escala, esto les permite comercializar en establecimientos de alimentos y bebidas que ofrecen en toda la zona urbana gastronomía típica local.

Usos de salud y cosmética. Los productores con el apoyo de sus familias se han dado a la tarea de innovar y proponer la elaboración de productos derivados que contribuyen al cuidado del cuerpo y la piel, con precios accesibles y elementos orgánicos han implementado estos elaborados que se desarrollan en talleres locales y escuelas de campo.

Usos de limpieza. Algunos productores compartieron que aplican infusiones de plantas, bio preparados y residuos de sus cultivos como una forma de mantener libres de pulgones e insectos rastrojos comunes.

Usos de intercambio y venta. Actualmente tienen apoyo de la Secretaría de Fomento agroalimentario y Desarrollo Rural (SEFADER) para capacitaciones técnicas en la producción y cuidado de sus semillas y hortalizas, además que se promueven espacios de intercambio, exposición y venta que contribuye al ingreso familiar con la llegada de visitantes y compradores locales (figura 2). Los productores definen el precio de sus cultivos y realizan intercambio de saberes locales y material de semillas, aprovechando al máximo los espacios de intercambio social y cultural.



Figura 2. Usos alternativos tradicionales y gastronómicos: A) productos agroalimentarios B) venta de productos artesanales C) intercambio de semillas y conocimientos entre productores.

En contexto de la dinámica socio productiva, las redes de apoyo generan sinergias que establecen seguridad y confianza entre los participantes de ferias y exposiciones, cabe señalar que en estas ferias acuden productores de otras comunidades periféricas de origen indígena, por lo que resulta un mosaico enriquecedor a nivel sociocultural. El intercambio de semillas y la interacción de conocimientos entre productores permite una adaptación estratégica del material de cultivos (Vernooy et al., 2017; Llamas-Guzmán et al., 2022), pues esta rotación de semillas fomenta la adaptación a la diversidad de suelos y la generación nuevos lotes.

Tal como lo señala Martínez-Salvador (2016) en estrategias de seguridad alimentaria, la oferta debe suponer a) suficiencia, b) estabilidad, c) autonomía, d) sustentabilidad e) inocuidad. Proponer la producción, transformación y comercialización de cultivos nativos contribuirá considerablemente a alcanzar estatus idóneos de seguridad alimentaria. Los usos alternativos registrados se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Variables de usos en cultivos básicos y semillas.

Planta	Nombre científico	Salud	Limpieza	Gastronómicos	Tradicionales
Ruda	<i>Ruta graveolens</i>	Jabones, Champú, Cremas o ungüentos	Preparados de infusiones concentrados para aplicar a cultivos y limpiar de pulgones	No se registró uso gastronómico	Sahumerios para armonizar espacios ahuyentar mosquitos y animales rastreros.
Hojas de guayaba y guayaba	<i>Psidium</i>	En infusiones para combatir dolor de estomago	No se registró este uso	atoles, cocteles y conservas de mermelada	Para adornar altares en festividades
Cebolla con ajo	<i>Allium cepa</i> y <i>Allium sativum</i>	Infusiones para tratar síntomas de gripe	Limpiar ollas de barro	Condimentos básicos de guisados variados típicos de valles centrales desde caldos hasta salsas	Ajo trenzado para que absorba la densidad del ambiente
Algodón	<i>Gossypium</i>	Auxiliar en curaciones	Limpiar heridas de cuerpo	no es comestible	Elaborar huipiles artesanales
Romero	<i>Salvia rosmarinus</i>	Champú para el crecimiento del cabello y control de canas	Barrer espacios reducidos y bio preparados	Guisados típicos	Sahumerios para armonizar espacios ahuyentar mosquitos y animales rastreros.
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	Infusiones de té para aliviar síntomas de gripe	Se usa su aroma para ahuyentar las moscas	Guisados, ensaladas de verduras, pastas	Como elemento decorativo que por su aroma agradable atrae la prosperidad de los negocios
Canela	<i>Cinnamomum verum</i>	En infusiones de té para aliviar problemas digestivos	Limpiar espacios y fregar pisos con un aroma natural	Atoles, pan tradicional, café, conservas de frutas, postres y platillos típicos	Sahumerios para armonizar los espacios
Hierba del conejo	<i>Tridax coronopifolia</i>	Auxiliar para contrarrestar dolores estomacales	No tiene este uso	Platillos típicos y tamales	Combatir resaca en infusiones
Maíz en diversas variedades	<i>Zea mays</i>	Atole para aumentar producción de leche materna	El olote de residuo se usa para armar una olotera y desgranar maíz	Tlayudas, tortillas, memelitas, atoles, empanadas, tamales, nicuatole, tejate	Base de la comida y rituales de agradecimiento a la tierra por el abasto y en ofrenda
Frijol en diversas variedades	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Aumenta los niveles de hierro, fortalece huesos	No se registró este uso	Platillos típicos: Enfrijoladas, tamales, memelitas	Intercambio de semillas para venta y siembra, en ofrenda

Planta	Nombre científico	Salud	Limpieza	Gastronómicos	Tradicionales
Cacahuate	<i>Arachis hypogaea</i>	No se registró este uso	No tiene este uso	Postres y botanas, guisados de pollo encacahuatado,	Es tradicional la siembra de cacahuate y nuez en esta comunidad
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Crema para el rostro y cuidado de la piel.	No tiene este uso	chocolate bebida típica, panes tradicionales, mole y postres	ofrenda para agradecer a la tierra las bondades de los cultivos
Hierba santa	<i>Piper auritum</i>	Infusiones para combatir resfriados	En bio preparados para fertilizar cultivos	Guisados, caldos y tamales tradicionales	Es común en la gastronomía de todo el estado
Pitahaya	<i>Hylocerus</i>	No hay registro	No hay registro	Nieves, cocteles de fruta y bebidas	Como alimento de temporada
Calabacita	<i>Curcubita pepo</i>	No hay registro	No tiene este uso	Guisados típicos	Como alimento básico en la dieta de comunidades rurales.
Chilacayote	<i>Curcubita ficifolia</i>	No hay registro	Su cascara sirve como abono	Bebidas tradicionales, dulces cristalizados con azúcar y alimento regular	Se elaboran bebidas tradicionales para ofrecen durante las celebraciones de la samaritana y los dulces durante la ofrenda de día de muertos
Chepiche	<i>Porophyllum linaria</i>	Auxiliar en aliviar cólicos estomacales	No tiene este uso	Tamales, sopas, caldos, guisados y salsas	Como alimento básico en la dieta de comunidades rurales.
Café	<i>Coffea arabica</i>	Jabones	No se registra este uso	Bebidas típicas	Se ofrece durante eventos concurrentes de interacción social
Sábila	<i>Aloe</i>	Champú, jabones y ungüentos	Limpieza de rostro	Bebidas frescas	Lo colocan a la entrada de los negocios con moños rojos para atraer prosperidad

Elaboración con base en recorridos de campo, entrevistas no estructuradas con los productores.

Los saberes con base en la agroecología, como este conjunto de prácticas que busca sistemas agroalimentarios sostenibles, en el aspecto social, impulsa la multifuncionalidad, promueve la justicia social, la identidad y la cultura, brinda vitalidad a la economía de zona rurales, ofrecen soluciones a sus desafíos ambientales y socioeconómicos como lo señalan García-Arenas et al. (2025). En este sentido, fomentar más acciones de integración de grupos de productores puede promover prácticas sustentables. Como elemento estratégico, los autores Hernández et al. (2018) argumentan que la

formación de la empresas sociales rurales permiten un empoderamiento comunitario, autonomía y conservación de la diversidad, de tal forma que la autosuficiencia alimentaria con la producción de bienes básicos contribuye a elevar los estándares de nutrición. En esta zona, los productores comentaron que se encuentran de forma grupal sin consolidación como figura asociativa, pero estas acciones de integración en la que exponen sus productos representan un paso a dar continuidad a mejores prácticas de intercambio y a considerar a futuro la asociación. El aporte y acompañamiento que a nivel institucional se brinda a las comunidades conforma parte de una estrategia de fortalecimiento del sector agrícola en zonas rurales; en este tenor, identificamos una sinergia de actores del sector rural y agrícola (Figura 3), lo cual fortalece los planes nacionales enfocados a gestionar los recursos naturales en favor de las comunidades indígenas, aprovechando al máximo su aporte, labor agrícola, y sus formas de organización interna. Es cierto que se requiere revitalizar el sector rural, tecnificando el campo, pero adaptando los saberes locales para mantener prácticas para generar mayores medios de vida. Pues el escenario actual muestra una realidad que pareciera orillar gradualmente al productor a salir de su zona a la búsqueda de otras opciones de vida con la emigración. En tanto que iniciativas de este tipo donde se puede encontrar los diversos usos de los productos agroalimentarios, promueven una equidad social. Bartra (2008) señala que en países como México puede preverse un alza hacia el encarecimiento de productos en los próximos años, por lo que es fundamental asumir la soberanía alimentaria por parte de los pueblos, cambiar la agricultura moderna intensiva por modelos sostenibles basados en el resguardo de recursos naturales, además de fortalecer el tejido social para dar cobertura a las necesidades emergentes y futuras. Es preciso trabajar desde el núcleo comunitario con las formas de organización de productores a través de grupos de acción local que consideren la necesidad de integrarse en procesos de capacitación constante y certificación para dar valor agregado a sus productos y tratamientos orgánicos para sus cultivos, así como cadenas de valor para fortalecer el eslabón de la comercialización.



Figura 3. Sinergias estratégicas en el sector rural identificadas en la zona de estudio.

CONCLUSIÓN

Los usos tradicionales de los cultivos domésticos y semillas nativas a nivel comunitario fueron resultado de una adaptación de las familias productoras, en cuatro tipos de uso: 1) gastronómicos, 2) salud y cosmética, 3) limpieza, 4) intercambio y venta. Con ello aprovechan los espacios generados por la gestión institucional y de las autoridades locales para la capacitación, asesoría, intercambio y venta de los productos derivados. Los impactos de estas iniciativas son el impulso a la soberanía alimentaria de los pueblos indígenas, el fomento a los sistemas socio ecológicos, el resguardo de saberes tradicionales y el fortalecimiento de sinergias estratégicas. Las formas de uso contribuyen a su bienestar familiar, promueven la reproducción y cuidado de sus cultivos revitalizando la agricultura. Aún existen retos emergentes, las comunidades mejorar sus medios de vida desde la pequeña producción manteniendo la unión y los esfuerzos comunes. Las sinergias estratégicas en el sector rural coadyuban a salvaguardar los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los productores locales por su disponibilidad y confianza, a la Secretaría de Fomento Agroalimentario y Desarrollo Rural Oaxaca (SEFADER) por sus aportaciones, al Instituto Politécnico Nacional y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- Bartra, A. (2008). Fin de fiesta: El fantasma del hambre recorre el mundo. *Argumentos* (México, D.F.), 21(15–31).
- García-Arenas, A. M., Barrera-Montealegre, J. S., Tabares-Reina, S., Achicanoy-Gómez, L., & González-Acevedo, A. (2025). Custodios de semillas, saberes ecológicos y adaptación al cambio climático. *Risaralda, Colombia. Mundo Agrario*, 25(e260).
- Hernández, B. R., Santiago, D. P., Miguel, A. E., Cruz, C., & Maldonado, J. R. (2018). Empresas sociales rurales, estrategia de desarrollo sustentable y conservación del patrimonio cultural inmaterial. Caso: “Amaranto (*Amaranthus spp*) de Mesoamérica”. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42.
- Llamas-Guzmán, L. P., Lazos Chavero, E., Perales Rivera, H., & Casas, A. (2022). Seed Exchange Networks of Native Maize, Beans, and Squash in San Juan Ixtenco and San Luis Huamantla, Tlaxcala, Mexico. *Sustainability*, 14(3779).
- Martínez-Salvador, L. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 47.
- Sistema de Planeación para el Desarrollo (SISPLADE). (2024). Documentos de consulta y planeación. Municipio de Villa de Zaachila. Recuperado el 30/09/2025, de <https://sisplade.oaxaca.gob.mx/sisplade/smPublicacionesMunicipio.aspx?idMunicipio=565#divPlaneasT>.
- Sistema de Planeación para el Desarrollo (SISPLADE). (2025). Plan municipal de desarrollo sostenible Santa Cruz Xoxocotlán. H. Ayuntamiento Santa Cruz Xoxocotlán. Recuperado el 30/09/2025, de <https://sisplade.oaxaca.gob.mx/sisplade/smPublicacionesMunicipio.aspx?idMunicipio=385#divPlaneasT>.
- Vernooy, R., Sthapit, B., Otieno, G., Shrestha, P., & Gupta, A. (2017). The roles of community seed banks in climate change adaptation. *Development in Practice*, 27, 316–327.

Entomofagia en Oaxaca: una práctica ancestral vigente en México

Tamara Aquino-Aguilar^{1*}, Yolanda Donají Ortiz-Hernández², Jesús Andrés Morales-López¹, Teodulfo Aquino-Bolaños², Tlacaclael Aquino-López¹, Keyla Cruz-García¹

¹Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México. ²Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-Unidad Oaxaca). *Autor para correspondencia: taquino2000@alumno.ipn.mx

Recibido: 06/10/25; Aceptado: 01/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Al consumo de insectos por parte de los humanos se le denomina entomofagia, la cual es una práctica que se ha llevado a cabo desde el hombre prehistórico, por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer si esta práctica a un se lleva a cabo en la zona metropolitana de la ciudad de Oaxaca, México. Por lo que se realizaron entrevistas semiestructuradas a personas al azar que vivieran en la zona metropolitana. El 62.20 % de las personas entrevistadas eran mujeres, el rango de edad fue de 20-45 años, el 60.10 % cuentan con licenciatura y el 91.43 % no pertenece a una comunidad indígena. Con respecto al consumo de insectos el 97.10 % ha consumido insectos, sin embargo, solo el 3 % los consume más de 6 veces al mes y el 41.80 % los consume esporádicamente. La forma de ingesta es de dos formas, enteros y procesados. El modo de obtención es por recolecta o comprándolos en los mercados. El 2.90 % de las personas que no consumen insectos, es por falta de enseñanza, interés y porque piensan que el sabor es desagradable. Por lo que se concluye que a pesar de ser una zona urbanizada la entomofagia es una actividad presente en la ciudad de Oaxaca, que sigue manteniendo sus costumbres a través de la enseñanza.

Palabras clave: Insectos comestibles, alimentación, antropoentomofagia.

ABSTRACT

The consumption of insects by humans is called entomophagy, a practice that has been carried out since prehistoric times. The objective of this study was to determine whether this practice is carried out in the metropolitan area of Oaxaca City, Mexico. Semi-structured interviews were conducted with randomly selected individuals living in the metropolitan area. Of those interviewed, 62.20% were women, the age range was 20-45 years, 60.10% had a bachelor's degree, and 91.43% did not belong to an indigenous community. With regard to insect consumption, 97.10% have consumed insects, however, only 3% consume them more than 6 times a month and 41.80% consume them sporadically. There are two ways of consuming them: whole and processed. They are obtained by collecting them or buying them in markets. Of the 2.90% of people who do not consume insects, it is due to a lack of education, interest, and because they think the taste is unpleasant. It can therefore be concluded that despite being an urbanized area, entomophagy is an activity present in the city of Oaxaca, which continues to maintain its customs through education.

Key words: Edible insect, food, anthroentomophagy.

INTRODUCCIÓN

La entomofagia es la acción realizada por el humano de consumir insectos, este conocimiento se ha transmitido de generación en generación por lo que se ha vuelto parte de la cultura del hombre. Los insectos constituyen a las tres cuartas partes de todas las especies animales por lo que hace más grande la diversidad de insectos comestibles (Van Huis et al. 2021), las ordenes de insectos que más se consumen son; Coleoptera, Dictyoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Odonata y Orthoptera. Los indígenas y campesinos de América como Colombia, Venezuela y México son las principales poblaciones que siguen practicando el consumo de insectos y de esta forma mantienen la supervivencia de esta actividad (Puga & Escoto, 2015). Sin embargo, el incremento de la población

y el proceso de modernización de la sociedad hacia una cultura occidental ha causado la pérdida de la biodiversidad y del conocimiento tradicional de los países de América Latina (Victoria-Morales et al. 2023).

Por tal motivo existe la necesidad de conocer que practicas bioculturales siguen existiendo en zonas urbanizadas de países donde la entomofagia se sigue llevando a cabo en pueblos indígenas y rurales, de esta forma se podrían implementar estrategias que fomente el rescate de prácticas culturales. Existen investigaciones acerca de la entomofagia en comunidades indígenas y rurales, esto con la finalidad de recopilar información y rescatar las practicas bioculturales de los pueblos, lo cual en gran medida pueden ayudar en la implementación de planes y programas sostenibles para la conservación de los recursos naturales (Victoria-Morales et al. 2023). Por otra parte, la mayoría de los estudios de entomofagia están enfocados en las poblaciones que viven en el mundo occidental, esto con la finalidad de conocer el grado de aceptación que tienen por el consumo de insectos, debido a que actualmente existe la necesidad de encontrar un fuente proteica que brinde los nutrientes necesarios y su producción genere menor impacto ambiental (Sogari et al. 2023), por lo que Myers & Pettigrew (2018) menciona que el consumo de insectos presenta un enfoque novedoso para aumentar la producción de alimentos a un bajo impacto ambiental. Por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer si las personas que viven en la zona metropolitana de la ciudad de Oaxaca, México consumen insectos, que tipo, con qué frecuencia y la forma de obtención.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1 se muestra la zona metropolitana de Oaxaca que cuenta con una población de 744,912, distribuida en una superficie de 692,023 kilómetros cuadrados y está conformada por 26 municipios que pertenecen a la región de Valles Centrales (INEGI 2023), ubicada en la parte central del estado de Oaxaca, presenta ecosistemas de bosques templados pino-encino, selvas medianas, amplios territorios de bosque tropical caducifolio, bosque espinoso y una compleja asociación de cactáceas, matorrales y arbustos. Presenta un clima seco y semiseco, la temperatura media anual del estado fue de 17.5 ° C, llegando a una máxima de 31.6 ° C con una precipitación de 917.5 mm (CONAGUA 2023).

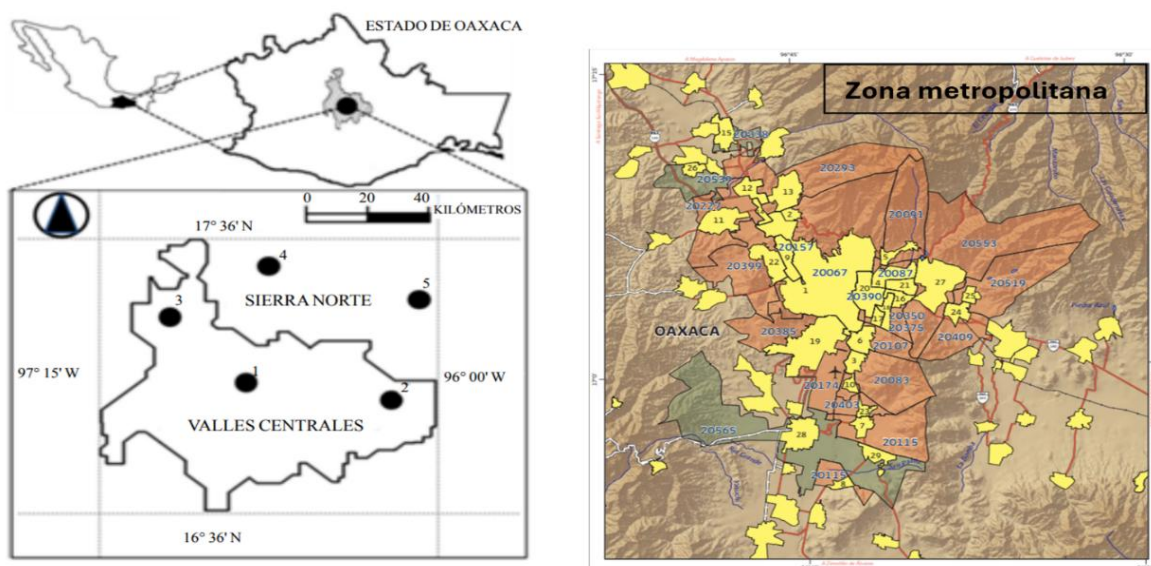


Figura 1. Ubicación geográfica de los valles centrales de Oaxaca y la zona metropolitana. Imágenes obtenidas de Jiménez et al. (2013).

Para el estudio de conocimiento de la entomofagia en la zona metropolitana de Oaxaca, se realizaron 140 entrevistas semiestructuradas, donde se englobaron datos generales del informante como nombre, sexo, edad, escolaridad y si pertenencia a alguna comunidad indígena. Además, se obtuvo información sobre el conocimiento que tenían de la palabra entomofagia, los insectos que se consumen y los beneficios que tiene la ingesta de insectos, así mismo se pregunto acerca del consumo de insectos, la forma de ingesta, la regularidad del consumo y la forma de obtención. Las personas fueron entrevistadas en el mes de enero del 2025.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se reporta que más del 50 % de las personas entrevistadas son mujeres. El rango de edad de los entrevistados fue de 20 a 69 años y el 68.10 % tienen una licenciatura y solo el 8.57 % de las personas entrevistadas mencionaron pertenecer a alguna comunidad indígena (zapoteca, mixteca o mixe), por otra parte, el resto de los entrevistados menciono que sus familiares eran originarios (padres, abuelos y bisabuelos) de alguna comunidad indígena. La DIGEPO (2015) menciona que la mayor parte de la población que consume insectos pertenece a un grupo indígena o viven en zonas rurales, porque, son parte de sus tradiciones y costumbres. Además, Ramos-Elorduy et al. (2011) reporta que en México existen alrededor de 549 especies de artrópodos que se consumen, esto gracias al conocimiento tradicional que ha sido heredado.

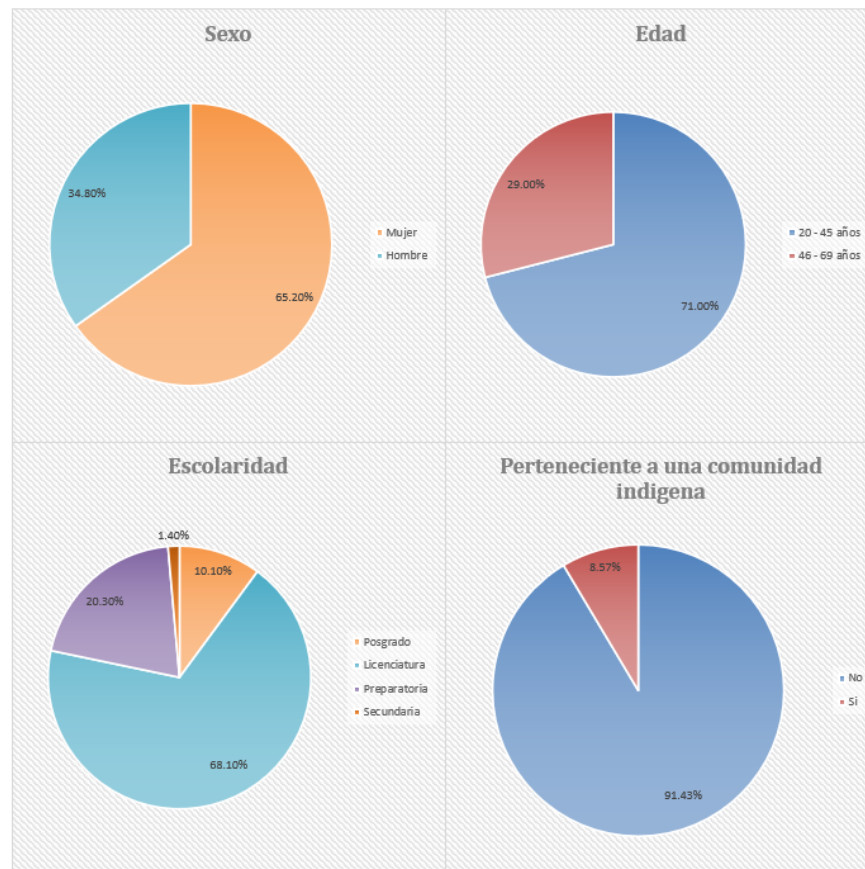


Figura 2. Datos generales (sexo, edad, escolaridad y pertenencia a alguna comunidad indígena) de las personas entrevistadas en la zona metropolitana de Oaxaca.

La entomofagia una práctica ancestral. Se conoce como entomofagia a la ingesta de insectos por los seres humanos, es una conducta alimentaria que complementa la dieta de los humanos y que se

lleva a cabo en todo el mundo, pero principalmente en regiones de Asia, África y América Latina, (FAO, 2022). En México los insectos han estado presentes desde tiempos ancestrales y hoy en día siguen formando parte de la cultura culinaria. Oaxaca es uno de los principales estados donde se consumen más insectos, aproximadamente 26 variedades y los más conocidas son los chapulines (*Sphenarium spp.*), chicatanas (*Atta mexicana*) y gusanos de maguey (*Comadia redtenbacheri*) (CCS 2021). De todas las personas entrevistadas el 69.5 % no tiene el conocimiento de la palabra entomofagia y solo el 30.5 % tiene un conocimiento del significado, sin embargo, el 100 % de las personas conocen algún tipo de insectos que se consumen, el más frecuente o conocido es el chapulín, seguido de las chicatanas y el gusano de maguey, otros insectos mencionados fueron la chicharra (*Quesada sp.*), chinches (*Thasus spp.*), escamoles (*Liometopum sp.*), jumiles (*Edessa spp.*), larvas de avispas, hormigas de miel (*Myrmecystus sp.*) y gorgojos (fam. Curculionoidea) como se muestra en la Figura 3. Esto coincide con lo reportado por Gómez (2023) que menciona que a nivel nacional los principales insectos que se consumen son chapulines, hormigas chicatanas, los escamoles, gusanos de maguey y jumiles.

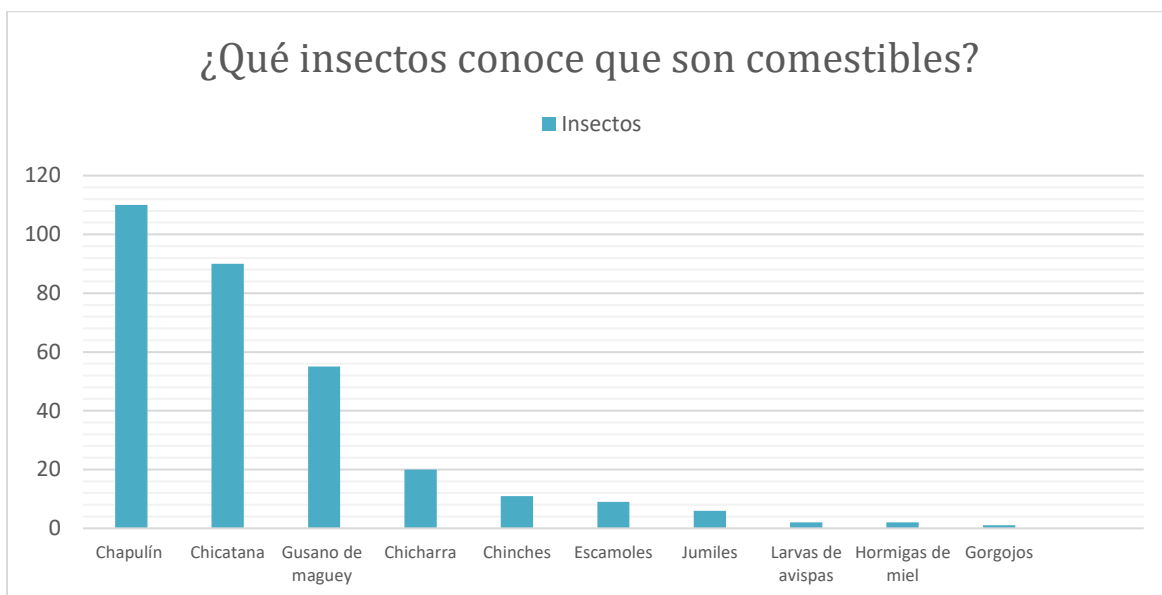


Figura 3. Insectos comestibles que las personas entrevistadas conocen.

Beneficios del consumo de insectos. El 7 % de los entrevistados no conoce ningún beneficio del consumo de insectos, pero el 93 % mencionó que los beneficios de consumir insectos son: mayor aporte de proteínas, vitaminas y fibra, mejoran la digestión y que son curativos. Gómez et al. (2016) menciona que los insectos además del valor nutricional que los caracteriza, también tienen usos medicinales y otras aplicaciones lo que amplifica su valor biocultural. Doi et al. (2021) menciona que los insectos contienen no solo altos contenidos de proteína sino también ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales, por lo tanto, contribuyen a la seguridad alimentaria, así como a la sostenibilidad de la sociedad humana y el uso de la tierra y el agua (Berggren et al., 2019).

El consumo de insectos. En América Latina la cultura alimentaria está siendo afectada por estilos occidentales, sin embargo, en los grupos étnicos menos influenciados por los estilos de vida occidental aun sobrevive el consumo habitual de insectos (La barbera et al., 2021), un ejemplo es México y en particular el estado de Oaxaca. De acuerdo con las personas entrevistadas la mayoría de los encuestados a consumido algún tipo de insectos, el más consumido es el chapulín, una minoría a consumido jumiles, larvas de avispas, hormigas de miel y chicharras como se muestra en la Figura 4.

La forma de consumo en gran medida es de manera entera (56.66 %) y menor proporción procesados (43.33 %) (salsas, chile en polvo, bebidas entre otras).



Figura 4. Insectos comestibles. A) hormiga de miel, B) chicharra, C) chichatana y D) chapulín.

En la Figura 5 se muestra que la frecuencia de consumo de las personas varía, el 1.5 % solo ha consumido insectos una vez y el 41.8 % de los entrevistados consume insectos rara vez, sin embargo, existen personas (3 %) que tienen en su dieta habitual el consumo de insectos. Victoria-Morales et al. (2023), realizó un estudio de entomofagia en la comunidad Otomí en el estado de México, donde

encontró que la población consume 10 diferentes especies de insectos, por otra parte, Ortiz et al. (2023) realizó un estudio de entomofagia en una zona rural ubicada en la región de la sierra sur, Oaxaca, reportando que se consumen 12 especies de insectos, la frecuencia con la que se consumen estos insectos varía si están disponibles todo el año o si solo salen por temporadas, por lo que los insectos que se encuentran todo el año, los consumen de 2 a 3 veces por semana. Un estudio realizado en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca indicó que el 50.7 % de las personas adultas entrevistadas consume chapulines de 1 a 2 veces por semana (Hernández-Ramírez et al. 2020). Otro estudio realizado sobre el consumo de insectos se hizo en la zona de la mixteca en el municipio de San Miguel el Grande Oaxaca, México, en donde se registraron 21 especies de insectos comestibles. El consumo más frecuente se da en las personas que están relacionadas con actividades del campo (Costa & Aparicio 2018).

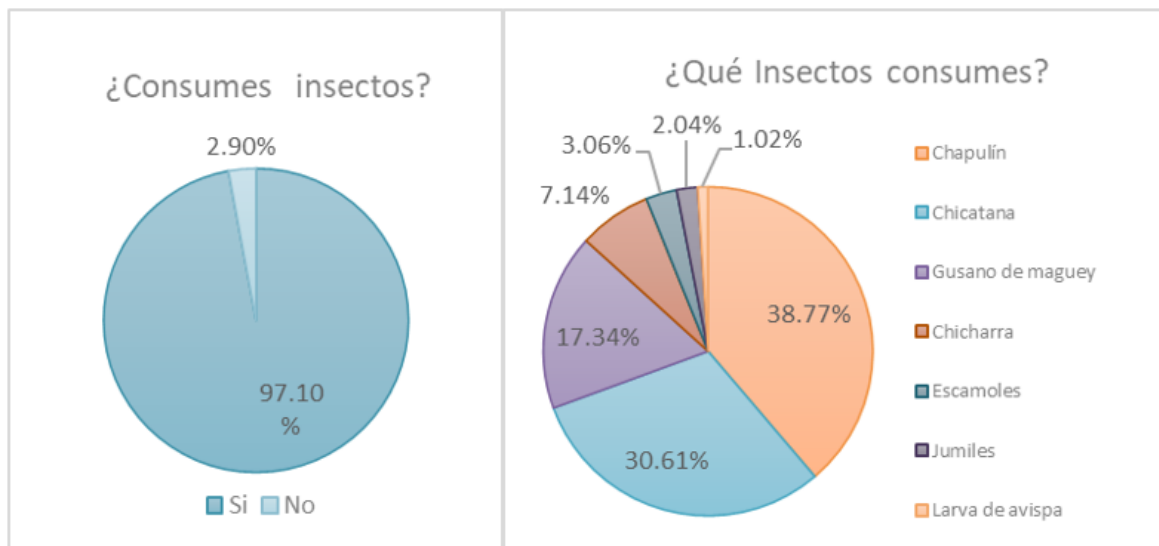


Figura 5. Consumo de insectos, tipo y frecuencia de consumo.

Obtención de los insectos comestibles. Existen dos formas de obtención, por medio de vendedores en mercados o puestos ambulantes y colectándolos. En la Figura 6 se muestra la venta de insectos en los mercados de Oaxaca es una tradición que se ha vuelto una función importante en la economía a tal grado en que existen organizaciones de recolecta, distribuidores y comercializadores (Pino-Moreno et al. 2006). En la actualidad la venta de insectos, en especial el chapulín, gusano del maguey y chicatana tienen un alto valor económico en Oaxaca. La comercialización y el incremento en la demanda de ciertos insectos, puede causar una sobreexplotación de las poblaciones naturales, por lo que es necesario implementar prácticas sostenibles en la comercialización de insectos (Gómez, 2023). Las personas que recolectan los insectos para su consumo mencionan que es una costumbre heredada por su familia que les enseñó los métodos de recolecta, agregando que solo lo hacen cuando es la temporada de cada especie y para autoconsumo. Costa & Aparicio (2018) menciona que la identificación de los sitios de recolecta y las diferentes técnicas de captura, varían con cada especie de insectos. Cruz & Celis (2018) mencionan que en ciertas comunidades indígenas y rurales de México recolectan insectos para complementar la escasez de alimentos en ciertas épocas del año.

Personas que no practican la entomofagia. Existió una minoría de las personas entrevistadas que nunca ha consumido insectos, las causas por lo que no lo han hecho es por desinterés y por qué en su familia nadie le enseñó a consumir insectos, además de que piensan que tienen un sabor desagradable. Van Huis et al. (2022) menciona que existen personas que no aceptan el consumo de insectos, aunque provengan de lugares donde se practique la entomofagia, esto ocasionado por la modificación de

hábitos alimenticios a través del tiempo y la influencia de la cultura occidental. Otro factor que desencadena el no consumir insectos es la falta de familiaridad y experiencia con el consumo de insectos comestibles (Dagevos & Taufick, 2023).

El consumo de insectos puede provocar asco alimentario o neofobia que es el miedo aprobar alimentos nuevos, por lo que se vuelve una limitante para que las personas consuman insectos enteros y alimentos elaborados con insectos, sin embargo, existe mayor probabilidad en que las personas acepten más alimentos procesados a base de insectos que ingerirlos enteros (Sogari et al. 2023), por lo que de acuerdo con las entrevistas realizadas el 50 % de esa minoría que no ha consumido insectos, está dispuesto a consumir alimentos procesados que contengan harina de insectos como: pan, malteadas, tostadas, salsas entre otras y el otro 50 % está en duda, aun sabiendo que los insectos pueden ser la proteína del futuro, debido a que su producción genera menor impacto ambiental y que contienen igual o más nutrientes que la carne de res, pescado y pollo.



Figura 6. A) Venta de insectos en el mercado “20 de noviembre” ubicado en la ciudad de Oaxaca y B) recolecta de insectos.

CONCLUSIÓN

La investigación muestra una presencia cultural y gastronómica de los insectos comestibles en la metrópolis de Oaxaca, donde el consumo está ampliamente normalizado y aceptado por la mayoría de la población. El 97.10 % de los participantes ha probado alguna especie de insecto comestible, ya sea recolectado en temporada o adquirida en mercados, lo que evidencia tanto el arraigo de prácticas tradicionales como la integración de estos alimentos en la vida urbana. La escasa proporción de personas que no consumen (2.90 %) insectos señalan que son principalmente barreras socioculturales, como la falta de transmisión del conocimiento o prejuicios sobre el sabor. Estos hallazgos subrayan el potencial de los insectos comestibles como recurso alimentario sostenible, especialmente en contextos donde su aceptación ya forma parte de la estructura social.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e innovación (SECIHTI) por otorgarle una beca para realizar sus estudios de posgrado en Conservación y

Aprovechamiento de los Recursos Naturales, al Laboratorio de Control Biológico del IPN-CIIDIR Oaxaca por su apoyo, y al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI-SECIHTI).

REFERENCIAS

- Berggren, A., Jansson, A., & Low, M. (2019). Approaching ecological sustainability in the emerging insects-as-food industry. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). Reporte anual del clima en México.
- Coordinación de Comunicación Social (CCS). (2021). Insectos, ingredientes prehispánicos que da sabor a la cocina de Oaxaca. <https://www.oaxaca.gob.mx/comunicacion/insectos-ingrediente-prehispanico-queda-sabor-a-la-cocina-de-oaxaca/>
- Costa, N. E. M., & Aparicio, A. J. C. (2018). Usos tradicionales de los insectos por los mixtecos del municipio de San Miguel el Grande, Oaxaca, México. *Ethnoscientia*, 3, 1–18.
- Cruz, P. D., & Celis, P. (2018). La domesticación y crianza de insectos comestibles: una línea de investigación poco explorada y con gran potencial para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria en México. *Folia Entomológica Mexicana*, 4, 66–79.
- Dagevos, H., & Taufik, D. (2023). Eating full circle: Exploring consumers' sympathy for circularity in entomophagy acceptance. *Food Quality and Preference*.
- Dirección General de Población en Oaxaca (DIGEPO). (2018). Población indígena. <https://productosdigeпо.oaxaca.gob.mx/recursos/revistas/revista41.pdf>
- Doi, H., Galecki, R., & Nathaniel, M. R. (2021). The merits of entomophagy in the post-COVID-19 world. *Trends in Food Science & Technology*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). La contribución de los insectos a la seguridad alimentaria, los medios de vida y el medio ambiente. www.fao.org/forestry/edibleinsects
- Gómez, G. B. (2016). The ghost moth (Lepidoptera: Hepialidae) as food of indigenous people in México. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2, 53–59.
- Gómez, G. B. (2023). Antropoentomofagia en México y su impacto en el declive de poblaciones de insectos. *Boletín de la SCME*, 3(6), 43–53.
- Hernández-Ramírez, J. C., Avendaño-Rodríguez, G. B., Enríquez-Almaraz, T., & Jarquín-Olivera, C. M. (2020). Acceso económico al insecto comestible *Sphenarium purpurascens* en la sierra sur de Oaxaca, México. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 26(1), 44–49.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Delimitación de las zonas metropolitanas de México. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825007073>
- Jiménez, R. M., Pérez-Moreno, J., Almaraz-Suárez, J., & Torres-Aquino. (2013). Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(2), 199–213.
- La Barbera, F., Verneau, F., Amato, M., Grunert, K. G., & Schnettler, B. (2021). Acceptance of insect-based food in Chile: Evidence from a survey using the entomophagy attitude questionnaire (EAQ). *Food Quality and Preference*.
- Myers, G., & Pettigrew, S. (2018). A qualitative exploration of the factors underlying seniors' receptiveness to entomophagy. *Food Research International*.
- Ortiz, G. A., Pablo, P. E., Pacheco, C. R., & López, T. S. (2023). Entomofagia: seguridad alimentaria (disponibilidad y estabilidad) en una zona rural de Oaxaca, México. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 29(2).
- Pino-Moreno, J. M., Ramos-Elorduy, J., & Costa-Neto, E. (2006). Los insectos comestibles comercializados en los mercados de Cuautitlán de Romero Rubio, Estado de México, México. *Sitientibus Serie Ciencias Biológicas*, 58–64.
- Puga, A. L., & Escoto, R. J. (2015). Insectos potencialmente comestibles del estado de Aguascalientes, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 23(64), 19–25.
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J. M., Vázquez, A. I., Landero, I., Oliva-Rivera, H., & Camacho, V. H. M. (2011). Edible Lepidoptera in Mexico: Geographic distribution, ethnicity, economic and nutritional importance for rural people. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7(2).
- Sogari, G., Riccioli, F., Moruzzo, R., Menozzi, D., Tzompa, S. D. A., Liu, A., & Mancini, S. (2023). Engaging in entomophagy: The role of food neophobia and disgust between insect and non-insect eaters. *Food Quality and Preference*.

- Van Huis, A., Halloran, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., & Vantomme, P. (2022). How many people on our planet eat insects: 2 billion? *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(1), 1–4.
- Victoria-Morales, J. D., White-Olascoaga, L., Chávez-Mejía, C., & Moctezuma-Pérez, S. (2023). Antropoentomofagia en la comunidad Otomí San Pedro Arriba, Temoaya, Estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*.

Cestería: plantas utilizadas por las comunidades mayas de Camino Real en Campeche, México

José R. Tucuch-Tun J. R., William Cetzal-Ix*, Héctor M. J. López-Castilla

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chiná, Chiná, Campeche, México. *Autor para correspondencia: rolito22@hotmail.com

Recibido: 30/06/25; Aceptado: 02/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La cestería es una actividad ancestral que consiste en la utilización de los recursos vegetales y técnicas de tejido para dar origen a diferentes piezas o artefactos. Esta actividad, requiere de conocimientos del manejo de los recursos naturales de las selvas por las personas de las comunidades indígenas que los utilizan para manufacturar diversos objetos útiles de su vida cotidiana. El objetivo de este trabajo fue conocer las diferentes especies de plantas utilizadas como materia prima en la cestería, los precios de venta de los productos y los lugares donde se realiza esta actividad, que contribuya a difundir este conocimiento tradicional en Campeche, México. Se aplicaron encuestas semiestructuradas a 11 productores de cestería en los municipios de Calkiní (Tankuché, Becal y Santa Cruz Ex Hacienda), Hecelchakán (Sodzil y Pomuch) y Tenabo (Tinún), siguiendo el método de bola de nieve. Se registró que el 73 % de los encuestados son hombres y 27 % mujeres, con un rango de edad de entre 44-83 años; se registró ocho especies vegetales utilizadas como materia prima en la cestería, siendo las más importantes *Fridericia floribunda* (Anilkab) y *Bignonia diversifolia* (K'an lool). La cestería es una actividad complementaria a otras actividades agropecuarias, sin embargo, a pesar de la anterior es una actividad rentable que genera una importante fuente de recursos económicos para los artesanos de las comunidades mayas de Campeche.

Palabras clave: Arecaceae, artesanías, Asparagaceae, Bignoniaceae, etnobotánica, tejidos.

ABSTRACT

Basketry is an ancestral activity that involves the use of plant resources and weaving techniques to create different pieces or artifacts. This activity requires knowledge of the management of natural resources from the forests by people in indigenous communities who use them to manufacture various useful objects in their daily lives. The objective of this study was to understand the different species of plants used as raw materials in basketry, the selling prices of the products, and the locations where this activity is carried out. This study will contribute to the dissemination of this traditional knowledge in Campeche, Mexico. Semi-structured surveys were conducted with 11 basketry producers in the municipalities of Calkiní (Tankuché, Becal, and Santa Cruz Ex Hacienda), Hecelchakán (Sodzil and Pomuch), and Tenabo (Tinún), using the snowball method. It was found that 73% of respondents were men and 27% women, with an age range of 44–83 years. Eight plant species were recorded as being used as raw material in basketry, the most important being *Fridericia floribunda* (Anilkab) and *Bignonia diversifolia* (K'an lool). Basketry is a complementary activity to other agricultural activities, however, despite the above, it is a profitable activity that generates an important source of economic resources for the artisans of the Mayan communities of Campeche.

Key words: Arecaceae, Asparagaceae, Bignoniaceae, crafts, ethnobotany, textiles.

INTRODUCCIÓN

La cestería es una actividad antigua que emplea técnicas de tejido que se asocian a materiales fibrosos, largos y flexibles de procedencia vegetal para dar origen a artefactos de formas planas y volumétricas (Rodríguez, 2008; Linares et al., 2008). Su origen proviene desde el humano nómada y cazador, cuando se tenía la necesidad de transportar los alimentos, crear estructuras y objetos que les ayudara con la cacería, por lo cual las primeras civilizaciones comenzaron a observar e imitar las estructuras que se encontraban en la naturaleza: nidos de pájaros, lianas entrecruzadas formando cortinas y

troncos de palmeras cubiertos con finos tejidos (Moreno de Dávila, 1991; Bustos-Gómez, 1994). La cestería se basa en conocimientos tradicionales que se tiene del recurso natural para manufacturar, en su mayoría objetos de trabajo para el campo, útiles para el traslado, almacenamiento de alimentos, elaboración de jaulas para atrapas aves y la construcción de casas tradicionales; también utilizados para días festivos y ceremoniales en los pueblos indígenas (Hernández-Ramos et al., 2013; Martínez-Hernández, 2019).

México cuenta con alrededor de 7,823 especies de plantas con usos etnobotánicos, de los cuales, aproximadamente 80 especies en 20 familias botánicas son útiles para la cestería, destacándose entre estos los agaves (Agavaceae), cañas y carrizos (Poaceae), palmas (Arecaceae), yucas (Asparagaceae) y bejuco (Bignoniaceae, Sapindaceae, Smilacaceae), sauces (Salicaceae) y pinos (Pinaceae) (Hernández-Ramos et al. 2013). Las plantas que se utilizan para elaborar los diferentes tipos de artículos de la Cestería se dividen en dos grupos: rígidas (las maderas, cañas y los mimbres), en las que destacan, los pizcadores de carrizo y en las semirígidas (hojas, pastos y tallos suaves) se encuentran los sombreros, canastas y petates (Turok 1988; Pérez-García y Rebollar-Domínguez, 2008). Las artesanías de origen prehispánico en México se realizan a partir de fibras vegetales y varía dependiendo del pueblo, municipio o región y de los recursos naturales del mismo entorno, dando origen a varios tipos de utensilios con diversos usos: doméstico, religioso, ornamental o recreativo (Rubín de Borbolla, 1974). La gran diversidad florística y cultural permite que la producción de la cestería se desarrolle prácticamente en todo el país, en estados como Michoacán donde se realizan figuras de tule o paja de trigo llamadas “Panicua”; en Puebla se utiliza la palma, el carrizo y el ocote para diseñar diversas figuras y objetos; en Morelos se trabaja la palma y el bejuco para canastos; en Oaxaca con el carrizo, palma, y tule; en Hidalgo y Guerrero se producen objetos ixtle y lechuguilla. Por su parte, en el sureste mexicano, en Yucatán se realizan artículos de bejuco, palma y otras fibras; en Campeche la principal representación de Cestería es la elaboración de sombreros de palma de Jipi, además de otro tipo de artesanías como sandalias, bolsas, cestos y aretes (Laura-Zaldívar 2010).

A pesar del gran valor cultural de la cestería, en las últimas décadas se ha ido perdiendo la práctica de esta actividad, debido a la comercialización de materiales más resistentes como el plástico y por el cambio cultural de las generaciones quienes heredan bienes que los antecesores habían seleccionado por su funcionalidad, dándole mayor valor a todo lo que representa a la modernidad (Pardo de Santayana et al. 2003). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue conocer las diferentes especies de plantas utilizadas como materia prima en la cestería, los precios de venta de los productos y los lugares donde se realiza esta actividad, que contribuya a difundir este conocimiento tradicional en Campeche, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. El estudio fue realizado en la zona maya de Campeche que se encuentra en la región norte del estado conocida como “Camino Real”, esta región incluye los municipios de Tenabo (20°02'23"N 90°13'33"O), Calkiní, (20°22'16"N 90°03'03"O) y Hecelchakán (0°10'37"N 90°08'04"O); donde se registra alrededor de 2,560 artesanos (60%) de los cerca de 4,267 artesanos registrados en Campeche para la elaboración de artesanías como cerámicas, tapetes, vasijas de barro, hamacas, ropa típica, arreglos florales, artesanías en madera, colgantes, sillas tejidas, artesanías en madera, artesanías metálicas y repujados, artesanías en concha y productos marinos, velas aromáticas y artesanías en cuerno de toro (Santos-Valencia et al., 2015).

Tipo de Muestreo. Del conjunto de tipos de artesanía que se realizan en la zona norte de Campeche, este estudio se enfocó únicamente en la cestería mediante el uso de fibras vegetales. Para el trabajo de campo se utilizó la técnica de muestreo por cadena de referencia o bola de nieve, el cual inicia el proceso con la identificación de uno o dos personas clave (informantes iniciales), a quienes al término de la entrevista se les solicita la recomendación de otras posibles personas que también pertenezcan

al grupo de interés de la investigación (Mendieta-Izquierdo, 2015). La información se obtuvo de las personas mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas a 11 artesanos (cestería) de los municipios de Tenabo (Tinún), Calkiní (Tankuché, Becal y Santa Cruz Ex Hacienda) y Hecelchakán (Sodzil y Pomuch) (Manzanero-Medina et al., 2009).

Análisis de datos. Con los datos obtenidos y para tener una representación gráfica de las especies y usos etnobotánicos, se realizó una matriz de presencia y ausencia para obtener una red de interacción ecológica mediante el uso de la paquetería Bipartite (Dormann et al., 2008) con el software Rstudio (Rstudio Team, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la cestería. Se realizaron 11 entrevistas en tres municipios (Tebano, Calkiní y Hecelchakán) de Campeche, de estas, el 73 % fueron hombres y el 27 % mujeres, el rango de edad de estas personas fue de entre 44 y 83 años. Dentro de los productos fabricados por dichas personas destacan la elaboración de canastas (recipiente grande con o sin asas prominentes, usadas comúnmente para la ropa sucia o transportar alimentos), cestos (recipiente abierto y poco profundo de tamaño grande, utilizado para la ropa sucia o transportar o almacenar alimentos) y cestas (recipiente abierto o cerrado con asas, usado para transportar o almacenar objetos) mediante el uso de bejucos; la elaboración de tapetes, abanicos, sombreros y alhajeros con la palma de jipi-japa (*Carludovica palmata*). Para la elaboración de estos productos se registró el uso de ocho especies de plantas como materia prima para obtener las fibras naturales (Figura 1). Laura-Zaldívar (2019) menciona que los productos que tienen una elaboración más importante son con el uso de la palma de jipijapa. El aprendizaje de esta actividad ha sido adquirido de diversas formas, el 54.5% aprendió las técnicas de tejido de sus padres, el 36.4% aprendió mediante la observación de amigos u otros familiares (cuñados) y el 9.1% aprendió mediante la participación en talleres. Un total de siete personas llevan más de 50 años practicando esta actividad y cuatro tienen menos de 35 años practicándola. De las 11 personas entrevistadas, ocho se dedican todos los días por las tardes a la manufactura de diferentes artesanías, dos le dedican un tiempo de 3 a 4 días y uno solamente cuando se lo encargan; esto debido a que gran parte del tiempo lo utilizan para otras diversas actividades como agricultura, apicultura y labores domésticas. Los sombreros y abanicos son productos que requieren de tres a cuatro días, siendo estos dos productos los más tardados en su elaboración.

Especies de plantas utilizadas en la cestería. Para la elaboración de los cestos los artesanos mencionan diversas lianas o bejucos en nombres comunes en maya, estos localmente son conocidos como anilkab, anil aak', aak' xuux o bilin aak', éek' k'iix il (Cuadro 1, Figura 2), dichas plantas utilizadas por los artesanos concuerdan con las mencionadas por Valdez-Hernández (2011). Por su parte, Bautista-Bello et al. (2019) mencionan que *Bignonia potosina* es utilizada en la elaboración de artesanías, pero que son pocos los registros que se tienen acerca de esta especie que se utilizan para la elaboración de canastas. Sin embargo, el problema radica en que estas especies comparten los nombres comunes en maya, pero los artesanos pueden diferenciar las diferentes especies ya que cuando las recolectan en campo observan las estructuras vegetativas y florales, incluso posterior las pueden identificar con el grosor y color de los tallos de las lianas. Por otro lado, los artesanos que trabajan con la *Carludovica palmata* elaboran artesanías como abanicos, alhajeros, aretes, tapetes y sombreros; al respecto, Laura-Zaldívar (2009) y Hernández-Méndez et al. (2025) mencionan que, de estos productos artesanales los más elaborados y que requieren mayor esfuerzo de trabajo son los sombreros. Asimismo, ocurre con los artesanos que trabajan con *Sabal mexicana* (uso de las hojas) y *Cocos nucifera* (uso del raquis de la hoja) que elaboran abanicos, cestos y sombreros. En el caso de *Dracaena zeylanica*, solo se registró una familia en Calkiní (Tankunché) que elabora hilos con esta planta, esto coincide con lo registrado por Pérez-García y Rebollar-Domínguez (2008). El 100% de los artesanos coinciden que los recursos botánico-utilizados para la elaboración de las artesanías se encuentra disponibles durante todo el año.

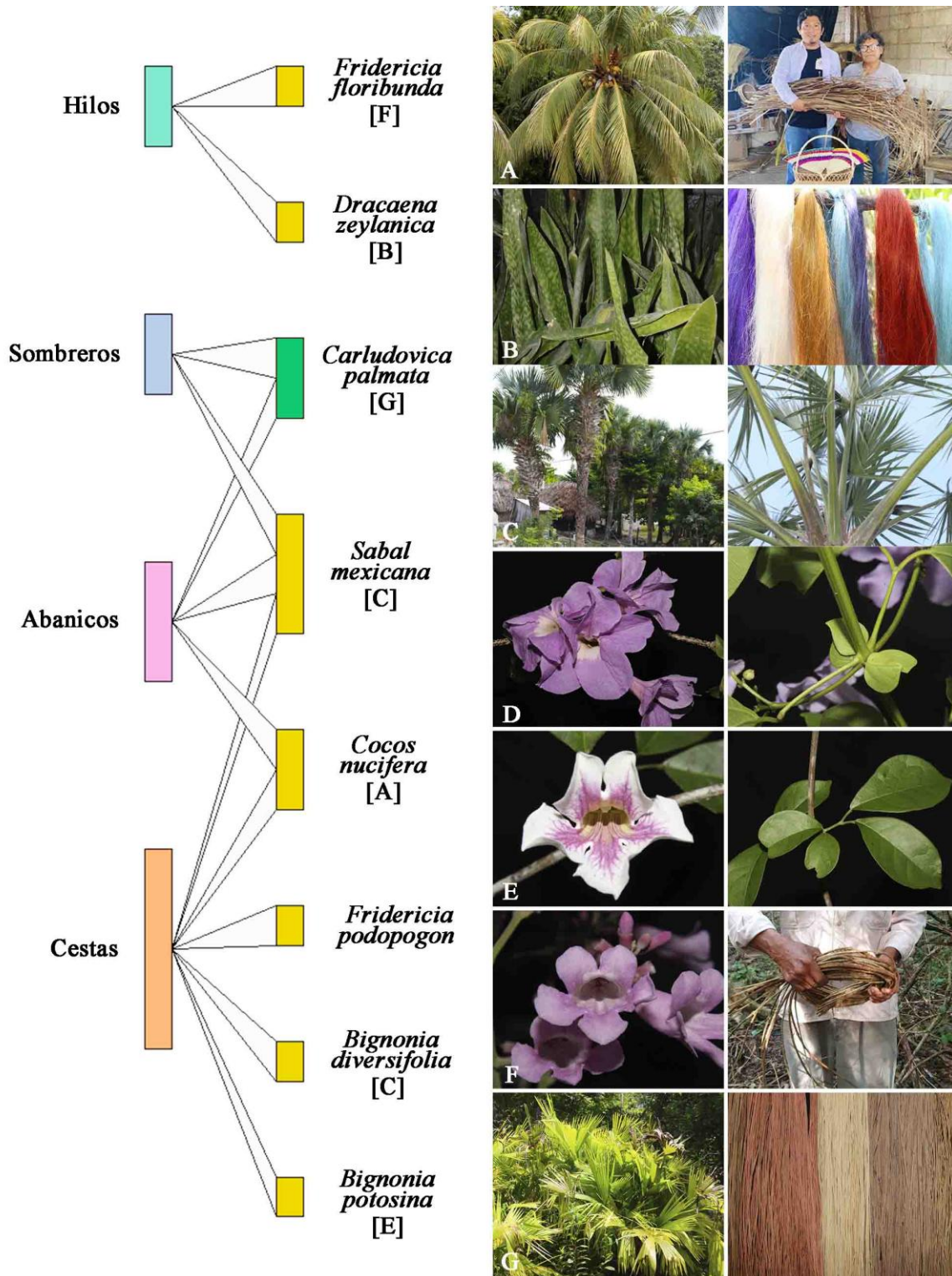


Figura 1. Red de interacción entre los usos y especies utilizadas en la cestería en Campeche.

Cabe mencionar que los artesanos que realizan la elaboración de los cestos con bejucos obtienen el recurso directamente de la vegetación circundante a sus comunidades, mientras los artesanos que se dedican a la elaboración de los sombreros, abanicos y tapetes con la palma de jipijapa compran los

rollos de los cogoyos los cuales tiene un precio de entre 50 y 60 m.n., esto debido a que la producción del material de fibras obtenida de las plantas de sus huertos familiares es insuficiente, ya que se requiere de doce unidades de hojas para la fabricación de un sombrero. Lo anterior confirma lo que mencionan Pool-Canche et al. (2023) y Poot-Pool et al. (2018), que en la actividad artesanal (palma de jipi-japa) existe una falta de materia prima, debido a la poca fertilidad del suelo lo que ocasiona que se adquiera la palma de jipijapa de estados vecinos como Yucatán, Tabasco y Chiapas.

Cuadro 1. Especies de plantas utilizadas para la elaboración de productos artesanales en el norte de Campeche.

Familia	Especies	Nombre común	Uso etnobotánico
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco	Abanicos, canastas, cestas y cestos
Arecaceae	<i>Sabal mexicana</i> Mart.	Palma de guano, guano bon; bon xa'an, xa'an	Abanicos, canastas, cestas, cestos y sombreros
Asparagaceae	<i>Dracaena zeylanica</i> (L.) Mabb.	Lengua de vaca	Hilos, cestos
Bignoniaceae	<i>Bignonia diversifolia</i> Kunth	Anilkab, chak nej tolok, sak aak', bilin ko'ok, sool aak'	Canastas, cestas y cestos
Bignoniaceae	<i>Bignonia potosina</i> (K. Schum. & Loes.) L.G. Lohmann	K'an lool, éek' k'iix il	Canastas, cestas y cestos
Bignoniaceae	<i>Fridericia floribunda</i> (Kunth) L.G. Lohmann	Anilkab, anil aak', bilin aak', sak aak'	Canastas, cestas y cestos
Bignoniaceae	<i>Fridericia podopogon</i> (DC.) L.G. Lohmann	Bilin aak', éek' k'iix il, aak' xuux	Canastas, cestas y cestos
Cyclanthaceae	<i>Carludovica palmata</i> Ruiz & Pav.	Palma de jipijapa	Abanicos, cestos, escobas, petates y sombreros

Proceso de recolección del bejuco. El bejuco que se va recolectando en “rollos”. Cada rollo comprende seis o siete tiras del vegetal y en ocasiones el segundo paso implica cocer “sancochar” los rollos en una tina “paila”, esta labor de cocción se realiza en un fogón a base de leña debido a lo costoso que sería la cocción en estufa de gas; la cocción del bejuco dura alrededor de dos horas, posteriormente a la ebullición se deja enfriar para el descortezamiento (retiro de la corteza del bejuco). Sin embargo, no todos los artesanos cuecen y descortezan el bejuco para su manufactura, algunos simplemente después de la recolección del bejuco proceden al tejido de los cestos o canastas ya que si, se deja las lianas varios días sin trabajar esta se pone rígido y dificulta el manipularlo, dada estas circunstancias los artesanos sumergen los royos de bejuco en agua para hidratarlos y manipularlos.

Venta de las artesanías. De acuerdo con Pool-Canche et al. (2023), mencionan que existe seis diferentes formas de comercialización de las artesanías, 1) las ventas en casa de forma directa al consumidor final, 2) ventas a intermediarios, 3) ferias artesanales, 4) la organización de tiendas, 5) cooperativas o 6) cualquier otro tipo de organización. En este estudio, ocho personas entrevistadas realizan la comercialización por medio de ventas a intermediarios, ofreciendo precios bajos de sus productos. Otras tres personas realizan sus ventas mediante la organización de tiendas y por último una sola persona realiza la venta en casa directo al consumidor final. De acuerdo con la anterior, los precios de los productos de las personas que comercializan sus artesanías por medio de ventas a intermediarios varían de acuerdo con el tamaño y características estéticas del producto final; por ejemplo, los abanicos oscilan en un precio de entre \$50 a 100 m.n., los cestos desde los \$50 a 800 m.n., el precio esta influenciado por el tamaño, los sombreros varían de \$100 a 300 m.n., los tapetes de \$100 a 300 m.n., y los hilos \$100 m.n.



Figura 2. Cestería elaborados con fibras de plantas presentes en Campeche. A-B, G, I, J, L) Canastas. C-D) Cestos. E-F, H, K) Cestas. A-D) Diferentes especies de Bignoniaceae. G-H) *Cocos nucifera*. I-K) *Sabal mexicana*. L) *Carludovica palmata*.

Por su parte, las personas que cuentan con una tienda establecida para la venta de sus artesanías los precios de los productos de estas personas se distribuyen de la siguiente manera: abanicos de \$100 a 150 m.n., los sombreros de \$300 a 2500 m.n., los tapetes de \$150 a 700 m.n. Por lo anterior, se concuerda con lo indicado por Fadiman (2001), que debido a que intervienen intermediarios en el proceso de comercialización de los productos hasta su venta final, los ingresos para estas personas son bajos en comparación cuando el artesano lo comercializa desde el inicio de producción hasta su venta final.

CONCLUSIÓN

La cestería es una actividad complementaria a otras actividades agropecuarias, sin embargo, a pesar de la anterior es una actividad rentable que genera una importante fuente de recursos económicos para los artesanos de las comunidades mayas de Campeche. En su mayoría los artesanos se enfocan más en la manufacturación de abanicos y sombreros los cuales son más vendidos. No obstante, la cestería se encuentra en riesgo debido a la utilización de diversos materiales más resistentes y duraderos que satisfacen las necesidades humanas, además del poco apoyo económico, técnico y de comercialización que les brinda las instituciones gubernamentales para desarrollar sus actividades. Además, de la falta de interés de los jóvenes por aprender esta actividad. Por tal motivo es importante generar nuevas estrategias que motiven a los jóvenes a instruirse en la manufactura de las artesanías, así como plantear tácticas para promover la comercialización y la importancia de las artesanías.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los artesanos que permitieron ser encuestados y que compartieron sus conocimientos sobre cestería y otras artesanías, lo cual permitió elaborar este manuscrito. WCI agradece al SECIHTI, proyecto RENAJEB-2023-3 “Consolidación de las colecciones etnobiológicas del Jardín Etnobiológico Campeche como base de rescate, conservación, promoción y generación de conocimiento de los recursos naturales y culturales de las comunidades mayas de la península de Yucatán”.

REFERENCIAS

- Bautista-Bello, A. P., Thorsten, K., & López-Acosta, J. C. (2019). Tejiendo historia y arte. *La Ciencia y el Hombre*, 32, 41–44.
- Bustos-Gómez, M. L. (1994). Cestería y mundo femenino. *Historia Crítica*, 9, 30–35.
- Dormann, C. F., Gruber, B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite package: analysing ecological networks. *Interaction*, 1(0.2413793).
- Fadiman, M. (2001). Hat weaving with jipi, *Carludovica palmata* (Cyclanthaceae) in the Yucatan Peninsula, México. *Economic Botany*, 55(4), 539–544.
- Hernández-Méndez, H. A., Caamal, D. V. B., Poot, S. A. C., Sánchez, J. L. A., Trejo, G. M. E., Berzunza, E. A., & Cobos, F. A. (2025). La palma jipi en México: un cultivo tradicional y símbolo de identidad cultural. *Agraria*, 22(1), 18–23.
- Hernández-Ramos, L. M., López-Acosta, J. C., López-Binnquist, C., & Velázquez-Rosas, N. (2013). La cestería y el aprovechamiento de las fibras naturales en Jalcomulco, Veracruz. *CONABIO. Biodiversitas*, 109, 12–16.
- Laura-Zaldívar, M. J. (2010). La cestería en México. México: Fonart.
- Linares, E. L., Galeano, G., García, N., & Figueroa, Y. (2008). Fibras vegetales utilizadas en artesanías en Colombia. Bogotá: Artesanías de Colombia S.A., Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia.
- Manzanero-Medina, G. I., Flores-Martínez, A., Sandoval-Zapotitla, E., & Bye-Boettler, R. (2009). Etnobotánica de siete raíces medicinales en el mercado de Sonora de la Ciudad de México. *Polibotánica*, 27, 191–228.
- Martínez-Hernández, S. (2019). Uso artesanal del ballil (*Desmoncus orthacanthos*) en dos comunidades ch'oles del municipio de Tila, Chiapas. *Memoria Biocultural de la Selva. Universidad Intercultural del Estado de Tabasco*.

- Mendieta-Izquierdo, G. (2015). Informantes y muestreo en investigación cualitativa. *Investigaciones Andina*, 17(30), 1148–1150.
- Moreno de Dávila, E. (1991). Cestería. Cuenca, Ecuador: CIDAP.
- Pardo de Santayana, M., & Gómez-Pelló, E. (2003). Etnobotánica: aprovechamiento tradicional de plantas y patrimonio cultural. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 60(1), 171–182.
- Pérez-García, M., & Rebollar-Domínguez, S. (2008). Formas de aprovechamiento de algunas palmas de la Península de Yucatán. *Contactos*, 69, 53–60.
- Pool-Canché, F. L., Ponce, M. E. L., & Valencia, R. A. S. (2023). Evaluación del potencial productivo y comercial del sombrero de jipi-japa en cuatro localidades (Becal, Tankuché, Santa Cruz ex Hacienda y San Nicolás) de Calkiní, Campeche. En F. G. Barroso-Tanoira, R. A. Santos-Valencia, & R. M. Patrón-Cortés (Eds.), *Estrategias de negocios para la competitividad* (pp. 165–178).
- Poot-Pool, W. S., Cetzal-Ix, W., González-Valdivia, N. A., Cuevas, M. J., Arcocha-Gomez, E., Pool, C. T., & Pascual-Baeza, A. A. (2018). Medios de vida de las familias que cultivan *Carludovica palmata* (Cyclanthaceae) en Calkiní, Campeche, México. *IC Investigación*, 13, 63–73.
- RStudio Team. (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA.
- Rodríguez, M. (2008). *Artesanía: nuestra cultura viva*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rubín de la Borbolla, D. F. (1974). *Arte popular mexicano*. Monterrey: Universidad de Nuevo León.
- Santos-Valencia, R. A., Barroso-Tanoira, F. G., & Ávila-Ortega, J. I. (2015). Evaluación prospectiva y preservación del sector artesanal en zonas mayas de Campeche, México (avances de investigación). *Revista Universitaria Ruta*, 17(1), 77–82.
- Turok, M. (1988). *Cómo acercarse a la artesanía*. Ciudad de México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Valdez-Hernández, M. (2011). Usos y manejo de bejucos. En C. Pozo, N. Armijo Canto, & S. Calmé (Eds.), *Riqueza biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación* (pp. 161–164). ECOSUR, CONABIO, Gobierno del Estado de Quintana Roo y PPD.

The background of the slide features a repeating pattern of light brown butterflies and small leaves on a white background. The butterflies are scattered across the page, some facing left and some right, with their wings spread. The leaves are small and oval-shaped, interspersed among the butterflies.

Ingeniería y Métodos Computacionales

Evaluación del estado actual y determinación de la madurez de los lixiviados de un relleno sanitario costero en Campeche, México

Alberto Efrén Chab-Ruíz¹, Wendy Paloma Mas-Ku¹, Pedro Alberto Camacho-Chab^{1*}, Juan Pablo Ek-Huchim¹, Carolina Flota-Bañuelos², Ligia Marina Pech-Canul¹, Ismeráí Cruz-Burgos¹

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Campeche. Campeche, México. 2SECIHTI-Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. *Autor para correspondencia: pedro.cc@campeche.tecnm.mx

Recibido: 01/11/25; Aceptado: 06/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La gestión de lixiviados en rellenos sanitarios en sitios costeros representa un desafío ambiental crítico, especialmente en regiones con suelos kársticos altamente permeables como los del estado de Campeche, México. Este estudio caracterizó el estado actual y la madurez de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Campeche mediante análisis de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Demanda Bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Totales (ST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) en diez muestras recolectadas en temporada de lluvias (junio 2024), aplicando criterios normativos y clasificatorios (NOM-001-SEMARNAT-2021). Ocho de las diez muestras se clasificaron como lixiviados maduros; una como intermedia y una como lixiviado joven. Se observaron ST de hasta 20,480 mg/L y patrones de contaminación característicos de lixiviados estabilizados con DQO elevada en 90% de las muestras (>200 mg O₂/L) y DBO₅ moderada (30–120 mg O₂/L), además de SST superiores a 400 mg/L en 70% de los casos, excediendo umbrales normativos. Las correlaciones fuertes DBO₅–DQO ($r=0.91$) y CE–ST ($r=0.86$) sugieren dominancia de procesos de concentración de sales y materia orgánica poco biodegradable, mientras que la menor concordancia entre parámetros orgánicos e inorgánicos sugiere una composición variable entre puntos y momentos de muestreo, compatible con recirculación interna y efectos estacionales. Estos hallazgos sugieren posibilidad de transporte y dispersión en entornos kársticos y una potencial interacción con cuerpos de agua cercanos. Esto respalda la necesidad de monitoreo multitemporal y estacional, junto con medidas de manejo y tratamiento acordes con la elevada permeabilidad local.

Palabras clave: Caracterización fisicoquímica, contaminación kárstica, gestión del riesgo ambiental.

ABSTRACT

Leachate management at coastal landfill sites poses a critical environmental challenge, particularly in regions with highly permeable karstic soils such as those in Campeche, Mexico. This study characterized the current status and maturity of leachates from the Campeche Sanitary Landfill through analyses of pH, Electrical Conductivity (EC), 5-day Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended Solids (SS), Total Solids (TS), and Total Dissolved Solids (TDS) in ten samples collected during the rainy season (June 2024), applying regulatory (NOM-001-SEMARNAT-2021) and classification criteria. Eight of the ten samples were classified as mature leachates: one as intermediate and one as young. TS values reached up to 20,480 mg/L, with contamination patterns typical of stabilized leachates: elevated COD in 90% of samples (>200 mg O₂/L) and moderate BOD₅ (30–120 mg O₂/L), along with SS >400 mg/L in 70% of cases, exceeding regulatory thresholds. Strong correlations between BOD₅–COD ($r=0.91$) and EC–TS ($r=0.86$) indicate the predominance of salt concentration processes and poorly biodegradable organic matter, whereas the lower concordance between organic and inorganic indicators suggests variable composition across sampling points and times, consistent with internal recirculation and seasonal effects. While hydrological investigations were not conducted, these patterns suggest potential transport and dispersion in karst environments and possible interaction with nearby water bodies. Accordingly, the findings support the need for multi-temporal and seasonal monitoring, together with management and treatment measures tailored to the high local permeability.

Key words: Physical-chemical characterization, Karst contamination, Environmental risk management.

INTRODUCCIÓN

San Francisco de Campeche, capital del estado homónimo en el sureste de México, se ubica en una región costera del Golfo de México caracterizada por su topografía plana y suelos kársticos, perteneciente a la subprovincia del Carso y Lomeríos de Campeche. Esta configuración geológica favorece una alta permeabilidad del subsuelo y una estrecha conexión con los acuíferos subterráneos, lo que incrementa la vulnerabilidad ambiental, especialmente frente a fuentes de contaminación como los residuos sólidos urbanos (RSU). La región alberga ecosistemas sensibles como la Reserva de la Biósfera Los Petenes y la Laguna de Términos donde manglares y humedales desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad y la protección costera, por lo que resalta la urgencia de una adecuada gestión de residuos (Figura 1).

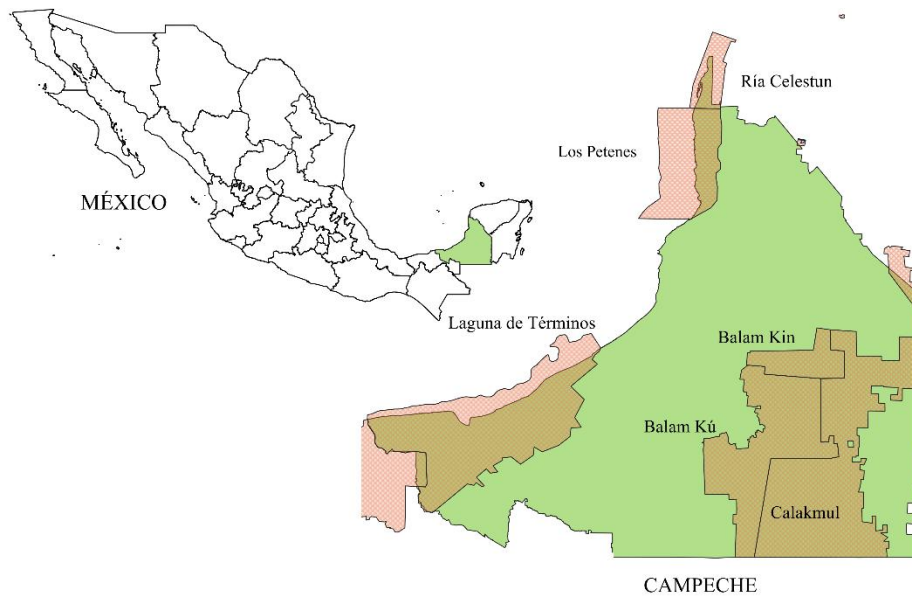


Figura 1. Ubicación geográfica del Estado de Campeche y sus principales Áreas Naturales Protegidas.

En los últimos años, el crecimiento urbano, la industrialización y el aumento poblacional han provocado un incremento en la generación de RSU en Campeche, con una estimación de 264 toneladas diarias. A nivel global, el relleno sanitario es el método más utilizado para la disposición final de estos residuos, debido a su viabilidad económica y técnica (Vaverková, 2019). Sin embargo, este método genera un subproducto de alta peligrosidad, el lixiviado, un líquido producido por la descomposición de residuos y la infiltración de agua de lluvia, que puede transportar compuestos orgánicos, metales pesados, sales inorgánicas y otros contaminantes emergentes. Los lixiviados están compuestos por una mezcla compleja de sustancias, agrupadas en cuatro grandes categorías: i) Materia orgánica disuelta (ácidos grasos volátiles, ácidos húmicos y fúlvicos); ii) Macrocomponentes inorgánicos (Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , Fe, Mn, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-); iii) Metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn); y iv) Compuestos xenobióticos como hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas, plastificantes (Kjeldsen et al. 2002, Wiszniewski et al. 2006, Aziz et al. 2010). También pueden encontrarse otros compuestos como boratos, sulfuros, arsenato, selenato, Ba, Li, Hg, Co, aunque generalmente en concentraciones muy bajas (Ramírez-Sosa et al. 2013).

La composición y peligrosidad del lixiviado varía significativamente en función de factores ambientales y operativos, entre ellos la temperatura, humedad, precipitación y, especialmente, la edad del relleno sanitario (El-Saadony et al. 2023). Diversos autores han propuesto clasificaciones que permiten agrupar los lixiviados según su edad y etapa de evolución. De manera general, se reconocen tres etapas, lixiviado joven (<5 años), intermedio (5–10 años) y maduro o estabilizado (>10 años).

Estas etapas presentan características distintas en cuanto a su composición química, nivel de contaminación y biodegradabilidad (Torres-Lozada et al. 2014, Peng, 2017, El-Saadony et al. 2023).

En la fase acidogénica, correspondiente a los primeros años de operación (<2 años), el lixiviado joven se caracteriza por una alta carga orgánica biodegradable, con valores de DBO₅ entre 1,171 y 13,391 mg O₂/L; DQO entre 9,181 y 25,455 mg O₂/L. Su pH es moderadamente ácido (entre 6.5 y 7.7) y presenta elevada conductividad eléctrica (27.1–36.7 μS/cm), lo que refleja una alta concentración de solutos. La relación DBO₅/DQO puede acercarse a valores de 1.0, lo que indica una alta biodegradabilidad (Peng, 2017). Incluso, según (Wu & Li, 2021) los lixiviados generados en vertederos recientes pueden presentar valores extremos, con DBO₅ de hasta 30,000 mg O₂/L y DQO hasta 60,000 mg O₂/L, evidenciando una composición altamente contaminante y difícil de tratar sin tecnologías específicas. Durante la etapa intermedia (5-10 años), el lixiviado experimenta una disminución progresiva en su carga orgánica, con DBO₅ entre 496–1,594 mg O₂/L y DQO entre 3,673–6,638 mg O₂/L. El pH tiende a la neutralidad o se vuelve ligeramente alcalino (6.5–8.5), mientras que la conductividad eléctrica se reduce (16.2–23.5 μS/cm). Asimismo, la biodegradabilidad disminuye, con relaciones DBO₅/DQO entre 0.1 y 0.5, indicando un aumento en la proporción de compuestos orgánicos recalcitrantes (Kamaruddin et al. 2015).

En los lixiviados maduros (>10 años), correspondientes a la fase metanogénica o estabilizada, las concentraciones de materia orgánica biodegradable son mínimas, con DBO₅ entre 78–200 mg O₂/L y DQO entre 1,105–2,197 mg O₂/L. El pH se muestra claramente alcalino (8.18–9.58) y las conductividades disminuyen aún más (11.6–20.6 μS/cm). A pesar de la disminución en la carga orgánica, estos lixiviados pueden representar un riesgo ambiental significativo debido a la presencia de contaminantes inorgánicos persistentes como amonio, metales pesados y sales disueltas (Torres-Lozada et al. 2014, El-Saadony et al. 2023). Los parámetros de DBO₅ y DQO son claves para estimar la biodegradabilidad del lixiviado y, por ende, su potencial de tratamiento biológico. Valores altos indican que el lixiviado es fácilmente tratable por métodos biológicos, mientras que valores bajos (en lixiviados estabilizados) señalan una biodegradabilidad muy limitada y la presencia de compuestos resistentes al tratamiento convencional. Otros indicadores, como los sólidos suspendidos totales (SST), también ayudan a dimensionar el nivel de contaminación y el riesgo potencial para cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Peng, 2017).

En el caso específico de la ciudad de Campeche, la disposición final de residuos está actualmente a cargo del relleno sanitario operado por una empresa privada, ubicado en el kilómetro 24.5 de la carretera Campeche–Mérida. Sin embargo, el historial de manejo de residuos sólidos evidencia deficiencias importantes. El primer sitio de disposición formal denominado “Campeche Nuevo” se localizaba cerca del centro histórico y fue clausurado en 1984 (De la O Torres, 2019). Posteriormente, un segundo sitio operó desde ese mismo año hasta 2012, aunque no se cuenta con documentación clara sobre su clausura ni sobre las medidas de seguimiento ambiental implementadas, lo que sugiere un uso intermitente de tiraderos a cielo abierto. Si bien, los rellenos sanitarios modernos incorporan tecnologías para mitigar su impacto ambiental, como sistemas de impermeabilización y captación de biogás. En sitios sin control, como los tiraderos a cielo abierto, los lixiviados pueden infiltrarse al subsuelo o escurrir hacia cuerpos de agua superficiales. Esta situación representa una amenaza para la salud pública y los ecosistemas. La eliminación inadecuada de los lixiviados es una fuente relevante de contaminación, capaz de alterar el equilibrio ecológico, afectar los ciclos biogeoquímicos y poner en riesgo a las comunidades aledañas (Vaverková, 2019).

Este estudio tiene como propósito caracterizar los lixiviados a partir de parámetros fisicoquímicos clave, con el fin de clasificarlos según su nivel de maduración y de contaminación. La información obtenida permitirá dimensionar los riesgos ambientales asociados y servirá como base científica para la toma de decisiones orientadas a mejorar la gestión de residuos en el contexto regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en el Relleno Sanitario de la ciudad de San Francisco de Campeche, ubicado en el kilómetro 24.5 de la carretera Campeche-Mérida, en la localidad de IMI III. Esta instalación cuenta con una superficie aproximada de 4 hectáreas y ha operado de manera continua durante los últimos 12 años. En su infraestructura se encuentra una laguna de captación de lixiviados, la cual constituye el principal sistema de acumulación de los efluentes líquidos generados por la disposición final de residuos sólidos urbanos (Figura 2). El muestreo del lixiviado se realizó únicamente durante el mes de junio del 2024, coincidiendo con el inicio de la temporada de lluvias en la región. Esta decisión responde a consideraciones hidrológicas y operativas, ya que en este período se observa un incremento significativo en la generación y acumulación de lixiviados por efecto de la precipitación. Asimismo, el aumento del nivel en la laguna favorece una mayor homogeneización de la masa líquida, lo que permite obtener una visión más representativa de su composición en condiciones de máxima carga contaminante. Se recolectaron 10 muestras en diferentes puntos espaciales de la laguna con la finalidad de identificar la tendencia general del lixiviado. Para ello se emplearon recipientes de vidrio con capacidad de 600 mL, previamente lavados, desinfectados y esterilizados de acuerdo con la norma NMX-AA-003-SCFI-1980. Posteriormente, las muestras fueron conservadas en hieleras a 4 °C y transportadas inmediatamente al laboratorio, donde se mantuvo en frío hasta el momento del análisis (Figura 3).

Determinación de parámetros fisicoquímicos. Los parámetros seleccionados en este estudio se enfocaron en evaluar la calidad del lixiviado, abarcando indicadores fisicoquímicos generales (Conductividad Eléctrica, pH) sólidos en sus diferentes etapas, totales, disueltos y suspendidos, y materia orgánica disuelta determinados por la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Para la determinación de pH y conductividad eléctrica (CE), se utilizó un equipo multiparamétrico Consort C6010 previamente calibrado. Las mediciones se realizaron directamente sobre cada muestra, repitiendo lecturas para asegurar precisión. En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) se siguió el protocolo establecido en la NMX-AA-028-SCFI-2021, el cual incluyó la preparación de cuatro soluciones estándar Disolución Amortiguadora de Fosfato, Disolución de Sulfato de Magnesio, Disolución de Cloruro de Calcio, Disolución de Cloruro Férrico Hexahidratado. Las muestras fueron distribuidas en frascos Winkler, aplicando diluciones de 10, 20 y 30 mL, aforadas hasta 300 mL, y posteriormente incubadas durante cinco días a 20 °C. se registraron las condiciones iniciales de OD, y se calcularon los consumos al finalizar la incubación. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determinó conforme a la NMX-AA-030/2-SCFI-2011, mediante la digestión en tubos de ensaye sellados con dicromato de potasio, sulfato de plata en ácido sulfúrico y sulfato ferroso amoniacal como titulante. Las muestras (1–1.5 mL) se mezclaron con los reactivos en tubos resistentes a altas temperaturas y se sometieron a digestión térmica a 150 °C durante dos horas. Posteriormente, se realizó la titulación con Sulfato ferroso amoniacal (FAS) utilizando ferroína como indicador, hasta alcanzar el color característico.

Cuantificación de sólidos totales, disueltos y suspendidos. Los análisis de sólidos se llevaron a cabo de acuerdo con la NMX-AA-034-SCFI-2015, con el objetivo de cuantificar el contenido total de material particulado y disuelto en las muestras de lixiviado. Se evaluaron tres fracciones: Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Para los ST, se utilizaron cápsulas de porcelana secadas previamente a 105 °C para garantizar peso constante. Se vertieron alícuotas de 50, 60 y 75 mL de muestra, las cuales fueron secadas en horno a 105 °C por 1–2 horas. Posteriormente, las cápsulas fueron enfriadas en desecador y pesadas gravimétricamente. Los SDT se calcularon a partir del filtrado de las muestras mediante filtros de fibra de vidrio con porosidad de 1.5 μm . El líquido filtrado se introdujo en cápsulas secas, las cuales fueron nuevamente sometidas a horno y desecador para obtener el peso final. En cuanto a los SST, se emplearon filtros previamente pesados y acondicionados en horno y desecador. Las muestras se filtraron mediante vacío utilizando

un embudo Büchner, y los filtros se secaron nuevamente a 105 °C. La diferencia de masa permitió determinar el contenido de sólidos suspendidos por volumen de muestra.



Figura 2. Relleno Sanitario de la ciudad de San Francisco de Campeche.



Figura 3. Muestras de lixiviados recolectados del relleno sanitario de Campeche.

Procesamiento de datos y marco normativo. Los datos obtenidos fueron procesados mediante la herramienta estadística Minitab® Statistical Software 22. Se aplicaron estadísticas descriptivas para cada uno de los parámetros medidos, incluyendo el cálculo de promedios, desviaciones estándar y rangos, con el fin de caracterizar la variabilidad de las muestras. Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación entre las variables fisicoquímicas, empleando el coeficiente de correlación de Pearson. Para identificar el grado de asociación lineal entre las variables evaluadas y la intensidad de dicha relación. De acuerdo a Johnson & Wichern (2007), se consideró como una fuerte relación lineal aquella en la que el coeficiente de correlación fue mayor a 0.85.

El estudio se sustenta conforme a los marcos normativos técnicos para NMX-AA-003-SCFI-1980: Aguas residuales – Muestreo, NMX-AA-028-SCFI-2021: Análisis de Agua-Medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, NMX-AA-030/2-SCFI-2011: Análisis de Agua-Medición de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba - Parte 1 – Método de reflujo abierto, NMX-AA-034-SCFI-2015: Análisis de Agua-Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, y NOM-001-SEMARNAT-2021: Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores nacionales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica del lixiviado. La laguna de lixiviados del Relleno Sanitario de Campeche (RSC), emplazada en una zona kárstica costera, exhibe particularidades fisicoquímicas que dificultan una clasificación rígida bajo el esquema tradicional de lixiviados en jóvenes (LJ, <5 años), intermedios (LI, 5-10 años) y maduros (LM, >10 años). A diferencia de los rellenos sanitarios técnicamente diseñados con celdas de operación controlada, el RSC presenta una laguna única sin separación por edades, lo cual, sumado a condiciones hidroclimáticas propias del trópico húmedo (alta evapotranspiración, eventos pluviales intensos y estacionalidad marcada), produce una notoria heterogeneidad espacial y temporal en la composición de los lixiviados (El-Saadony et al., 2023).

En el Cuadro 1 se muestran los valores de pH y conductividad eléctrica (CE) obtenidos en las muestras analizadas. El pH osciló entre 6.8 y 8.5 (media 7.63 ± 0.58), indicando condiciones neutras a ligeramente básicas, típicas de lixiviados en fase intermedia o de transición metanogénica. Este comportamiento concuerda con la disminución de ácidos grasos volátiles y la progresiva generación de CH₄ y CO₂, procesos que elevan el pH conforme avanza la estabilización. Cerca del 50% de las muestras presentaron pH cercano a 8, lo que indica una actividad metanogénica activa, en concordancia con lo descrito por Torres-Lozada et al. (2014).

La conductividad eléctrica (CE) varió entre 25.69 y 47.78 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (media $33.84 \pm 5.57 \mu\text{S}/\text{cm}$), situándose por encima del intervalo de lixiviados jóvenes (27.1–36.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo cual podría parecer contradictorio frente al pH. Sin embargo, este comportamiento atípico podría explicarse por la recirculación, evaporación superficial y acumulación de sales solubles, típicas en rellenos sin recubrimientos ni drenajes adecuados, como sucede en varios sitios de disposición final del país (Kang et al., 2002; Aldana-Espitia et al., 2017). En el contexto costero y kárstico, además, la salinidad edáfica y posibles intrusiones salinas podrían influir adicionalmente sobre la CE, como se ha señalado en estudios previos sobre rellenos sanitarios en ambientes litorales (Ogata et al., 2016, González-Herrera et al., 2023).

En cuanto a la carga orgánica (Figura 4), la DBO₅ se mantuvo en el rango de 40–200 mg O₂/L, lo cual se alinea con los valores típicos de lixiviados maduros (165–78 mg O₂/L), mientras que la DQO mostró valores entre 200 y >400 mg O₂/L, situándose por debajo de los rangos clásicos reportados incluso para lixiviados maduros (>1100 mg O₂/L). Esta atenuación puede explicarse por procesos de dilución asociados a pluviosidad elevada y recirculación (Ramírez-Sosa et al. 2013, Chávez-Montes, 2023), como ha sido documentado en análisis previos en rellenos no tecnificados de México (Aldana-

Espitia et al. 2017). Esta situación subraya la necesidad de considerar el entorno geológico e hidrológico en la interpretación de los datos.

Cuadro 1. Valores de pH y Conductividad eléctrica de lixiviados obtenidos.

Variable	Media	Mínimo (estudio)	Máximo (estudio)	*LJ (Min-Máx)	*LI (Min-Máx)	*LM (Min-Máx)
pH	7.63 ± 0.58	6.8	8.5	7.77-8.26	7.6-8.5	8.18-9.58
CE (µS/cm)	33.84 ± 5.57	25.69	47.78	27.1-36.7	16.2-23.5	11.6-20.6

N= 10, Desviación estándar= ±, Lixiviado Joven (LJ), Lixiviado Intermedio (LI), Lixiviado Maduro (LM).

*Valores mínimos y máximos reportados por Torres-Lozada et al. (2014)

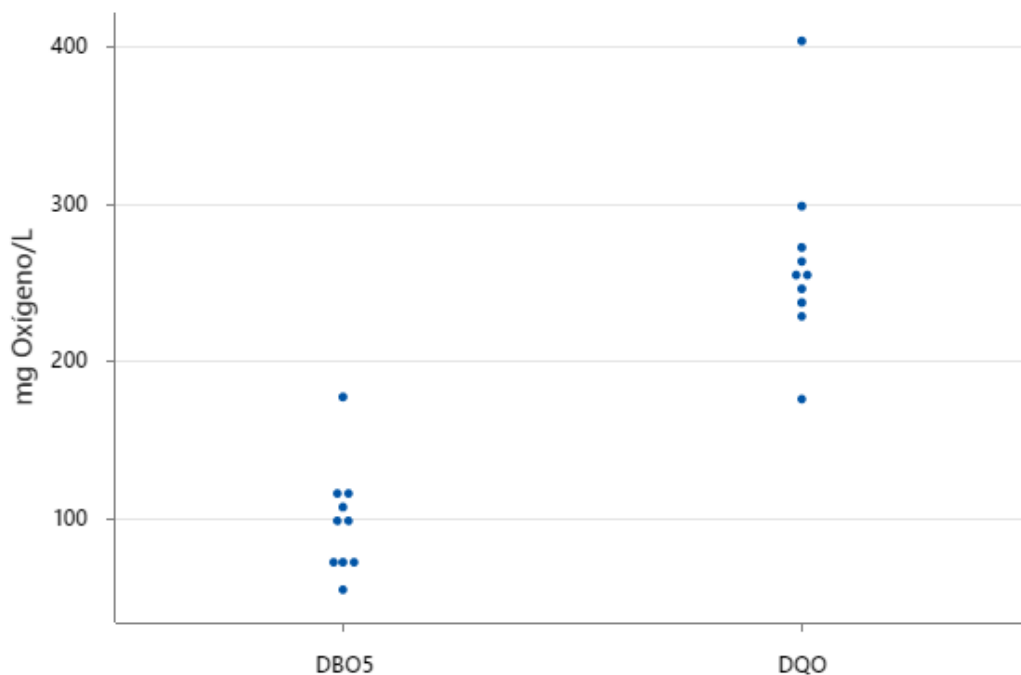


Figura 4. Comportamiento de las concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en las muestras analizadas. Cada punto representa un valor obtenido experimentalmente, lo que permite visualizar la dispersión de los datos y la variabilidad entre muestras. Valores de referencia de los rangos representativos para DBO₅ son: Lixiviado joven (LJ): 13391-1171 mgO₂/L, lixiviado intermedio (LI): 1594-496 mgO₂/L y lixiviado maduro (LM): 165-78 mgO₂/L. Para DQO, los rangos son: LJ: 25455-9181 mgO₂/L, LI: 6638-3673 mgO₂/L y LM: 2197-1105 mgO₂/L.

Contenido de sólidos y relación con los parámetros fisicoquímicos. Los resultados de sólidos totales (ST) y sólidos disueltos totales (SDT) (Figura 5) evidencian una amplia heterogeneidad, típica de sistemas sin control operacional. Aproximadamente el 80% de las muestras presentaron valores de ST <20,000 mg/L, con agrupamientos en 2,000–4,000 mg/L y 9,000–10,000 mg/L, que coinciden con lixiviados maduros según Torres-Lozada et al. (2014). No obstante, se registraron valores extremos >40,000–60,000 mg/L, consistentes con lixiviados jóvenes. Esta dualidad revela la coexistencia de lixiviados con distinto grado de evolución dentro de una misma laguna, un fenómeno favorecido por la morfología del terreno kárstico, donde las pendientes naturales, o cavidades pueden

alterar la dirección y acumulación de flujos subterráneos. En SDT también se observó una dispersión significativa. Cinco muestras se ubicaron entre 2,000–5,000 mg/L y tres entre 8,000–10,000 mg/L. Estos rangos coinciden parcialmente con lixiviados maduros e intermedios (Slack et al. 2005). No obstante, valores elevados podrían estar relacionados con zonas de acumulación, evaporación diferencial o recarga desde zonas de residuos más recientes. Este fenómeno se alinea con lo reportado en sitios de disposición final que no cuentan con infraestructura hidráulica adecuada (Ziyang et al. 2009, Rueda-Avellana et al. 2021).

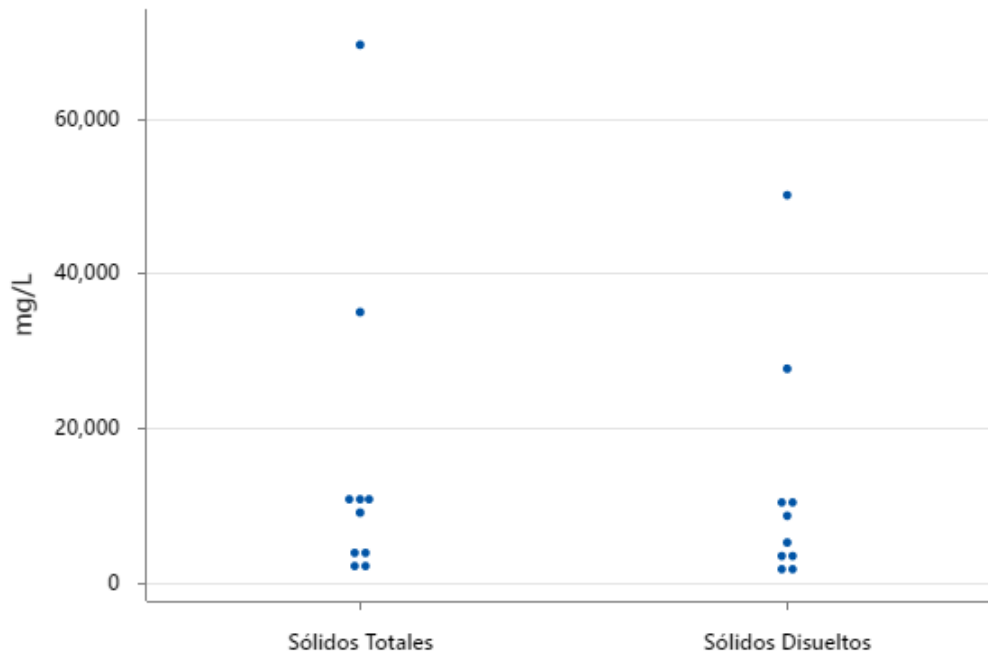


Figura 5. Comportamiento de las concentraciones de Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales obtenidas en las muestras analizadas. Cada punto en la gráfica representa un valor individual registrado para cada una de las variables, lo que permite observar la dispersión de los datos y la variabilidad entre muestras. Valores de referencia rangos representativos de Sólidos Totales en: Lixiviado joven (LJ): 33,796–17,673 mg/L, lixiviado intermedio (LI): 17,950–10,596 mg/L y lixiviado maduro (LM): 9,345–5,472 mg/L. Para Sólidos Disueltos Totales, los rangos son: LJ: 33,703–17,041 mg/L, LI: 17,775–10,473 mg/L y LM: 8,877–5,382 mg/L (Torres-Lozada et al., 2014).

El análisis de correlación (Figura 6) reveló relaciones fuertes entre ST y SDT ($r = 1.00$), y entre CE y ST ($r = 0.86$), lo cual refleja la dominancia de procesos de concentración de sales en zonas específicas de la laguna, favorecidos por la recirculación natural y la morfología irregular del sitio (Kjeldsen et al. 2002, Torres-Lozada et al. 2014). Este comportamiento es congruente con las observaciones realizadas en rellenos abiertos o semi-controlados de México que enfrentan retos de infraestructura para el manejo de lixiviados (Rueda-Avellana et al. 2021).

De igual manera, la DBO₅ y DQO mostraron una correlación alta ($r = 0.91$), lo cual indica una fuente común de carga orgánica, presumiblemente materia parcialmente degradada en fase metanogénica (Renou et al. 2008). En contraste, el pH mostró bajas correlaciones ($r = 0.18$ – 0.48), lo cual indica que este parámetro responde a factores adicionales como los gases generados, la temperatura ambiental o procesos de neutralización, y no directamente a los sólidos o compuestos orgánicos, temperatura ambiental o procesos de neutralización, y no directamente a los sólidos o compuestos orgánicos (Ma et al. 2022).

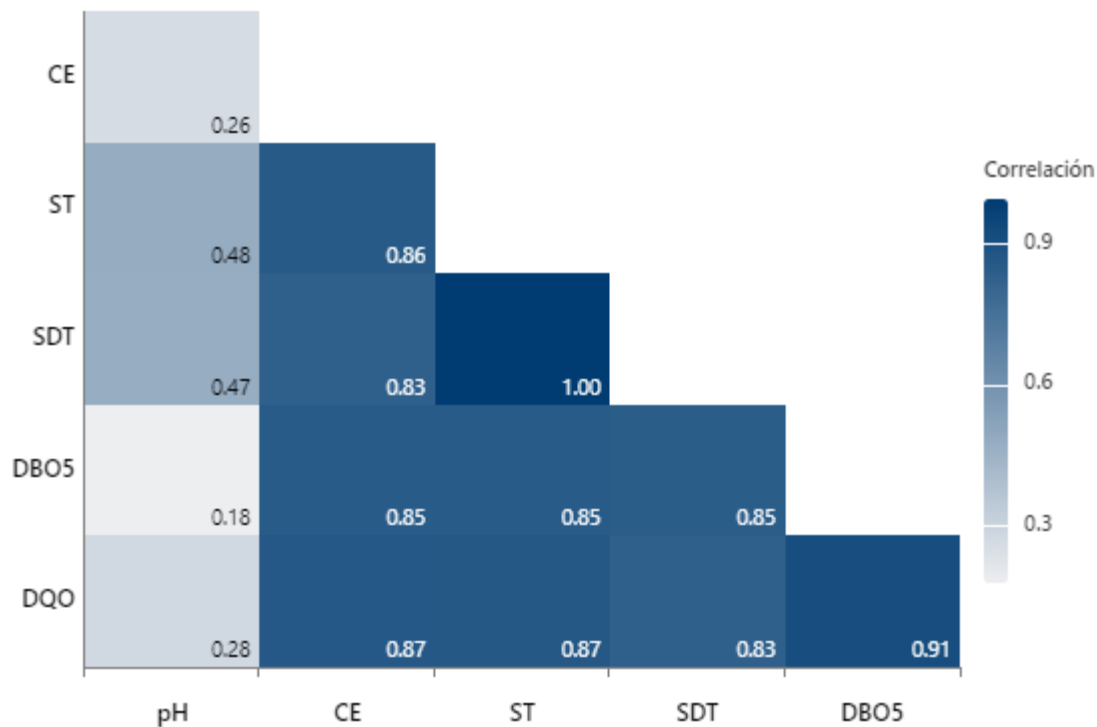


Figura 6. Matriz de correlación de variables fisicoquímicas. Se identifica el grado de asociación lineal entre los parámetros medidos en las muestras de lixiviados. En el diagrama se presentan los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT), demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO). Los valores de correlación se representan mediante una escala de colores, donde los tonos más oscuros indican relaciones más fuertes (positivas).

Estado de maduración y nivel de contaminación de los lixiviados. La clasificación integrada presentada en el Cuadro 2 indica que la mayoría de las muestras (8 de 10) corresponden a lixiviados maduros (LM), mientras que una muestra se clasificó como lixiviado intermedio (LI) y otra como joven (LJ). Este patrón sugiere que el sistema de disposición final presenta una fase avanzada de estabilización en gran parte de su extensión. Sin embargo, el hecho de que aún se identifiquen lixiviados jóvenes o intermedios en algunas zonas evidencia la coexistencia de microambientes de degradación heterogénea, posiblemente relacionados con la edad del residuo, su compactación o condiciones locales de humedad. La concordancia entre los parámetros individuales (pH, CE, ST, SDT, DBO₅ y DQO) y la clasificación integrada fue moderada, oscilando entre 50% y 66.7%. Esta variabilidad revela una diferencia entre los indicadores de carga orgánica y los parámetros fisicoquímicos como la conductividad eléctrica o el pH, lo que apunta hacia una dinámica compleja de evolución de lixiviados (Kjeldsen et al., 2002; Renou et al., 2008)

En sistemas con infraestructura limitada o sin compartimentación en celdas (como es el caso del Relleno Sanitario de Campeche), es común que los lixiviados se mezclen y evolucionen de manera discontinua, generando una superposición de fases dentro de un mismo cuerpo de agua. Esta condición ha sido ampliamente reportada en sitios abiertos o semitécnicos de países en desarrollo, donde las condiciones de manejo y el clima tropical-húmedo exacerbaban la heterogeneidad espacial y temporal (Rueda-Avellana et al., 2021). Particularmente en ambientes costeros, como lo es el litoral de Campeche, se ha reportado que la salinidad del suelo, las posibles intrusiones marinas subterráneas y la alta porosidad del subsuelo calcáreo modifican notablemente las propiedades del lixiviado,

especialmente su CE y SDT. Esto puede generar escenarios en los que los valores de conductividad y sales disueltas no reflejen directamente la madurez bioquímica del residuo, sino más bien la interacción con aguas freáticas o intrusiones salinas (Brand et al., 2019).

Cuadro 2. Clasificación de edad por muestra de lixiviado

Muestra	pH	CE	ST	SDT	DBO ₅	DQO	^a Clasificación integrada	^b Concordancia (%)
1	LI	LJ	LJ	LJ	LM	LM	LJ	50.0
2	LI	LJ	LI	LM	LM	LM	LM	50.0
3	LM	LJ	LJ	LJ	LM	LM	LM	50.0
4	LJ	LJ	LI	LM	LM	LM	LM	50.0
5	LJ	LJ	LM	LM	LM	LM	LM	66.7
6	LJ	LJ	LM	LM	LM	LM	LM	66.7
7	LJ	LJ	LM	LM	LM	LM	LM	66.7
8	LI	LJ	LM	LM	LM	LM	LM	66.7
9	LI	LJ	LM	LM	LM	LM	LM	66.7
10	LI	LJ	LI	LI	LM	LM	LI	50.0

LJ = Lixiviado Joven (<5 años); LI = Lixiviado Intermedio (5–10 años); LM = Lixiviado Maduro (>10 años).

^aClasificación integrada: etiqueta final por muestra determinada a partir de pH, CE, ST, SDT, DBO₅ y DQO usando mayoría simple. En empates, prioridad: DBO₅ y DQO > ST y SDT > pH y CE.

^bConcordancia (%): (número de variables que coinciden con la Clasificación integrada / 6) × 100.

Unidades: Conductividad Eléctrica (CE) en $\mu\text{S}/\text{cm}$; Sólidos Totales (ST), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en mg/L ; pH adimensional. Rangos de referencia para LJ/LI/LM: Torres-Lozada et al. (2014).

La evaluación del nivel de contaminación de las muestras de lixiviado (Cuadro 3) revela un panorama crítico en términos de sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). El 70% de las muestras presentan concentraciones de SST superiores a 400 mg/L , el umbral que las clasifica como “fuertemente contaminadas”. Estos niveles superan ampliamente los límites permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021, la cual establece valores máximos para descargas de aguas residuales en cuerpos receptores nacionales. En dicha norma, los límites para DBO₅ y DQO en descargas de lixiviados tratables varían entre 75–200 mg/L para DQO y 30–60 mg/L para DBO₅, según el tipo de cuerpo receptor y uso asignado. De manera consistente, la DQO se encuentra elevada en el 90% de las muestras (>200 $\text{mg O}_2/\text{L}$), reflejando una alta concentración de materia orgánica no biodegradable. En contraste, la DBO₅ se mantiene en rangos moderados (30–120 $\text{mg O}_2/\text{L}$) en 9 de las 10 muestras, con excepción de muestra 3 que alcanza 176.73 $\text{mg O}_2/\text{L}$. Este patrón (SST alta, DQO alta y DBO₅ moderada) es característico de lixiviados en fase madura, donde predominan compuestos recalcitrantes y sólidos arrastrados desde capas profundas del relleno, lo que refuerza la clasificación presentada en la Tabla 2, así como los umbrales propuestos por Torres-Lozada et al. (2014).

Desde una perspectiva ambiental, este perfil de contaminación representa un riesgo considerable en el contexto de un relleno sanitario costero y con geología kárstica, como el de Campeche. La alta conectividad porosa y la baja capacidad de atenuación natural en este tipo de sustrato favorecen la infiltración y transporte rápido de lixiviados hacia los acuíferos subterráneos, especialmente durante

la temporada de lluvias (Parise & Gunn, 2007; Pronk et al., 2009). Esta vulnerabilidad se agrava si no existen barreras físicas (geomembranas, sistemas de drenaje o recubrimiento) que permitan contener el lixiviado o reducir la infiltración hacia el subsuelo. Asimismo, estudios recientes en vertederos costeros han documentado que la interacción entre lixiviados y flujos salinos (marinos o freáticos) puede alterar los procesos de transporte y aumentar la movilidad de metales pesados o compuestos orgánicos persistentes (Abd El-Salam et al., 2015; Nicholls et al., 2021), lo que amplifica la amenaza sobre ecosistemas acuáticos y reservas de agua dulce. Bajo este panorama, los hallazgos obtenidos sugieren la necesidad de estudios complementarios que integren análisis estacionales y temporales, a fin de comprender con mayor precisión la evolución del lixiviado en condiciones climáticas contrastantes (época de lluvias y de secas).

Cuadro 3. Clasificación del nivel de contaminación en las muestras de lixiviado. Adaptado del Censo de estadísticas ambientales SEMARNAT (2016).

Muestra	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	DQO (mg O ₂ /l)	Sólidos Totales (mg/l)
1	118.59	310	7750
2	96.79	313	4916.66
3	176.73	476	20480
4	95.74	242	360
5	55.18	150	320
6	71.03	187	240
7	76.36	228	700
8	118.37	288	410
9	70.05	235	700
10	105.67	200	580
Excelente	≤3	≤10	≤25
Buena calidad	<3 - ≤6	<10 - ≤20	<25 - ≤ 75
Aceptable	<6 - ≤30	<20 - ≤40	<75 - ≤ 150
Contaminado	< 30 -≤ 120	<40-≤200	<150 - ≤ 400
Fuertemente contaminado	>120	> 200	> 400

CONCLUSIÓN

Este estudio evaluó por primera vez el estado actual y el grado de madurez de los lixiviados generados en el Relleno Sanitario de Campeche, una instalación emplazada en un contexto hidrogeológico particularmente vulnerable de ambiente costero con suelos kársticos de alta permeabilidad y limitada capacidad de atenuación natural. Los resultados fisicoquímicos obtenidos indican que la mayoría de las muestras de lixiviado analizadas corresponden a una etapa de maduración avanzada (lixiviado maduro), con una carga orgánica baja, moderadas concentraciones de DBO₅, pero niveles elevados de DQO y sólidos suspendidos totales. Este perfil apunta a una presencia significativa de compuestos orgánicos recalcitrantes y partículas en suspensión arrastradas desde capas profundas del relleno.

Asimismo, el análisis correlacional entre los distintos parámetros (pH, CE, ST, SDT, DBO₅ y DQO) evidenció una dinámica interna heterogénea, reflejo del manejo operativo del sitio, de la falta de compartimentación hidráulica y de la influencia de variables ambientales como la estacionalidad climática. En estas condiciones, la caracterización tradicional por edad resulta insuficiente, y se requieren enfoques más integrales que consideren la variabilidad espacial y temporal del sistema.

En términos de calidad ambiental, la mayoría de las muestras superaron los umbrales de la NOM-001-SEMARNAT-2021 para descargas a cuerpos agua receptores, lo que evidencia un alto potencial contaminante del lixiviado, tanto por su contenido de materia orgánica poco biodegradable como por su carga de sólidos suspendidos. Esta condición representa un riesgo significativo para zona costera local y los cuerpos de agua subterráneos, dada la alta conectividad porosa del sustrato y la ausencia de sistemas de captación, impermeabilización o tratamiento. Sin embargo, los hallazgos subrayan la necesidad urgente de ampliar el análisis hacia una caracterización multitemporal abarcando temporadas de lluvias y secas, especialmente en regiones con clima tropical húmedo, donde la variabilidad hídrica puede modificar de forma significativa la calidad y el volumen del lixiviado. Estudios futuros han de considerar integrar análisis de contaminantes específicos como metales pesados o compuestos emergentes (micro plásticos) y esquemas de vulnerabilidad geoespacial para diseñar estrategias de gestión diferenciadas, alineadas con las condiciones biofísicas del territorio y los riesgos asociados a la disposición final de residuos en entornos frágiles como el costero-kárstico de Campeche.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el presupuesto asignado a través de la Convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2024 de los Institutos Tecnológicos Federales y Centros, bajo el proyecto titulado “Caracterización e impacto socioambiental de los lixiviados del relleno sanitario en agua de abastecimiento de zonas periurbanas de Campeche”, con clave 19556.24-P.

REFERENCIAS

- Abd El-Salam, M. M., & Abu-Zuid, G. I. (2015). Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt. *Journal of Advanced Research*, 6(4), 579–586.
- Aldana-Espitia, N. C., Botello-Álvarez, J. E., Rivas-García, P., Cerino-Córdova, F. J., Bravo-Sánchez, M. G., Abel-Seabra, J. E., & Estrada-Baltazar, A. (2017). Environmental impact mitigation in an industrialized city in Mexico: An approach of life cycle assessment. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16, 563–580.
- Aziz, S. Q., Aziz, H. A., Yusoff, M. S., Bashir, M. J., & Umar, M. (2010). Leachate characterization in semi-aerobic and anaerobic sanitary landfills: A comparative study. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2608–2614.
- Brand, J. H., Spencer, K. L., O’shea, F. T., & Lindsay, J. E. (2018). Potential pollution risks of historic landfills on low-lying coasts and estuaries. *WIREs Water*, 5(1), e1264.
- Chávez-Montes, W. M. (2011). Tratamientos de lixiviados generados en el relleno sanitario de Cd. de Chihuahua, Méx. [Tesis de Maestría]. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua, México.
- De la O Torres, R. A. (2019). Giro moderno, turismo y dicotomías de la modernidad: El caso de los monumentos históricos de Campeche en la década de 1950 y 1960. [Ensayo]. <https://share.google/F4PL1DqwRKxGhX3n5>
- El-Saadony, M. T., Saad, A. M., El-Wafai, N. A., Abou-Aly, H. E., Salem, H. M., Soliman, S. M., Abd El-Mageed, T. A., Elrys, A. S., Selim, S., Abd El-Hack, M. E., Kappachery, S., El-Tarabily, K. A., & AbuQamar, S. F. (2023). Hazardous wastes and management strategies of landfill leachates: A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*, 31, 103150.
- Gonzalez-Herrera, R., Vazquez-Mujica, P., & Canto-Ríos, J. (2023). Interactions of waste disposal site leachate with the Merida karst aquifer, Mexico. *Journal of Hydrology*, 620, 129436.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis* (pp. 457–458). Prentice Hall.

- Kamaruddin, M. A., Yusoff, M. S., Aziz, H. A., & Hung, Y.-T. (2015). Sustainable treatment of landfill leachate. *Applied Water Science*, 5(2), 113–126.
- Kang, K. H., Shin, H. S., & Park, H. (2002). Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications. *Water Research*, 36(16), 4023–4032.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297–336.
- Ma, S., Zhou, C., Pan, J., Yang, G., Sun, C., Liu, Y., Chen, X., & Zhao, Z. (2022). Leachate from municipal solid waste landfills in a global perspective: Characteristics, influential factors and environmental risks. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130234.
- Nicholls, R. J., Beaven, R. P., Stringfellow, A., Monfort, D., Le Cozannet, G., Wahl, T., Gebert, J., Wadey, M., Arns, A., Spencer, K. L., Reinhart, D., Heimovaara, T., Santos, V. M., Enríquez, A. R., & Cope, S. (2021). Coastal landfills and rising sea levels: A challenge for the 21st century. *Frontiers in Marine Science*, 8.
- Ogata, Y., Ishigaki, T., Nakagawa, M., & Yamada, M. (2016). Effect of increasing salinity on biogas production in waste landfills with leachate recirculation: A lab-scale model study. *Biotechnology Reports*, 10, 111–116.
- Parise, M., & Gunn, J. (2007). Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, analysis and mitigation. Geological Society, London, Special Publications, 279(1), 1–3.
- Peng, Y. (2017). Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2567–S2574.
- Pronk, M., Goldscheider, N., & Zopfi, J. (2009). Microbial communities in karst groundwater and their potential use for biomonitoring. *Hydrogeology Journal*, 17(1), 37–48.
- Ramírez-Sosa, D. R., Castillo-Borges, E. R., Méndez-Novelo, R. I., Sauri-Riancho, M. R., Barceló-Quintal, M., & Marrufo-Gómez, J. M. (2013). Determination of organic compounds in landfill leachates treated by Fenton-adsorption. *Waste Management*, 33(2), 390–395.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493.
- Rueda-Avellaneda, J. F., Rivas-García, P., Gomez-Gonzalez, R., Benitez-Bravo, R., Botello-Álvarez, J. E., & Tututi-Avila, S. (2021). Current and prospective situation of municipal solid waste final disposal in Mexico: A spatio-temporal evaluation. *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 1, 100007.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SFCI). (1980). NMX-AA-003-SCFI-1980. Aguas residuales: Muestreo. 25 de marzo de 1980. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166762/NMX-AA-003-1980.pdf>
- SFCI. (2012). NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de agua: Medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). 21 de mayo de 2013. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166774/NMX-AA-030-1-SCFI-2012.pdf>
- SFCI. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua: Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales y residuales. 18 de abril de 2016. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>
- SFCI. (2021). NMX-AA-028-SCFI-2021. Análisis de agua: Medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). 26 de octubre de 2022. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5669720
- SEMARNAT. (2016). Compendio de estadísticas ambientales: Indicadores de la calidad del agua. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2016
- SEMARNAT. (2021). NOM-001-SEMARNAT-2021. Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores nacionales. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374
- Slack, R. J., Gronow, J. R., & Voulvoulis, N. (2005). Household hazardous waste in municipal landfills: Contaminants in leachate. *Science of the Total Environment*, 337(1–3), 119–137.
- Torres-Lozada, P., Barba-Ho, L. E., Ojeda, C., Martínez, J., & Castaño, Y. (2014). Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición fisicoquímica y su potencial de toxicidad. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 245–255.
- Vaverková, M. D. (2019). Landfill impacts on the environment—Review. *Geosciences*, 9(10), 431.
- Wiszniewski, J., Robert, D., Surmacz-Gorska, J., Miksch, K., & Weber, J. V. (2006). Landfill leachate treatment methods: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 4(1), 51–61.

- Wu, C., & Li, Q. (2021). Characteristics of organic matter removed from highly saline mature landfill leachate by an emergency disk tube-reverse osmosis treatment system. *Chemosphere*, 263, 128347.
- Ziyang, L., Youcai, Z., Tao, Y., Yu, S., Huili, C., Nanwen, Z., & Renhua, H. (2009). Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages. *Science of the Total Environment*, 407(10), 3385–3391.

Análisis de la respuesta en frecuencia de un “filtro activo pasa bajas” a partir del método de polos y ceros

César Hernández-Sánchez¹, Pedro Sánchez-Santiago^{1*}, Franco Gabriel Caballero-Julián¹, Álvaro César Guevara-Ramírez¹, Héctor Javier Jarquin-Flores¹, Rosa Isabel Hernández-Sánchez²

¹Tecnológico Nacional de México/IT Oaxaca. Oaxaca, México. ²CONAHCYT-Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: pedro.santiago@itoaxaca.edu.mx

Recibido: 08/10/25; Aceptado: 02/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Derivado de los pocos estudios accesibles sobre el análisis de la respuesta en frecuencia de un sistema a partir del método de polos y ceros resulta en una baja comprensión por parte de los profesionistas interesados en el tema. El objetivo del presente documento es elaborar información accesible y comprensible al analizar la respuesta en frecuencia de un sistema de primer orden. La entrada al sistema tiene el comportamiento de $V_{msen}(\omega t)$, y se consideraron 3 frecuencias de 200 Hz, 48 Hz (frecuencia de corte) y 100 Hz, cada una de ellas se analizó de forma matemática, se simuló en el software Proteus y se comprobó de manera física en el osciloscopio. Para la frecuencia de 200 Hz se determinó una atenuación de -12 dB y un desfase de 255 grados, para la frecuencia de 48 Hz se determinó una atenuación de -3 dB y un desfase de 45 grados. En esta frecuencia se corroboró la atenuación correspondiente al 70% de la señal de entrada y el desfase de 45° que es el límite para la pérdida de potencia en señales analógicas, y para la frecuencia de 100 Hz se determinó una atenuación de -7 dB y un desfase de 224 grados. Se concluye que la información obtenida en el análisis en frecuencia a partir de polos y ceros es congruente de forma teórica, simulada y física. Obteniendo así un documento como guía en el análisis de la respuesta en frecuencia a partir de polos y ceros.

Palabras clave: Respuesta en frecuencia, polos, ceros.

ABSTRACT

The limited number of accessible studies on the analysis of a system's frequency response using the pole-zero method results in a lack of understanding among professionals interested in the subject. The objective of this document is to provide accessible and understandable information for analyzing the frequency response of a first-order system. The input to the system has the behavior of $V_{msen}(\omega t)$, and 3 frequencies of 200 Hz, 48 Hz (cutoff frequency) and 100 Hz were considered, each of them was analyzed mathematically, simulated in the Proteus software and verified physically in the oscilloscope. For the frequency of 200 Hz, an attenuation of -0.18 dB and a phase shift of 11 degrees were determined, for the frequency of 48 Hz, an attenuation of -3 dB and a phase shift of 45 degrees were determined. At this frequency, the attenuation corresponding to 70% of the input signal and the phase shift of 45°, which is the limit for the loss of power in analog signals, were corroborated, and for the frequency of 100 Hz, an attenuation of -7 dB and a phase shift of 224 degrees were determined. It is concluded that the information obtained from the frequency analysis based on poles and zeros is consistent theoretically, simulated, and physically. This provides a guide for the analysis of frequency response based on poles and zeros.

Key words: Frequency response, poles, zeros.

INTRODUCCIÓN

La información que existe referente al análisis de sistemas a partir del método de polos y ceros es muy limitada, es por ello, que la presente investigación genera información detallada del análisis correspondiente. Estudios relacionados con el tema como el análisis de frecuencia a partir de bode (Ogata, 2010) nos permite comprender que la respuesta en frecuencia de un sistema define el comportamiento de éste a distintas frecuencias, por ejemplo, si tenemos una señal de voz y se introduce por un amplificador de audio éste responde de distintas formas dependiendo de la frecuencia

de entrada, para el caso del amplificador de audio generalmente se espera que a la salida se muestre una amplitud mayor que la amplitud de la entrada. Basándonos en dichas investigaciones se propone que al estudiar el comportamiento de la fase sea similar, cuando un sistema no está dentro de los parámetros establecidos del sistema éste deriva en la distorsión de la señal de salida conocido comúnmente como ruido o que incluso lleve a la afectación del sistema acortando su vida útil, es por ello, que el estudio del comportamiento de los sistema es tan valioso pues se conocen los límites del mismo, e inclusive se pueden aplicar compensadores para variar sus parámetros y así tener una mejor respuesta de salida. Un sistema puede definirse como un conjunto de elementos interrelacionados que trabajan en conjunto para alcanzar un objetivo específico. En el ámbito de la ingeniería de control, un sistema se describe como una entidad que procesa entradas y produce salidas, las cuales pueden analizarse y regularse mediante técnicas matemáticas y herramientas de modelado (Ogata, 2010).

De manera más formal, un sistema dinámico es aquel cuyo comportamiento varía en el tiempo y puede representarse mediante ecuaciones diferenciales o de diferencia. Estos modelos permiten predecir cómo evolucionará el sistema frente a distintas condiciones y estímulos externos (Nise, 2016). Por lo cual el análisis de las salidas permite determinar la efectividad del control implementado y verificar si el sistema cumple con los objetivos planteados. En la teoría de control, las salidas se comparan constantemente con la señal de referencia para calcular el error y aplicar una acción correctiva (Dorf & Bishop, 2011). Cada sistema puede ser descrito a través de su función de transferencia la cual se define como la relación matemática entre la salida y la entrada de un sistema lineal e invariante en el tiempo, de tal forma que si un sistema recibe una señal $X(s)$ produce una salida $Y(s)$, entonces la función de transferencia se define como la función de transferencia se puede describir a partir de polos y ceros. Permitiendo así un análisis del comportamiento de sistema al recibir una señal de entrada a este método se le denomina “Respuesta en frecuencia a partir de polos y ceros” que es un método gráfico utilizado para analizar el comportamiento de un sistema (electromecánico, eléctrico, electrónico, hidráulico, etc.) a diferentes frecuencias de entrada. En esta investigación se aplica el método de polos y ceros para analizar un filtro activo de primer orden y conocer así el comportamiento del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método a utilizar se lleva a cabo considerando los siguientes pasos: primero, se establece la función de transferencia en factores, tanto en el numerador como en el denominador. Posteriormente, se marcan en el plano complejo los polos y ceros correspondientes a la función de transferencia del sistema. A continuación, se coloca la frecuencia de entrada en radianes por segundo (rad/s) en el plano complejo y se trazan líneas desde los polos y ceros hacia el punto $s(j\omega)$, que representa la entrada. Luego, se determina la magnitud de cada línea trazada hacia el punto s y se obtiene el ángulo en dicho punto aportado por cada línea. Finalmente, se analiza el comportamiento de la magnitud de la función de transferencia a una frecuencia establecida.

$$K * \frac{\text{producto de las magnitudes de los } \mathbf{ceros} \text{ hacia el punto } s}{\text{roducto de las magnitudes de los } \mathbf{polos} \text{ hacia el punto } s}$$

La aportación angular final al sistema se obtiene de la diferencia de la sumatoria de los ángulos de los ceros menos la sumatoria de los ángulos de los polos

$$\theta_t = \sum \theta_z - \sum \theta_p$$

La función de transferencia para el circuito del primer orden a analizar, que se muestra en la Figura 1 es la siguiente:

$$\left(\frac{R_1}{R_2}\right) * \frac{1}{\left[\frac{jw}{\frac{1}{R_2C}} + 1\right]} \tag{Ec 1}$$

Ecuación 1. función de transferencia del sistema.

$$\frac{303}{s + 303} \tag{Ec 2}$$

Ecuación 2. función de transferencia resultante con valores sustituidos.

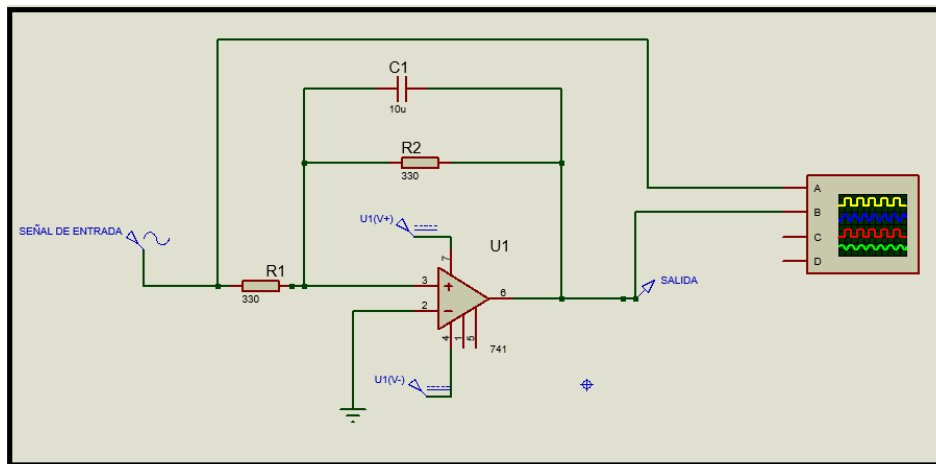


Figura 1. Diagrama del filtro de primer orden en lazo abierto.

RESULTADOS Y DISCUSION

De la función de transferencia obtenida se analizará el comportamiento del sistema en 3 frecuencias diferentes en las que se observará el comportamiento de la magnitud y de la fase de forma teórica, simulada y física. Las frecuencias propuestas son las siguientes: 200 Hz, 48 Hz, 100 Hz (Figura 2).

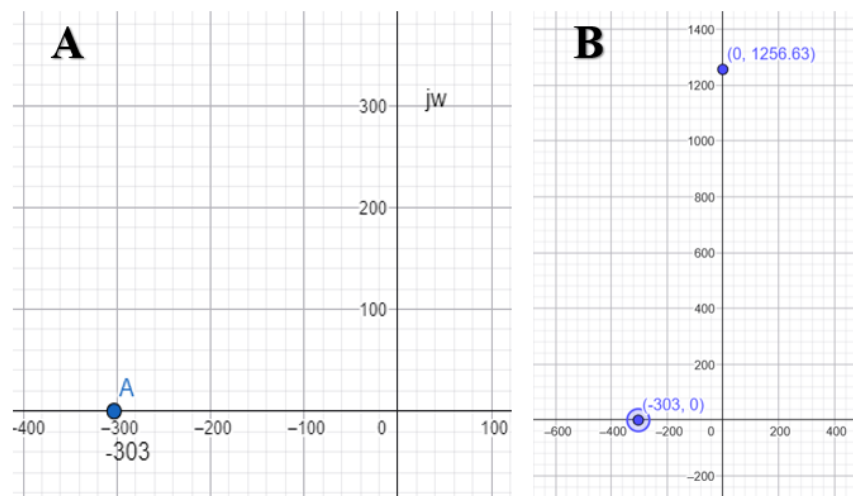


Figura 2. A) Gráfica del polo en -303, B) Gráfica del polo en -303 y w = 1256.63.

a) Para una frecuencia de 200 Hz donde $\omega = 1256.632$

Magnitud correspondiente

$$|G(j\omega)| = \sqrt{(303)^2 + (1256.632)^2}$$

$$|G(j\omega)| = 1292.391$$

Que es la distancia de la línea del polo al punto $j\omega$ determinado por la señal de entrada.

La aportación angular se calcula de la siguiente manera:

$$\theta_a = 180 + \tan^{-1}\left(\frac{1256.63}{303}\right)$$

$$\theta_a = 76.44^\circ$$

$$F.T = 303 * \frac{1}{1292.39} = 0.234$$

$$\theta = \sum \theta_R - \sum \theta_{polo}$$

$$\theta = -256^\circ$$

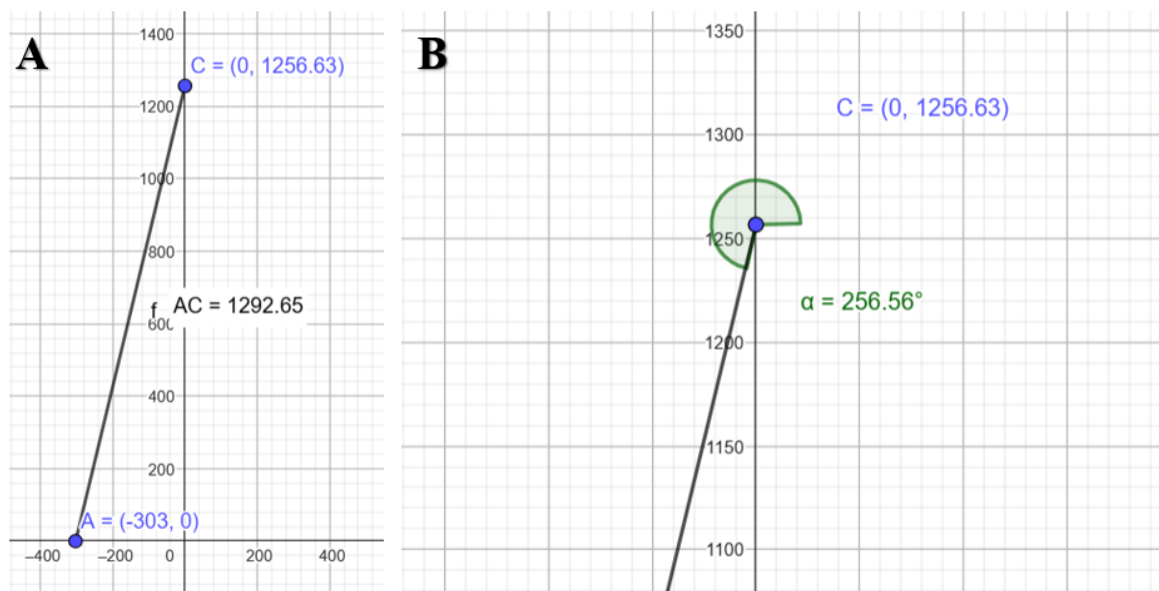


Figura 3. A) Gráfica de la magnitud del polo al punto $j\omega$; B) gráfica de la aportación angular del polo al punto $j\omega$

Resultados de la simulación correspondiente del circuito. En la captura del osciloscopio simulado (Figura 4A), se pueden observar las dos señales correspondientes a la entrada y a la salida. La diferencia de amplitud y el desfase horizontal entre ambas ondas corresponden a la magnitud y fase calculadas previamente. De manera similar, la Figura 4B presenta los resultados obtenidos con el circuito físico. Se observa que la señal de salida (traza amarilla) tiene una amplitud diferente y esta desplazada en el tiempo con respecto a la señal de entrada (traza azul), lo que confirma visualmente la respuesta en frecuencia del sistema.

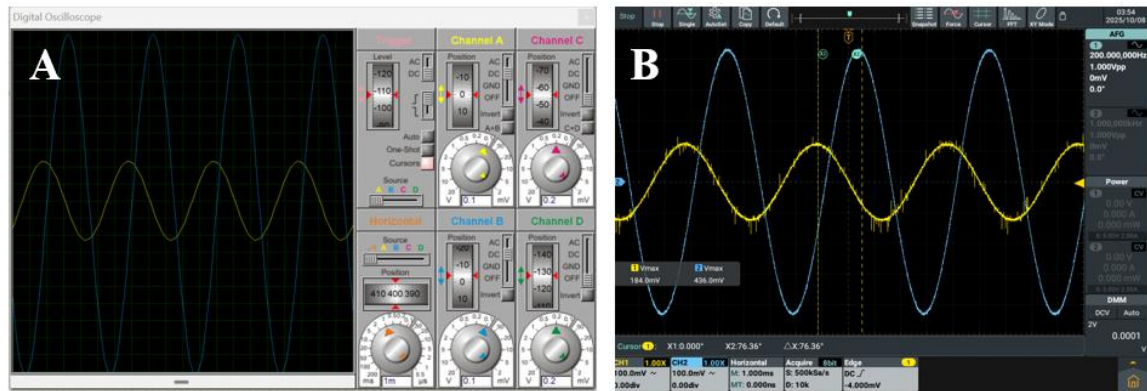


Figura 4. A) Visualización de la salida del circuito en la simulación, B) Resultados del circuito físico obtenidos en el osciloscopio.

b) Para una frecuencia de 48Hz donde $\omega = 301.593$

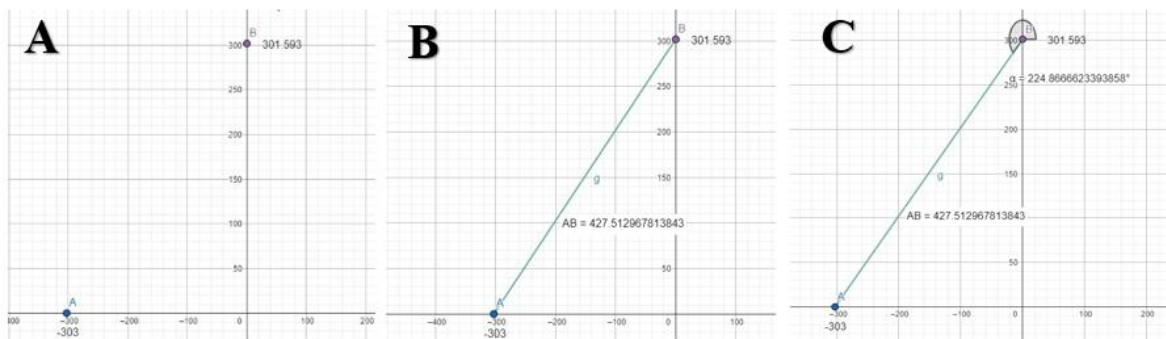


Figura 5. A) Gráfica del polo en -303 y $\omega = 301.593$, B) Gráfica de la magnitud del polo al punto $j\omega$, C) Gráfica de la aportación angular del polo al punto $j\omega$.

Magnitud de la distancia de la línea del polo al punto $j\omega$ determinado por la señal de entrada

$$|G(j\omega)| = \sqrt{(303)^2 + (301.593)^2} = 427.512$$

$$|G(j\omega)| = 427.512$$

Distancia de la línea del polo al punto $j\omega$ determinado por la señal de entrada

La aportación angular se calcula de la siguiente manera:

$$\theta_b = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{301.593}{303}\right)$$

$$\theta_b = 224.86^\circ$$

$$F.T = 303 * \frac{1}{427.512} = 0.708$$

$$\theta = \sum \theta_R - \sum \theta_{polo}$$

$$\theta = -224.86^\circ$$

Resultados en la simulación del circuito para la frecuencia de 48 Hz (frecuencia de corte). La captura del osciloscopio simulado (Figura 6A) muestra la atenuación de la señal de entrada correspondiente

a la frecuencia de corte que es del 70% en la onda de salida y un mayor desplazamiento horizontal (fase) entre las señales. Resultados en físico del circuito. De igual forma, las mediciones en el circuito físico (Figura 6B) concuerdan con la predicción teórica, mostrando una respuesta consistente tanto en amplitud como en fase, lo que confirma la validez del modelo.

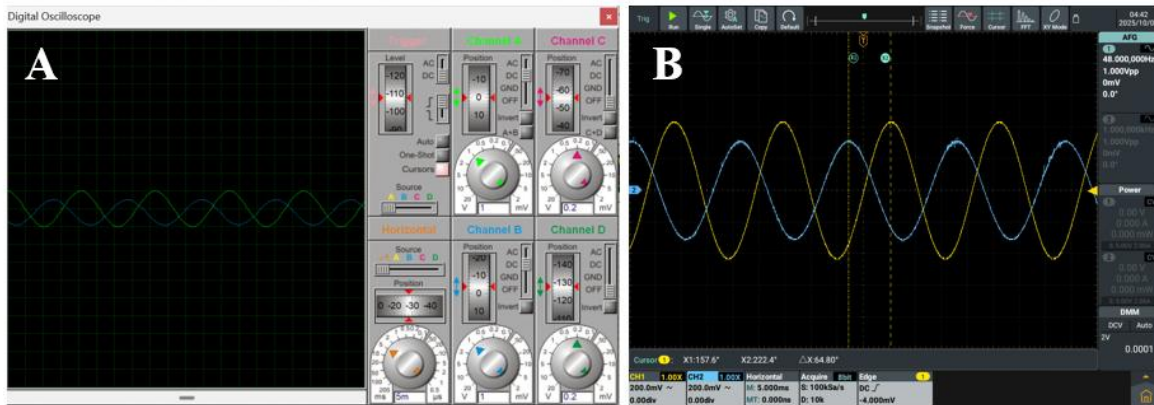


Figura 6. A) Visualización de la salida del circuito en la simulación, B) Resultados del circuito en físico.

c) Para una frecuencia de 100Hz donde $\omega = 628.318$

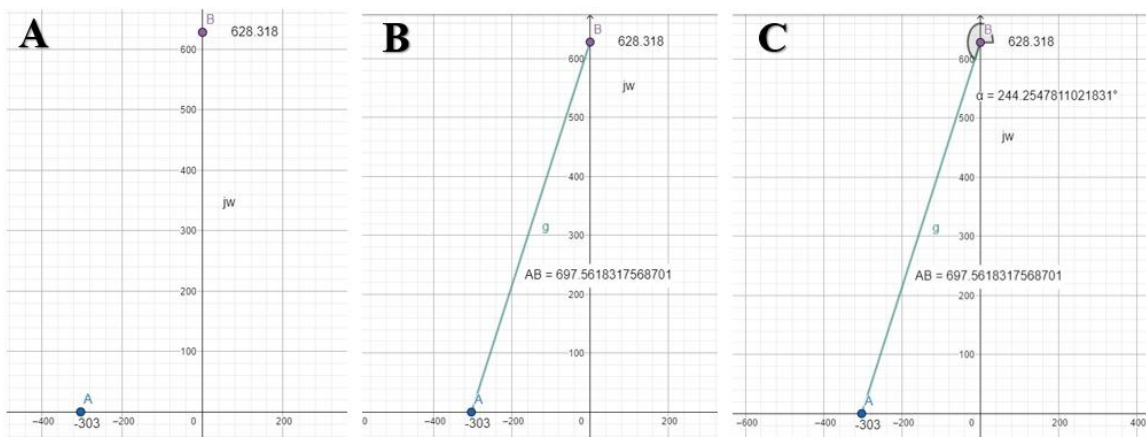


Figura 7. A) Gráfica del polo en -303 y $\omega = 628.318$, B) Gráfica de la magnitud del polo al punto $j\omega$, C) Gráfica de la aportación angular del polo al punto $j\omega$.

Distancia de la línea del polo al punto $j\omega$ determinado por la señal de entrada-Magnitud

$$|G(j\omega)| = \sqrt{(303)^2 + (628.318)^2} = 697.56$$

La aportación angular se calcula de la siguiente manera.

$$\theta_c = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{628.318}{303}\right)$$

$$\theta_c = 244.259^\circ$$

$$F.T = 303 * \frac{1}{697.561} = 0.434$$

$$\theta = \sum \theta_R - \sum \theta_{polo}$$

$$\theta = 0 - 244.259^\circ$$

$$\theta = -244.259^\circ$$

Resultados en la simulación del circuito. En la simulación (Figura 8A), la onda de salida aparece visiblemente más pequeña y con un desfase muy marcado respecto a la entrada. Resultados en físico del circuito. Las mediciones en el circuito físico (Figura 8B) respaldan de manera concluyente los resultados teóricos y de simulación, demostrando el comportamiento del sistema a 100 Hz y reforzando la fiabilidad tanto del diseño como del modelo matemático empleado.

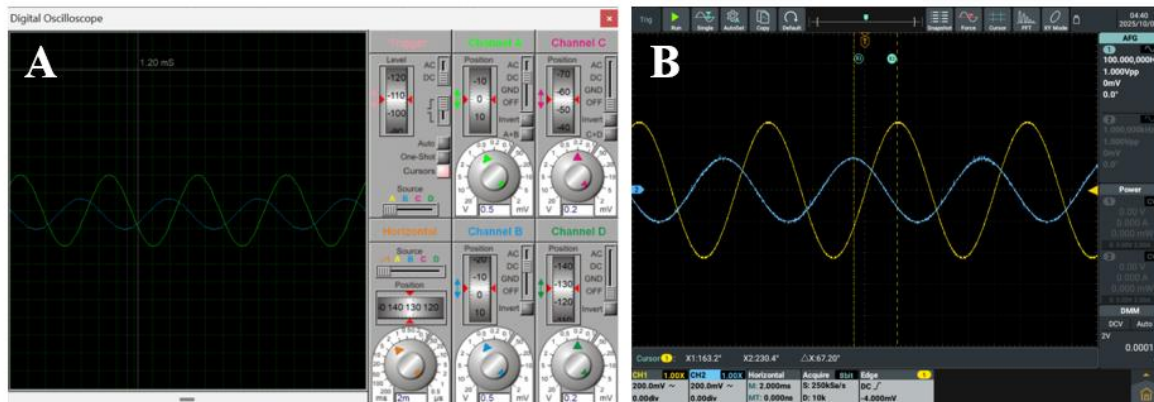


Figura 8. A) Resultados del circuito en la simulación, B) Resultados del circuito en físico.

CONCLUSIÓN

En la frecuencia de 200 Hz se obtuvieron resultados consistentes entre los tres métodos de análisis: cálculo teórico, simulación en Proteus y medición en el circuito físico. Los valores obtenidos muestran que el comportamiento del sistema concuerda con el análisis realizado a partir de los polos y ceros. En la frecuencia de 48 Hz se obtuvieron resultados consistentes entre los tres métodos de análisis: cálculo teórico, simulación en Proteus y medición en el circuito físico. Los valores obtenidos muestran que el comportamiento del sistema concuerda con el análisis aplicado al sistema a partir del método de polos y ceros, lo que confirma la validez del modelo matemático empleado. Esta congruencia muestra que la respuesta se mantiene dentro de lo esperado lo cual refuerza la confiabilidad tanto del diseño como de la implementación práctica del circuito. En la frecuencia de 100 Hz se obtuvieron resultados consistentes entre los tres métodos de análisis: cálculo teórico, simulación en Proteus y medición en el circuito físico. Los resultados reflejan el comportamiento del sistema con las estimaciones realizadas a partir del análisis de polos y ceros, lo que respalda la precisión del modelo matemático utilizado. Esta concordancia indica que la respuesta del circuito se mantiene dentro de los resultados previos, aumentando así, la fiabilidad tanto del diseño teórico como de la parte práctica. En esta investigación se aporta un análisis al estudio de la respuesta en frecuencia a partir del método de polos y ceros con la finalidad de documentar el método

REFERENCIAS

- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2011). *Modern Control Systems* (12th ed.). Pearson.
 Nise, N. S. (2016). *Control Systems Engineering* (7th ed.). Wiley.
 Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (5ª ed.). Pearson Educación.

Estimación de la altura del maíz a través de imágenes de alta resolución obtenidas con un DRON

Gonzalo Neftaly Gijón-Yescas¹, Pedro Salvador-Morales^{2*}, Yameli Aguilar-Duarte³, Enrique Arcocha-Gómez², Noel Antonio González-Valdivia², Brallan Chan-Ek², Zeyli Alejandra Pineda-León²

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida Yucatán, México. ²Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México. ³Centro de Investigación Regional Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Mérida, Yucatán México. *Autor de correspondencia: pedro.sm@china.tecnm.mx

Recibido: 03/07/25; Aceptado: 02/08/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La agricultura representa la fuente primaria de comida del mundo y actualmente, está encarando diversos retos debido a la creciente población. El uso de las tecnologías actuales y en desarrollo pueden ser soluciones prometedoras para encarar estos retos, siendo la agricultura inteligente y de precisión opciones para solventar estas necesidades. El uso de los drones ha ofrecido a la percepción remota y a la agricultura de precisión múltiples ventajas, en comparación con otras tecnologías para adquirir imágenes. Por ello el objetivo del estudio fue explorar las posibles aplicaciones del uso de los drones en la estimación de la altura del cultivo de maíz en una parcela de Tikinmul, Campeche. Se realizó un sobrevuelo autónomo con dron sobre una parcela de maíz a una altura de 70 m, un traslape frontal de 80% y un lateral de 70%. Las imágenes se procesaron utilizando el software Agisoft Metashape v1.7.3 generando una nube de puntos, un modelo digital de elevaciones y un ortomosaico. El modelo digital de las alturas del maíz (MDAM), estimó una altura promedio de 125 cm con una altura mínima y máxima de 102 a 146 cm respectivamente con un tamaño de muestra de 248 datos. El coeficiente de determinación (R^2) entre las alturas de la planta medidas en campo comparado con los datos de altura que se estimaron con el modelo digital de elevación (MDEAM) fue de 0.85. Los drones representan una alternativa precisa, de bajo costo y rápida para usarla en el monitoreo de diversos cultivos, incluyendo el maíz.

Palabras clave: Agricultura de precisión, ortomosaico, modelo digital de elevación.

ABSTRACT

Agriculture represents the world's primary source of food and is currently facing various challenges due to a growing population. The use of current and developing technologies can be promising solutions to address these challenges, with smart and precision agriculture being options to meet these needs. The use of drones has offered multiple advantages for remote sensing and precision agriculture compared to other image acquisition technologies. Therefore, the objective of this study was to explore the potential applications of drones in estimating corn crop height in a plot in Tikinmul, Campeche. An autonomous drone flight was conducted over a corn plot at a height of 70 m, with an 80% frontal overlap and a 70% lateral overlap. The images were processed using Agisoft Metashape v1.7.3 software, generating a point cloud, a digital elevation model, and an orthomosaic. The digital corn height model (MDAM) estimated an average height of 125 cm, with a minimum and maximum height of 102 and 146 cm, respectively, with a sample size of 248 data points. The coefficient of determination (R^2) between plant heights measured in the field and height data estimated using the digital elevation model (MDEAM) was 0.85. Drones represent an accurate, low-cost, and rapid alternative for monitoring various crops, including corn.

Key words: Precision agriculture, orthomosaic, digital elevation model.

INTRODUCCIÓN

La agricultura representa la fuente primaria de comida del mundo y actualmente, está encarando diversos retos debido a la alta demanda de comida y la seguridad alimentaria, además de atender los requerimientos de protección ambiental, cuidado del agua y sostenibilidad (Inoue, 2020). El uso de

las tecnologías actuales y en desarrollo pueden ser soluciones prometedoras para encarar estos retos, siendo la agricultura inteligente y de precisión opciones para solventar estas necesidades (Rejeb et al., 2022). Por otro lado, una herramienta con alto potencial que se ha usado para apoyar a estas dos tecnologías ha sido la percepción remota (Rejeb et al., 2022; Tsouros et al., 2019). Se ha utilizado para el monitoreo de cultivos, proporcionando soluciones efectivas para la agricultura de precisión en los últimos 35 años. La percepción remota ha empleado imágenes de satélite o imágenes adquiridas con aviones tripulados en diversas longitudes de onda, para monitorear diversos cultivos y una variedad de parámetros e índices (Tsouros et al., 2019). Sin embargo, las imágenes de satélite no siempre son la mejor opción, debido a su baja resolución espacial y temporal, además que su calidad está sujeta a la variabilidad de las condiciones ambientales, como la nubosidad (Müllerová et al., 2017). Por otro lado, la adquisición de las imágenes con aviones tripulados tiene altos costos, por lo cual no es posible realizar múltiples vuelos.

El uso de los drones ha ofrecido a la percepción remota y a la agricultura de precisión múltiples ventajas, en comparación con otras tecnologías para adquirir imágenes (Rejeb et al., 2022). Los drones ofrecen las siguientes ventajas para recabar información: captura de datos con alta resolución espacial y temporal (Manfreda et al., 2018), disminución de riesgos para los trabajadores y equipos, bajos costos de operación y mantenimiento (Themistocleous et al., 2015), versatilidad en el uso de sensores (cámaras térmicas, infrarrojas, multiespectrales, RGB, LiDAR) (Themistocleous et al., 2014) y acceso a zonas remotas y peligrosas (Wyngaard et al., 2019). Por ello, el objetivo del estudio es explorar las posibles aplicaciones del uso de los drones en la estimación de la altura del cultivo de maíz en una parcela de Tikinmul, Campeche. Contribuyendo de este modo a la generación de conocimientos, tarea que el Tecnológico Nacional de México impulsa para el rescate del campo mexicano y la autosuficiencia alimentaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es una parcela de 5.8 ha ubicada en la comisaria de Tikinmul, Campeche, ubicada en las coordenadas $19^{\circ} 46' 3''$ N y $90^{\circ} 12' 50''$ W (Figura 1). En la parcela se plantó maíz el cual tenía 77 días de haberse sembrado al momento de hacer este estudio.

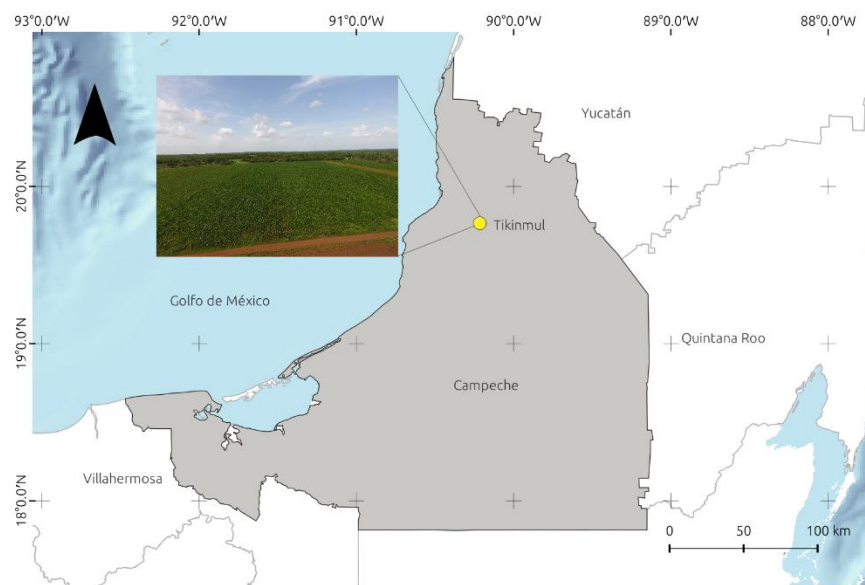


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Captura de imágenes aéreas. Las imágenes aéreas de la parcela fueron capturadas con un dron DJI Phantom 4, el cual está equipado con una cámara RGB de 12.4 megapíxeles y un sistema de posicionamiento por satélite GPS/GLONASS (DJI, 2016). Las imágenes se obtuvieron a través de vuelos autónomos diseñados con la aplicación Pix4Dcapture (figura 2). Esta aplicación se descargó e instaló en un dispositivo iPhone SE 2020 desde el cual se realizó la planeación del vuelo. Los parámetros de vuelo utilizados fueron: altura 70 m, traslape frontal 80%, traslape lateral 70% y ángulo de inclinación de la cámara de 5°. Se realizaron dos vuelos utilizando estos parámetros: el primero antes de la siembra del maíz y el segundo a los 77 días después de la siembra.



Figura 2. Plan de vuelo autónomo generado con la aplicación Pix4Dcapture.

Previo a realizar los vuelos, se colocaron 6 lonas de 1 m x 1m sobre varillas enterradas que se utilizaron para delimitar el terreno. Esto con la finalidad de que los productos generados (ortomosaicos y modelos digitales de elevación) tengan la misma georreferencia.

Procesamiento de imágenes. Las imágenes capturadas con el DRON se procesaron utilizando el software Agisoft Metashape v1.7.3., este software permite procesar imágenes procedentes de cámaras RGB, térmicas o multiespectrales, así como escaneados laser terrestres y aéreos. Y posteriormente, convertir esta información en datos geospaciales en forma de nubes de puntos, modelos 3D, ortomosaicos y modelos digitales del terreno y de superficie (Agisoft, 2023). Un Ortomosaico es el producto resultante de unir fotos superpuestas para crear una representación o un mapa completo y continuo de una parte de la Tierra, eliminando las distorsiones (Geonadir, 2021). Mientras que un modelo digital de elevación (MDE) es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (INEGI, 2020). El proceso inicio con el alineamiento de las imágenes utilizando una precisión media y posteriormente, se construyó la nube de puntos densa. En esta etapa del procesamiento de las imágenes, se insertaron los puntos de control que previamente se tomaron en campo en los límites de la parcela (Figura 4). Finalmente, se generó el modelo digital de elevaciones (MDE) y los ortomosaicos de ambas fechas.

Análisis de imágenes para determinar altura. Para determinar las alturas del maíz se realizó la construcción del modelo digital de las alturas del maíz (MDAM), utilizando el sistema de información geográfica QGIS v3.18.12. QGIS permite visualizar, capturar y analizar datos espaciales para poder presentarlos en forma de atlas, mapas e informes sofisticados. Asimismo, QGIS admite una gran cantidad de formatos de datos vectoriales y ráster, con un nuevo soporte que se agrega fácilmente mediante la arquitectura del complemento (QGIS, 2023). Para realizar la construcción del MDAM se utilizó la herramienta “Raster calculator” mediante la cual se hizo la resta del MDE (modelo digital de elevación) obtenido después de la siembra (MDEDS) menos el MDE generado antes de la siembra

(MDEAS) (Ecuación 1). El MDAM nos permitirá determinar las alturas del maíz para todas las plantas de la parcela. $MDAM = MDEDS - MDEAS$ (Ecuación (1)); Donde: MDAM: Modelo digital de las alturas del maíz, MDEDS: Modelo digital de elevaciones después de la siembra, MDEAS: Modelo digital de elevaciones antes de la siembra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ortomosaico y MDEAS. Antes de la siembra se capturaron 224 imágenes aéreas en un tiempo aproximado de 14 minutos. Estas imágenes se procesaron y se obtuvieron ortomosaicos y MDE con resoluciones espaciales de 3 y 12 cm/px respectivamente. El Ortomosaico antes de la siembra revela las características del terreno desnudo y se determina una superficie de 5.8 h-1. El polígono en color negro muestra el límite de la parcela de estudio (Figura 3).

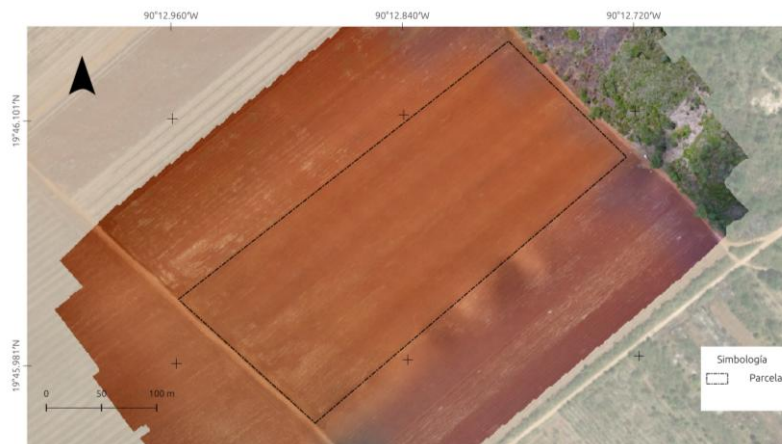


Figura 3. Ortomosaico del área de estudio antes de la siembra

El modelo digital de elevaciones antes de la siembra (MDEAS) nos permitió obtener la topografía del terreno desnudo, con el cual se pueden observar las variaciones del terreno. Las partes más bajas se ubican en la zona suroeste (color verde), mientras que las partes más altas se localizan en la parte central del predio (color crema) (Figura 4).



Figura 4. Modelo digital de elevaciones de la parcela antes de la siembra

Ortomosaico y MDEDS. A los 77 días después de la siembra del maíz, nuevamente se realizó un vuelo con el dron, se generó el Ortomosaico donde se puede observar un color verde que corresponde a las plantas del maíz (Figura 5).

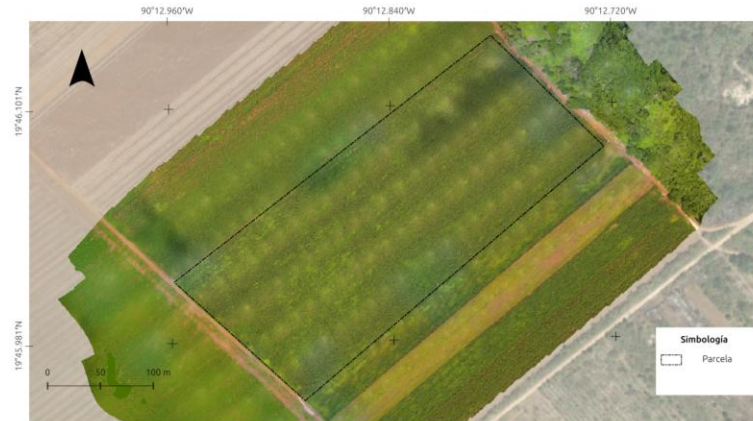


Figura 5. Ortomosaico del área de estudio antes de la siembra

El modelo digital de las alturas del maíz (MDAM), muestra que la altura promedio fue de 125 cm con una altura mínima y máxima de 102 a 146 cm respectivamente mediante cálculos de los MDEDS – MDEAS (ecuación 1) con un tamaño de muestra de 248 datos (Figura 6). El coeficiente de determinación (R^2) entre las alturas de la planta medidas en campo comparado con los datos de altura que se estimaron con el modelo digital de elevación (MDEAM) fue de 0.85, este resultado difiere con Marcial (2017) que obtuvo una R^2 de 0.99 realizando el vuelo a 52 m de altura, en el caso del presente trabajo el vuelo fue a 70 m, este autor menciona que a altitudes más bajas de vuelo se obtienen alturas más precisas ya que se alcanza una mayor resolución de la superficie de la imagen.



Figura 6. Modelo digital de elevaciones de la parcela antes de la siembra

Ortomosaico y MDEAM. Al comparar una sección del Ortomosaico con la misma sección del MDEAM, se pueden observar que estas, coinciden en las partes escasas de plantas de maíz, en estas áreas las alturas registradas son bajas, esto se debe a que hay una competencia significativa por agua, luz y nutrientes entre las plantas de maíz y las malezas como el zacate Johnson y platanillo, que en estas áreas tenían una población considerable (Figura 7).

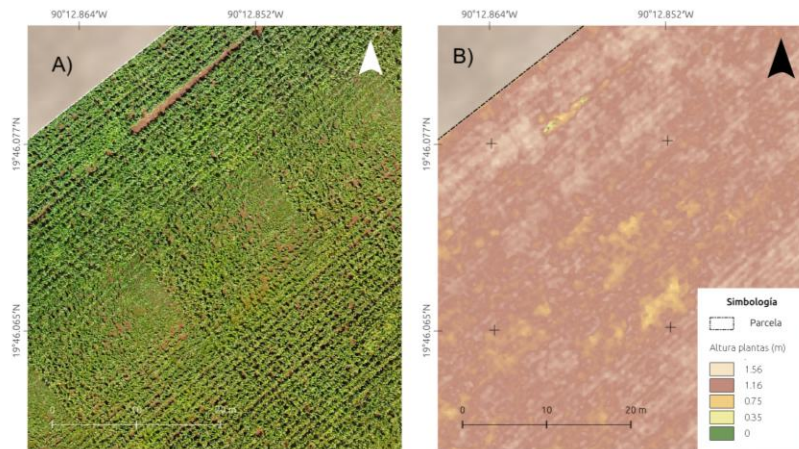


Figura 7. Comparativa del Ortomosaico tomado a los 77 días después de la siembra y el MDEAM

CONCLUSIÓN

Monitorear, la altura y cobertura de la planta de maíz durante su ciclo de crecimiento, son de alta importancia agronómica ya que estas variables tienen una relación directa con la producción del cultivo. Los drones representan una alternativa precisa, de bajo costo y rápida para utilizarla en el monitoreo de diversos cultivos. Dentro de las aplicaciones que puede tener destacan el cálculo de variables agronómicas tales como la cobertura y altura del cultivo de maíz. Asimismo, es posible realizar el cálculo de pendientes y escurrimientos del terreno para la planeación de las actividades agrícolas como el riego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al productor cooperante, por permitir realizar los vuelos en su cultivo.

REFERENCIAS

- Agisoft. (2023). Agisoft Metashape User Manual version 2.0. En Agisoft Metashape (pp. 1–224). https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf
- DJI. (2016). Phantom 4. <https://www.dji.com/mx/phantom-4>
- Inoue, Y. (2020). Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming – a review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(6), 798–810.
- Manfreda, S., McCabe, M., Miller, P., Lucas, R., Pajuelo Madrigal, V., Mallinis, G., Ben Dor, E., Helman, D., Estes, L., Ciruolo, G., Müllerová, J., Tauro, F., de Lima, M., de Lima, J., Maltese, A., Frances, F., Caylor, K., Kohv, M., Perks, M., ... Toth, B. (2018). On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sensing*, 10(4), 1–28.
- Marcial Pablo, M. de J. (2017). Determinación de variables agronómicas del cultivo de maíz mediante imágenes obtenidas desde un vehículo aéreo no tripulado (VANT). [Tesis de maestría, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua].
- Müllerová, J., Brůna, J., Bartaloš, T., Dvořák, P., Vítková, M., & Pyšek, P. (2017). Timing Is Important: Unmanned Aircraft vs. Satellite Imagery in Plant Invasion Monitoring. *Frontiers in Plant Science*, 8, 887.
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198(December 2021), 1–19.
- Themistocleous, K., Agapiou, A., King, H. M., King, N., & Hadjimitsis, D. G. (2014). More Than a Flight: The Extensive Contributions of UAV Flights to Archaeological Research – The Case Study of Curium Site in Cyprus. En M. Ioannides, N. Magnenat-Thalmann, E. Fink, R. Žarnić, A.-Y. Yen, & E. Quak (Eds.), *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection* (pp. 396–409). Springer International Publishing.
- Themistocleous, K., Agapiou, A., Lysandrou, V., & Hadjimitsis, D. G. (2015). The use of UAVs for remote sensing applications: case studies in Cyprus. *SPIE Remote Sensing*, 9.

- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information*, 10(11), 349.
- Wyngaard, J., Barbieri, L., Thomer, A., Adams, J., Sullivan, D., Crosby, C., Parr, C., Klump, J., Raj Shrestha, S., & Bell, T. (2019). Emergent Challenges for Science sUAS Data Management: Fairness through Community Engagement and Best Practices Development. *Remote Sensing*, 11(15), 1797.

The background of the slide features a repeating pattern of light brown butterflies and leaves on a white background. The butterflies are scattered across the page, and the leaves are small and rounded. The overall aesthetic is soft and natural.

Patrones y Procesos de la Biodiversidad

Presencia de plaguicidas en cera de abejas colectadas de apiarios en dos tipos de paisajes en Campeche

Azucena Vargas-Valero^{1*}, Julio Cesar Espinoza-Hernández², Rubén G. Medina-Hernández¹, Jorge A. Vivas-Rodríguez¹, Daniel Dzul-Uuh¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Sureste. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo Coahuila. *Autor para correspondencia: vargas.azucena@inifap.gob.mx

Recibido: 03/07/25; Aceptado: 02/09/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La cera de abejas es una sustancia natural compleja compuesta por más de 300 componentes, producida por las abejas melíferas jóvenes, es utilizada para construir panales, donde la reina pondrá los huevos y ahí se criarán de las futuras generaciones de abejas, también sirve para almacenar y conservar la miel y el pan de abejas. Debido a las propiedades lipofílicas de la cera en los panales se tienden a almacenar contaminantes como los plaguicidas. El objetivo fue identificar y cuantificar la presencia de plaguicidas en muestras de cera de abejas melíferas bajo dos tipos de paisajes en el estado de Campeche. En total recolectaron 11 muestras de cera en diferentes apiarios, cinco muestras se obtuvieron de apiarios ubicados cerca de paisajes no perturbados y seis muestras de apiarios cerca de cultivos agrícolas/plantaciones frutícolas. Las cuales se analizaron por Cromatografía de gases - cuadrupolo triple - análisis de espectrometría de masas (GC-MS/MS). Los apiarios ubicados cerca del paisaje agrícola presentaron la mayor cantidad y diversidad de plaguicidas comparados con las muestras obtenidas de los paisajes no perturbados, encontrando diferencias significativas en la cantidad de plaguicidas ($n=10$ $W=2$, $p<0.05$) entre los dos tipos de paisajes. No se descarta el encontrar mayor cantidad y diversidad de plaguicidas, por tanto, se requieren más estudios para monitorear el comportamiento de éstos, así como también, incrementar el número de muestras y áreas de muestreo.

Palabras clave: Abejas melíferas, cultivos agrícolas/frutícolas, identificación/cuantificación.

ABSTRACT

Beeswax is a complex natural substance composed of more than 300 components, produced by young honeybees. It is used to build honeycombs, where the queen will lay her eggs and where future generations of bees will be raised, as well as to store and preserve honey and bee bread. Due to the lipophilic properties of the wax, contaminants such as pesticides tend to be stored in the combs. The objective was to identify and quantify the presence of pesticides in honey bee wax samples under two types of landscapes in the state of Campeche. A total of 11 wax samples were collected from different apiaries, five samples were obtained from apiaries located near undisturbed landscapes and six samples from apiaries near agricultural crops/fruit plantations. These were analyzed by gas chromatography - triple quadrupole - mass spectrometry analysis (GC-MS/MS). The apiaries located near the agricultural landscape presented the highest quantity and diversity of pesticides compared to samples obtained from undisturbed landscapes, finding significant differences in the number of pesticides ($n=10$ $W=2$, $p<0.05$) between the two types of landscapes. We do not rule out the possibility of finding a greater quantity and diversity of pesticides, therefore, further studies are required to monitor their behavior, as well as to increase the number of samples and sampling areas.

Key words: Honey bees, agricultural/fruit crops, undisturbed vegetation, identification/quantification.

INTRODUCCIÓN

La cera de abejas, un producto químico complejo de las glándulas de las abejas obreras jóvenes de 12 a 18 días de edad, la cual segregan como líquido a través de sus glándulas cereras, (Bogdanov, 2016). Al contacto con el aire, la cera se endurece y forma pequeñas escamillas en la parte inferior de la abeja. Para obtener un kilo gramo de cera en promedio se requiere un millón de estas escamillas (FAO, 2025), esta sustancia grasa natural es compleja, compuesta por más de 300 componentes (Ledjanac et al., 2024). Químicamente, está basada en lípidos de monoésteres lineales y complejos

saturados e insaturados, hidrocarburos, ácidos grasos libres, alcoholes grasos libres y otras sustancias menores producidas por la abeja obrera. Tiene aproximadamente 50 compuestos aromáticos diferentes los cuales contribuyen a su olor distintivo con un agradable aroma similar a la miel (Ledjanac et al., 2024). Las abejas utilizan la cera para construir los alvéolos hexagonales de sus panales, donde la reina pone los huevos en celdas específicas de aproximadamente 0.25 mm de grosor y entre 5 y 6 mm de diámetro para las obreras, para las reinas y zánganos las celdas son ligeramente más grandes. Además de la postura de las crías una parte del panal se utiliza para almacenar miel y pan de abeja o polen (Bogdanov, 2016). Así también, la cera de los panales actúa como almacenamiento de los contaminantes que llegan a la colmena.

En los últimos años nivel mundial se ha reportado la pérdida de colonias por problemas de contaminación por plaguicidas, no siendo el único factor, pero si uno de los más importantes (Calatayud-Vernich et al., 2018). Las abejas se exponen a los plaguicidas cuando buscan los recursos néctar-poliníferos, sobre todo si las colonias están ubicadas cerca de áreas agrícolas. La exposición a dosis subletales puede afectar el comportamiento de la abeja, su aprendizaje olfativo y memoria (Balbuena et al., 2015). Se ha reportado que los residuos de plaguicidas pueden acumularse en el pan de abeja, miel y cera (Lozano et al., 2019), presentándose en esta última la capacidad de almacenamiento residual (Benuszak et al., 2017). Por tanto, de un panal contaminado, los residuos pueden transferirse a la miel almacenada, presentando un riesgo para las abejas y los consumidores.

Ante el problema generado en cuanto a la pérdida o colapso de las colonias de abejas, México no ha sido la excepción, se han reportado casos sobre la presencia de plaguicidas en productos de la colmena como la miel y cera (Vargas-Valero et al., 2021), sin embargo, no se han realizado suficientes estudios sobre la presencia de estos en las diferentes regiones del país, y en específico para el estado de Campeche, por lo tanto, surge la necesidad de hacer un monitoreo en cuanto a la presencia de estos en la cera de abejas. Por lo anterior, el objetivo fue identificar y cuantificar la presencia de plaguicidas en muestras de cera de abejas melíferas bajo dos tipos de paisajes en el estado de Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras estudiadas. Muestreo de la cera en las colmenas. El estado de Campeche se localiza entre los paralelos 17°49'01" y 20°51'37" de latitud norte y entre los meridianos 89°05'20" y 92°28'21" de longitud oeste. Durante los meses de junio y agosto de 2023 se obtuvieron un total de 11 muestras de cera en diferentes apiarios de los principales municipios productores de miel (Calakmul, Campeche, Champotón y Hopelchén), cinco muestras se obtuvieron de apiarios ubicados cerca de paisajes no perturbados y seis de apiarios cerca de cultivos agrícolas y/o plantaciones frutícolas. Para colectar la muestra con un cúter desechable se cortó un pedazo de panal con cera de aproximadamente 12 cm², la cera se colocó en bolsas ziploc de plástico, cada muestra con su respectiva identificación. Una vez obtenidas las muestras (una por apiario), se conservaron en congelación a -20 °C hasta su análisis por Cromatografía de gases-cuadrupolo triple-análisis de espectrometría de masas (GC-MS/MS), en el laboratorio de servicios Analíticos del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ) sede Noreste.

Análisis de residuos de plaguicidas en miel y cera. Preparación y extracción de muestras. De cada muestra se tomaron 3 g de cera. La preparación y extracción de residuos de plaguicidas se realizó de acuerdo con una modificación del método analítico "QuEChERS" (Valdivinos-Flores et al., 2016). Cromatografía de gases - cuadrupolo triple - análisis de espectrometría de masas (GC-MS/MS). Para la cromatografía de gases, se usó un cromatógrafo de gases 7890A acoplado a un espectrómetro de masas cuadrupolo triple 7000B con ionización de impacto de electrones (EI), equipado con un automuestreador 7693A (Agilent Technologies).

Metodología estadística. Para comparar las diferencias en la cantidad de compuestos presentes en la cera obtenida en los apiarios cercanos a paisajes sin perturbación y aquellos cercanos a paisajes

agrícolas, se realizó un análisis estadístico que incluyó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar la distribución de los datos. Al no cumplir con el supuesto de normalidad ($p= 0.02$), se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Todos los análisis estadísticos se efectuaron utilizando el software R versión 4.4.3 (R Core Team, 2024) y el gráfico se elaboró con el paquete de R, ggplot 2 (Wickham, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total la cera presentó siete diferentes plaguicidas a nivel de trazas y en bajas concentraciones. Las muestras de los apiarios ubicados cerca de paisajes no perturbados presentaron la menor cantidad y diversidad de dos plaguicidas. En comparación los apiarios cerca de cultivos agrícolas, los cuales presentaron siete diferentes plaguicidas, en el 50 % de las muestras se encontró el acaricida organofosforado coumafos en concentraciones de hasta 1.133 mg/kg (Cuadro 1).

Cuadro 1. Plaguicidas encontrados en la cera de las colonias abejas en apiarios de dos diferentes paisajes del estado de Campeche

	Muestra	Compuesto	Concentración (mg/kg)
Paisajes no perturbados	1	cis-1,2,3,6-Tetrahydroftalimida	0.00
	2	–	–
	3	Coumafos	0.026
		cis-1,2,3,6-Tetrahydroftalimida	0.010
	4	cis-1,2,3,6-Tetrahydroftalimida	0.00
	5	Coumafos	0.00
Paisajes agrícolas/frutícolas	1	Coumafos	1.133
		cis-1,2,3,6-Tetrahydroftalimida	0.081
	2	BHC Alfa	0.00
		Dieldrin	0.00
	3	Boscalid	0.00
		Pentacloroanisol	0.00
	4	Coumafos	0.043
		cis-1,2,3,6-Tetrahydroftalimida	0.016
	5	Coumafos	0.00
		Acrinathrin	0.00
		Pentacloroanisol	0.00
6	Acrinathrin	0.00	
	Pentacloroanisol	0.00	

Se encontraron diferencias significativas ($n=10$ $W= 2$, $p<0.05$) entre la cantidad de plaguicidas encontrados en apiarios cercanos a paisajes sin perturbar (n , $\bar{x}\pm ds= 5$, 1.2 ± 0.45) comparado con los apiarios que se ubican cerca de áreas agrícolas en donde hubo mayor presencia de agroquímicos (n , $\bar{x}\pm ds= 5$, 2.2 ± 0.55). (Figura 1).

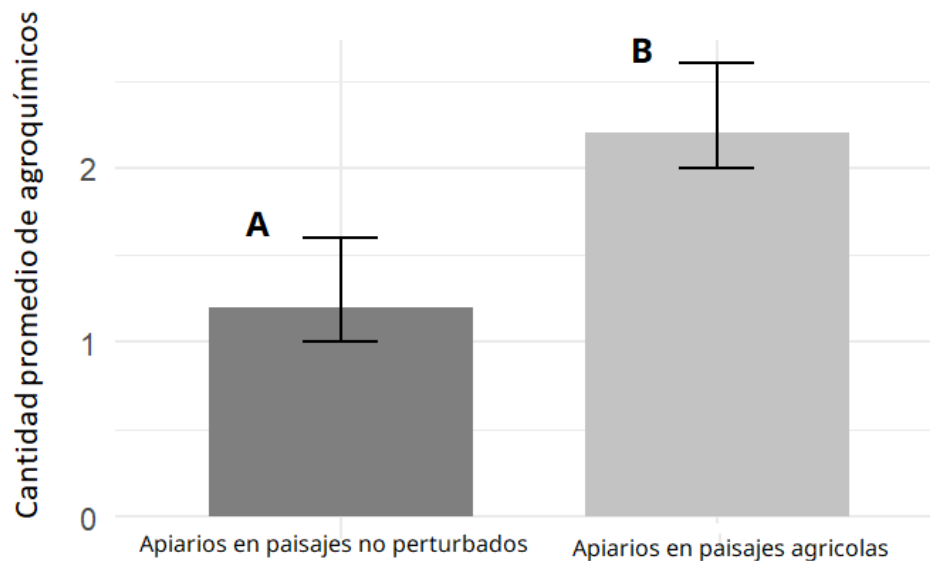


Figura 3. Comparación entre la cantidad de agroquímicos presentes en la cera de apiarios cercanos a paisajes no perturbados y paisajes agrícolas (barras representan la desviación estándar, las letras representan diferencias estadísticas significativas).

Las abejas melíferas de todas las edades son susceptibles a los efectos de la exposición a plaguicidas. Las abejas adultas pecoreadoras se exponen a los plaguicidas durante el vuelo y búsqueda de alimento, mientras que las adultas más jóvenes que permanecen en la colmena se exponen cuando entran en contacto con el néctar y polen que llega contaminado (Wu et al., 2011). También, pueden estar expuestas a los acaricidas y demás productos químicos aplicados por los apicultores para el control de plagas y enfermedades. Los huevos y las abejas en desarrollo se exponen a los plaguicidas a través del contacto de con las paredes del panal o de las fuentes de alimento de alimento contaminado (Wu et al., 2011).

De acuerdo a los resultados obtenidos la cera de apiarios ubicados cerca de cultivos agrícolas presentó la mayor diversidad y cantidad de plaguicidas, siendo principalmente los insecticidas, fungicidas y acaricidas (Cuadro 1), dichos resultados coinciden con los presentados por Vargas-Valero et al. (2021) para la región centro norte de México, reportando una mayor cantidad y diversidad de plaguicidas en la cera de abejas melíferas de colonias manejadas, esto debido a la naturaleza de ciertos plaguicidas, debido a su naturaleza lipofílica, las cuales se pueden acumular en la cera y persistir durante un periodo de tiempo prolongado (Kast & Kilchenmann, 2022).

En el 45 % del total de las muestras se encontró cis-1,2,3,6-tetrahidroftalimida que es un metabolito del fungicida captan con una concentración más alta de 0.081 mg/kg, datos que difieren a lo reportado por Simon-Delso et al. (2014) encontrando concentraciones de hasta 3.1 mg/kg en la cera, donde menciona que este fungicida es conocido por sus efectos sinérgicos con los insecticidas, también se ha demostrado que induce efectos negativos del crecimiento y el desarrollo larval (Mussen et al., 2004). Los efectos indirectos de los fungicidas en las abejas o en las colonias de abejas son poco estudiados, pero se sabe que pueden afectar a la colonia modificando la microflora presente en el buche melario y en el tracto digestivo de las abejas (Simon-Delso et al., 2014).

De igual manera, con respecto al acaricida organofosforado coumafos se encontró en el 45 % de las muestras. Este compuesto es usado para el control de Varroa a pesar de que está prohibido en México para estos fines, es probable que esta sea la principal razón de su presencia encontrada con mayor

frecuencia en las muestras. Las concentraciones alcanzadas llegan hasta 1.133 mg/kg, dichos resultados difieren con lo encontrado por Valdovinos-Flores et al. (2016), en el cual ellos encontraron concentraciones que van desde 0.155 a 2.220 mg/kg. Los altos niveles de residuos de coumafos en la cera de abejas, en combinación con otros plaguicidas, pueden retrasar el desarrollo larvario y afectar la longevidad de las abejas adultas, así como tener efectos indirectos en la colonia, como cambios prematuros en las funciones de la colmena y en la actividad de pecoreo (Wu et al., 2011). Así como también, se ha encontrado que la interacción de múltiples productos químicos con la cera pueden amplificar sus efectos tóxicos en las abejas (Traynor et al., 2016). El reciclar la cera de abejas puede exacerbar el problema de la exposición a plaguicidas. A medida que la cera antigua se reutiliza en las colonias, los residuos de plaguicidas de años anteriores se van acumulando. Estudios han demostrado que los métodos tradicionales como el derretir y reutilizar la cera, aumentan las concentraciones de estas sustancias (Chauzat et al., 2009; Kast & Kilchenmann, 2022).

La ampliación y secuenciación del Gen COI dio como resultado 3 secuencias compuestas por 675 pares de base (pb), que luego de ser editadas manualmente en el software MEGA 11, dieron como resultado a secuencias compuestas por 625 pb. Las 3 secuencias pertenecientes a cada estadio larval arrojaron porcentajes de identidad altos para *L. sericata* (hasta 89.9%) confirmado el éxito de la identificación a nivel molecular de las larvas de *L. sericata* con las registradas en las bases de datos.

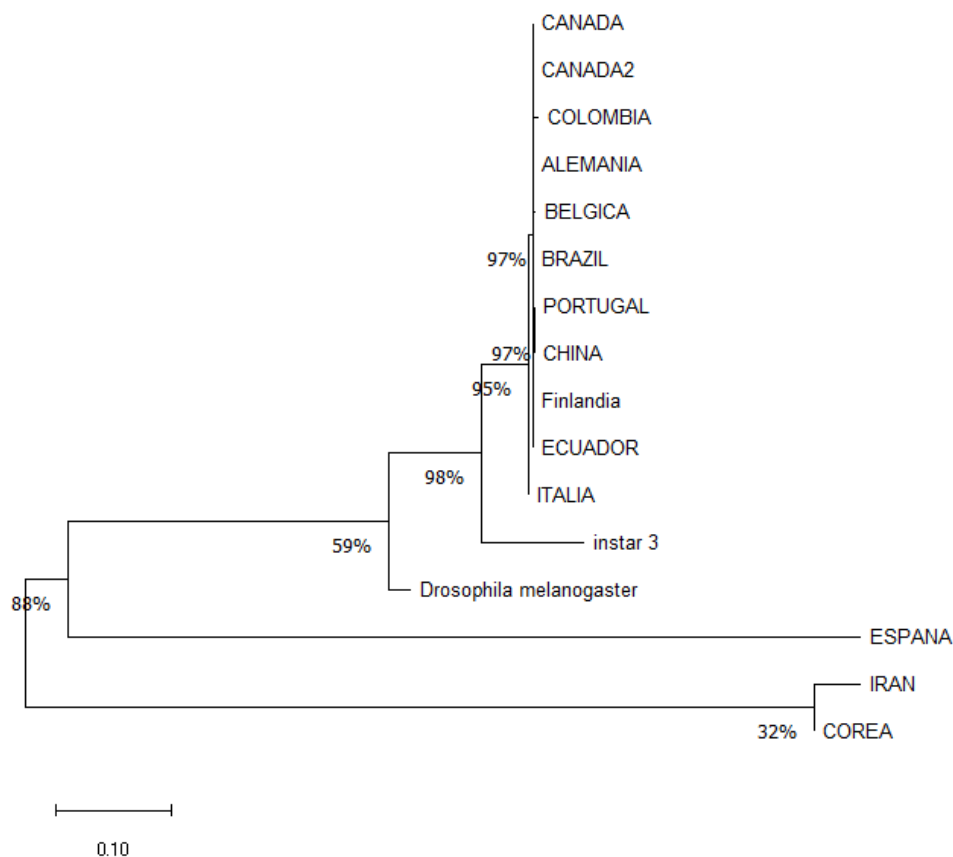


Figura 1. Árbol filogenético de Neighbour-joining.

El árbol N-J (Figura 1) demostró que las secuencias reportadas en esta investigación son muy similares genéticamente pero no idénticas a las secuencias depositadas en las bases de datos pertenecientes a otros países, a diferencia de lo descrito por KP et al. (2015) quienes reportaron una similitud del 100% de su secuencia proveniente de india a comparación con las secuencias

provenientes de Estados Unidos, Bélgica, España, Portugal y Brasil. A pesar de las secuencias utilizadas en esta investigación no son las mismas que las utilizadas por KP et al. (2015), en ambos árboles filogenéticos son agrupadas en el mismo clado, validando la teoría elaborada por dichos autores de que la geografía no es un factor que afecte de gran manera a la variación genética de *L. sericata*, algo que es de esperarse pues el porcentaje de divergencia intra-específico de las secuencias utilizadas para el análisis, resultó ser de 0.427%, esto concuerda con lo reportado por Hebert et al. (2003), que estableció un porcentaje <3%, como un rango aceptable para considerar confiable la identificación a nivel especie utilizando el método de código de barras.

El propósito de este estudio fue el confirmar si era posible la identificación a nivel molecular usando la metodología conocida como código de barras COI a partir del ADN extraído de los estadios larvales de *L. sericata*, hasta la fecha de escrito este estudio, la publicación de investigaciones relacionadas con la identificación molecular de moscas de importancia forense para México es inexistente y las bases de datos como BOLDs o GenBank no tienen registros de secuencias COI pertenecientes a *L. sericata* para México; Son pocos los países latinoamericanos que han registrado sus secuencias en las bases de datos, esto a pesar de que *L. sericata* sea una de las principales especies utilizadas en la entomología forense para el cálculo del IPM en la región del neotrópico (Pinilla et al. 2010).

CONCLUSIÓN

La cera recolectada de los apiarios ubicados cerca de cultivos agrícolas presentó mayor cantidad y diversidad de plaguicidas comparado a las muestras recolectadas de apiarios de vegetación sin perturbar, no se descarta el encontrar mayor diversidad en los diferentes productos de la colmena. Debido a esto, se destaca la necesidad de realizar más estudios a lo largo de los años, así como también, incrementar el número de muestras para monitorear su presencia en la cera y demás productos de las colonias de abejas del estado de Campeche.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento a los apicultores del estado de Campeche, por su valiosa colaboración y por facilitar el acceso a sus apiarios para la recolección de muestras. Asimismo, así mismo al INIFAP por el financiamiento.

REFERENCIAS

- Balbuena, M. S., Tison, L., Hahn, M. L., Greggers, U., Menzel, R., & Farina, W. M. (2015). Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. *PLoS ONE*, 10(10), 2799–2805.
- Benuszak, J., Laurent, M., & Chauzat, M. P. (2017). The exposure of honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae) to pesticides: Room for improvement in research. *Science of The Total Environment*, 587–588, 423–438.
- Bogdanov, S. (2016). Beeswax: Production, Properties, Composition, Control. En *The Beeswax Book* (pp. 1–18). Bee Product Science Publishing, Muehlethurnen, Switzerland.
- Calatayud-Vernich, P., Calatayud, F., Simó, E., & Picó, Y. (2018). Pesticide residues in honey bees, pollen and beeswax: Assessing beehive exposure. *Environmental Pollution*, 241, 106–114.
- Chauzat, M. P., Carpentier, P., Martel, A. C., Bougeard, S., Cougoule, N., Porta, P., Lachaize, J., Madec, F., Aubert, M., Faucon, J. P., Aajoud, A., Raveton, M., Aouadi, H., Tissut, M., Ravanel, P., Bogdanov, S., Brunet, J. L., Badiou, A., Belzunces, L. P., & Cox-Foster, D. L. (2009). Influence of pesticide residues on honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony health in France. *Environmental Entomology*, 38(3), 514–523.
- FAO. (2025). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <https://www.fao.org/4/y5110s/y5110s07.htm>
- Kast, C., & Kilchenmann, V. (2022). An in vitro model for assessing the toxicity of pesticides in beeswax on honey bee larvae. *Chemosphere*, 287, 132214.
- Ledjanac, S., Hoxha, F., Jasnić, N., Tasić, A., Jovanović, M., Blagojević, S., Plavša, N., & Tosti, T. (2024). The influence of the chemical composition of beeswax foundation sheets on their acceptability by the bee's colony. *Molecules*, 29(23).

- Lozano, A., Hernando, M. D., Uclés, S., Hakme, E., & Fernández-Alba, A. R. (2019). Identification and measurement of veterinary drug residues in beehive products. *Food Chemistry*, 274, 61–70.
- Mussen, E. C., Lopez, J. E., & Peng, C. Y. S. (2004). Effects of selected fungicides on growth and development of larval honey bees, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). *Environmental Entomology*, 33(5), 1151–1154.
- R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Simon-Delso, N., Martin, G. S., Bruneau, E., Minsart, L. A., Mouret, C., & Hautier, L. (2014). Honeybee colony disorder in crop areas: The role of pesticides and viruses. *PLoS ONE*, 9(7), 1–16.
- Traynor, K. S., Pettis, J. S., Tarpy, D. R., Mullin, C. A., Frazier, J. L., Frazier, M., & vanEngelsdorp, D. (2016). In-hive pesticide exposome: Assessing risks to migratory honey bees from in-hive pesticide contamination in the Eastern United States. *Scientific Reports*, 6(1).
- Valdovinos-Flores, C., Gaspar-Ramírez, O., Heras-Ramírez, M. E., Lara-Álvarez, C., Dorantes-Ugalde, J. A., & Saldaña-Loza, L. M. (2016). Boron and Coumaphos residues in hive materials following treatments for the control of *Aethina tumida* Murray. *PLoS ONE*, 11(4), e0153551.
- Vargas-Valero, A., Reyes-Carrillo, J. L., Gaspar-Ramírez, O., & Moreno-Reséndez, A. (2021). Parasitosis y residuos de plaguicidas en miel y cera en colonias de abejas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1–13.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. ISBN: 978-3-319-24277-4. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- Wu, J. Y., Anelli, C. M., & Sheppard, W. S. (2011). Sub-lethal effects of pesticide residues in brood comb on worker honey bee (*Apis mellifera*) development and longevity. *PLoS ONE*, 6(2), e14720.

Distinción y diversidad taxonómicas de la flora de las dunas costeras de Campeche, México

René Efraín Canché-Solís¹, Mónica Beatriz López-Hernández², Ariel Miguel Villarino-Valdivieso², Gustavo Enrique Mendoza-Arroyo^{2*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Campeche. Campeche, México. ²Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México. *Autor para correspondencia: gustavo.ma@china.tecnm.mx

Recibido: 04/09/25; Aceptado: 02/11/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Los índices de diversidad y distinción taxonómica han sido empleados en ambientes marinos para detectar cambios en las comunidades causados por factores de origen naturales o antrópicos. Realizamos un inventario de especies en 50 transectos ubicados en dos sitios con vegetación de duna costera. Evaluamos la similitud florística, distinción taxonómica y su variación. Registramos 435 individuos pertenecientes a 32 especies, 31 géneros y 21 familias. Las familias con mayor riqueza de especies fueron: *Convolvulaceae* y *Poaceae*. La disimilitud florística entre sitios fue de 73.12 %, la diferenciación es dada por especies nativas: *Amaranthus greggi*, *Canavalia rosea*, *Croton punctatus*, *Sessuvium portulacastrum* y *Okenia hypogaea*, entre otras. Las especies nativas están mejor representadas en la duna costera que se encuentra protegida. Las especies no nativas (*Asteraceae* y *Poaceae*) de la duna costera son notoriamente sobresalientes en el sitio no protegido. No observamos cambios en la distinción taxonómica entre los sitios, solo un transecto se ubicó fuera del área de probabilidad. La distinción puede estar afectada por la presencia de especies no nativas de la duna costera. Por lo que se requiere destinar esfuerzos a la recuperación de la vegetación nativa y de los servicios ambientales.

Palabras clave: Delta+; Golfo de México; Lambda+; Línea costera.

ABSTRACT

Taxonomic distinctness and diversity indices have been used in marine environments to detect changes in communities caused by factors of natural or anthropogenic origin. We carried out a species inventory in 50 transects located in two sites with coastal dune vegetation. We evaluated floristic similarity, taxonomic distinction and its variation. We recorded 435 individuals belonging to 32 species, 31 genera and 21 families. The families with the greatest species richness were: *Convolvulaceae* and *Poaceae*. The floristic dissimilarity between sites was 73.12%, the differentiation is given by native species: *Amaranthus greggi*, *Canavalia rosea*, *Croton punctatus*, *Sessuvium portulacastrum* and *Okenia hypogaea* among others. Native species are best represented in the protected coastal dune. The non-native species (*Asteraceae* and *Poaceae*) of the coastal dune are notably prominent in the unprotected site. We did not observe changes in taxonomic distinction between sites, only one transect was located outside the probability area. The distinction may be affected by the presence of species not native to the coastal dune. Therefore, it is necessary to allocate effort to the recovery of native vegetation and environmental services.

Key words: Delta+; Gulf of Mexico; Lambda+; Coastline.

INTRODUCCIÓN

La importancia de la vegetación de dunas costeras radica en la provisión de servicios ambientales y socioeconómicos (Everard et al., 2010), es un hábitat prioritario para la anidación de tortugas Carey (López-Castro et al., 2022). Es una comunidad vegetal costera dinámica (Castillo y Moreno-Casasola, 1996) que se desarrolla en suelos que mantienen condiciones limitantes (Jiménez-Orocio et al., 2015; Fragoso-Servon et al., 2020; Lara-Pérez et al., 2020) de ahí su singularidad biológica. Sin embargo, se encuentra bajo constante amenaza ocasionada por la presión antrópica (Jiménez-Orocio et al., 2015) a las cuales se les suman la invasión de especies como *Scaevola taccada* (Gaertn.) Roxb. (Castillo-Campos et al., 2021; 2022), los procesos naturales erosivos cuya tasa anual oscila entre los

0.2 metros hasta los 17.1 m en años extremos (Torres-Rodríguez et al., 2010; Guadarrama et al., 2014; Espejel et al., 2017; Cervantes et al., 2020) y recientemente, la contaminación por microplásticos (Peralta-Peláez et al., 2023) y el arribazón masivo de sargazo en especial en playas del caribe mexicano (Chávez et al., 2020).

En las costas del Golfo de México y Caribe mexicano, los estudios florísticos referentes a dunas costeras son amplios (Jiménez-Orocio et al., 2015; Espejel et al., 2017) y han permitido en el reconocimiento de su heterogeneidad florística y estructural (Torres et al., 2019). La vegetación de duna costera está presente en el 81% del litoral de la península de Yucatán (Flores y Espejel, 1994). En particular, en el estado de Campeche la distribución de la vegetación de dunas costeras se limita a franjas estrechas localizadas en la costa de los municipios de Champotón y Carmen (Ayala, 2010); coincidiendo con la carretera costera del golfo y humedales conformados por vegetación de tular y popal; lo que propicia sitios vulnerables a cambios en el uso de suelo (Noguera-Savelli et al., 2019; Gutiérrez-Báez et al., 2020; Guzmán-Hernández et al., 2022; Quiroz-Villanueva et al., 2022). Es limitada la atención que han recibido las problemáticas derivadas del cambio climático, como es la disminución de las áreas de distribución de especies típicas de la duna costera (Ovando-Hidalgo et al., 2020), la erosión y degradación ambiental (Jiménez-Orocio et al., 2015).

De igual manera, el reemplazo de la vegetación de dunas costeras por especies afines a ambientes secundarios y/o ruderales e incluso especies invasivas es un tema escasamente explorado (Castillo y Moreno-Casasola, 1996). Al respecto, los índices de diversidad y distinción taxonómica (Clarke y Warwick, 1998, 1999, 2001), pueden utilizarse para detectar los posibles impactos y afectaciones por factores naturales y humanos. Dichos índices se han empleado ampliamente en diversos grupos de fauna marina (Barjau-González et al., 2019; Alonso-Domínguez et al., 2022; De et al., 2023; Ji et al., 2023; Longo et al., 2023); sin embargo, en vegetación de dunas costeras su uso ha sido limitado (Martínez et al., 2019). La vegetación de dunas costeras presenta una limitada representación en Campeche con tan solo 43,534 ha de las cuales menos del 1% (39 ha) se encuentran en buen estado de conservación (Mendoza-González et al., 2022). A lo anterior se le adicionan las tendencias actuales de uso y modificación de los ambientes costeros por proyectos turísticos, desarrollos inmobiliarios y de provisión de servicios a las comunidades y ciudades costeras.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación es evaluar las diferencias en la diversidad taxonómica de la vegetación de dunas costeras en dos sitios del litoral campechano, con la finalidad de establecer una línea de base que permitan proponer estrategias de conservación y recuperación de zonas deterioradas y contribuyan a fortalecer las acciones de protección del hábitat de las tortugas marinas y los servicios ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. Se localiza en la costa de los municipios de Champotón y Carmen, Campeche, México. Se ubica entre las coordenadas latitud norte 19.37° y 18.76° y longitud oeste -91.55° y -90.70° ; cubre una longitud de 51 km (Figura 1). Las condiciones climáticas prevalecientes son cálidas-húmedas con lluvias en verano (Orellana et al., 2009). La temperatura promedio varía entre 26.5 y 27.2 °C y la precipitación anual entre 1274 y 1470.5 mm (<http://smn.conagua.gob.mx>). Los suelos son arenosol de origen calcáreo (Fragoso-Servon et al., 2020). El área de estudio se distingue por su relevancia como hábitat de anidación de *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey) y *Chelonia mydas* (tortuga blanca). Las especies de plantas más comunes en la zona de pioneras son: *Canavalia rosea*, *Ipomoea pes-caprae*, *Scaevola plumieri*, *Sesuvium portulacastrum*, *Suriana maritima* y *Tournefortia gnaphalodes* (Espejel, 1986; Moreno-Casasola y Espejel, 1986).

Inventario florístico. Establecimos 50 transectos (26 en Punta Xen y 24 en Sabancuy) de longitud variable (aprox. 25m) que sirvieron para obtener la riqueza y composición florística de la vegetación. La identificación taxonómica de las plantas se realizó con el apoyo de ejemplares virtuales disponibles

en los herbarios virtuales (CICY, UNAM, MOBOT). Los nombres científicos se verificaron en el Herbario virtual - Flora de la Península de Yucatán de Centro de Investigación Científica de Yucatán (<https://www.cicy.mx>).

Análisis de datos. De cada transecto obtuvimos la abundancia (número de individuos) y riqueza de especies (S). El esfuerzo de muestreo se evaluó mediante curvas de acumulación de especies a partir de 1000 permutaciones. La riqueza de especies esperada se obtuvo con el estimador no paramétrico de Chao-2 con el programa EstimateS versión 9.10. (Colwell, 2013). Para visualizar la similitud florística entre zonas de estudio empleamos un ordenamiento no métrico multidimensional (NMDS) con el coeficiente de similitud de Bray-Curtis y comparamos las diferencias florísticas con las pruebas ANOSIM (Clarke, 1993) y PERMANOVA (Anderson, 2014) y la contribución de las especies a la diferenciación florística se examinó con la prueba SIMPER (Clarke, 1993); para ello empleamos el programa Past (Hammer et al., 2001) y el paquete vegan (Oksanen et al., 2019) del programa R.

Estimamos los índices de Distinción Taxonómica Promedio (Delta+, Δ^+) y Variación de la Distinción Taxonómica (Lambda+, Λ^+) de acuerdo con Clarke y Warwick (1998, 1999, 2001). Para ello se utilizó una lista de referencia basada en una clasificación Linneana con tres niveles taxonómicos (Especies, Género, Familia) de acuerdo con el sistema Angiosperm Phylogeny Groups (APG, 2003) utilizado por el Herbario CICY (Herbario Virtual, <https://www.cicy.mx>) y una matriz de abundancia (especie \times sitio). Los valores de Δ^+ y Λ^+ fueron calculados con la rutina TAXDEST del programa PRIMER 5 (Clarke & Gorley, 2001).

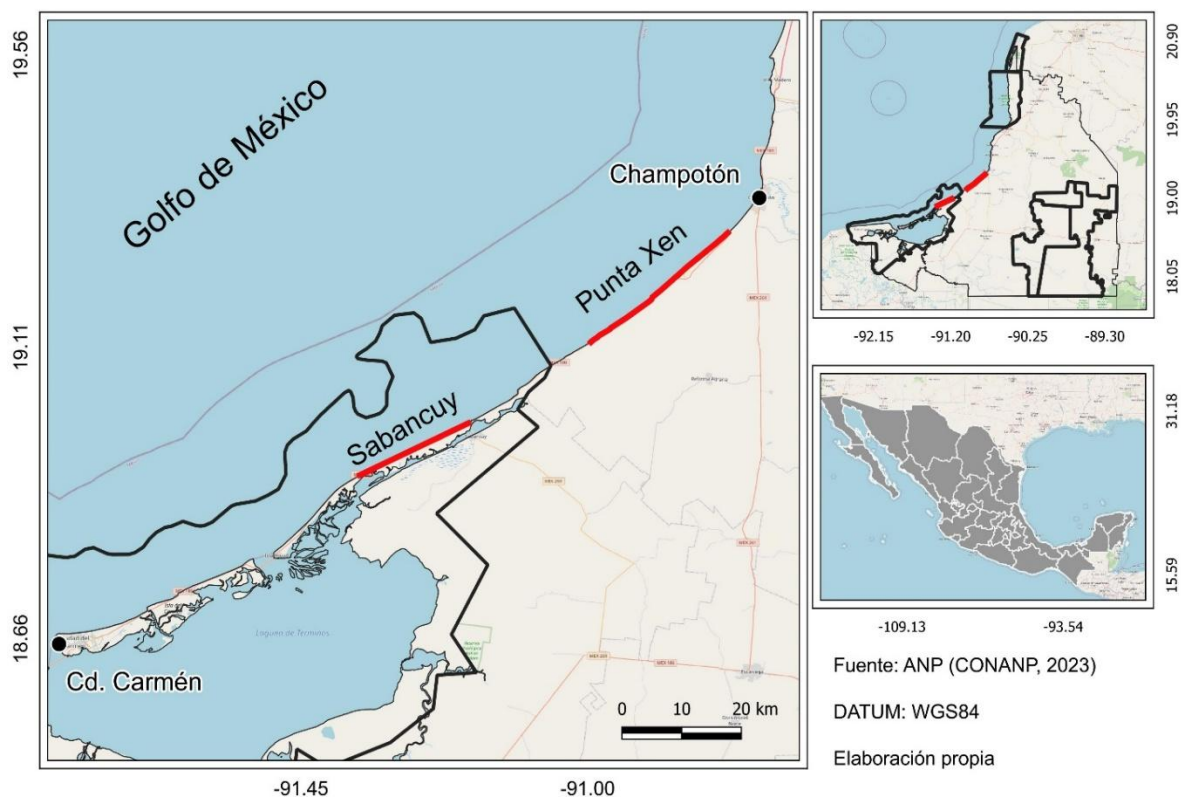


Figura 1. Área de estudio. Líneas en color rojo representan los sitios de estudio. Línea continua en color negro representa el polígono general del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Registramos 435 individuos (329 individuos de especies nativas), distribuidos en 21 familias (14 familias nativas), 31 géneros (17 géneros nativos) y 32 especies (18 especies nativas). Destacan por número de especies las familias Convolvulaceae y Poaceae (cuatro especies cada una). Los transectos con menor riqueza de especies fueron el 13 (2 especies) y 23 (3 especies) de Punta Xen, mientras que el transecto de mayor riqueza de especies fue el 28 (16 especies) de Sabancuy (Figura 2). Las estimaciones de la riqueza de especies con Chao-2 fue de 32.49 especies máximas esperadas similar a la riqueza observada (Cuadro 1). La prueba Mann-Whitney U confirmó que no existen diferencias significativas entre las zonas de estudio en términos de riqueza de especies ($U = 241.5$, $p = 0.17$) y abundancia ($U = 293$, $p = 0.71$).

Cuadro 1. Riqueza de especies, diversidad y distinción taxonómica.

	Punta Xen	Sabancuy	Total
Transectos (n)	26	24	50
Abundancia (individuos)	189	246	435
Riqueza de especies	28	26	32
Chao-2 (\pm desv. estándar)	31.36 \pm 3.57	27.43 \pm 2.50	32.49 \pm 1.01
Diversidad taxonómica (Δ)	89.96	94.43	98.94 (valor esperado)
Distinción taxonómica (Δ^*)	97.43	97.49	91.87 (valor esperado)
Distinción taxonómica media (Δ^+)	97.60	97.43	97.30 (valor esperado)

La composición florística y los hábitos de vida de las especies registradas en el presente estudio permiten corroborar que la duna costera aún mantiene su singularidad florística. Las especies de hábito herbáceo fueron las mejor representadas con 12 especies (Cuadro 2), dentro de las que destacan *I. pes-caprae* (L.) R. Br., *I. imperati* (Vahl) Griseb, y *O. hypogea*, cuyo hábitat se restringe al ecosistema de dunas costeras, ocurren en la zona donde la arena no ha sido estabilizada, son tolerantes al estrés y poseen raíces fijadoras del sustrato arenoso, con elevada producción de semillas; características que podrían explicar su rol como especies formadoras de dunas costeras (Torres et al., 2010; Jiménez-Orocio et al., 2015). La prueba SIMPER señaló una disimilitud florística del 73.12% entre las dos zonas de estudio. Las especies con mayor contribución a la diferencia en la composición florística fueron: *Trianthema portulacastrum* (8.44%), *Croton punctatus* (8.42%), *Amaranthus greggi* (6.53%), *Sessuvium portulacastrum* (6.17%), *I. pes-caprae* (5.80%), *Canavalia rosea* (5.32%), *Passiflora foetida* (4.95%), *I. imperati* (4.86%), *O. hypogaea* (4.83%) y *Portulaca oleraceae* (4.29%), acumulando el 59.61% de la diferencia en la composición florística. Las diferencias florísticas pueden indicar que son unidades ambientalmente distintas, con una mejor representatividad de las especies nativas en el sitio Sabancuy, probablemente debido a las estrategias en materia de protección y conservación mediante el establecimiento de áreas naturales protegidas cuyos polígonos abarcan ambientes costeros y marinos, lo que ha permitido mantener la flora nativa.

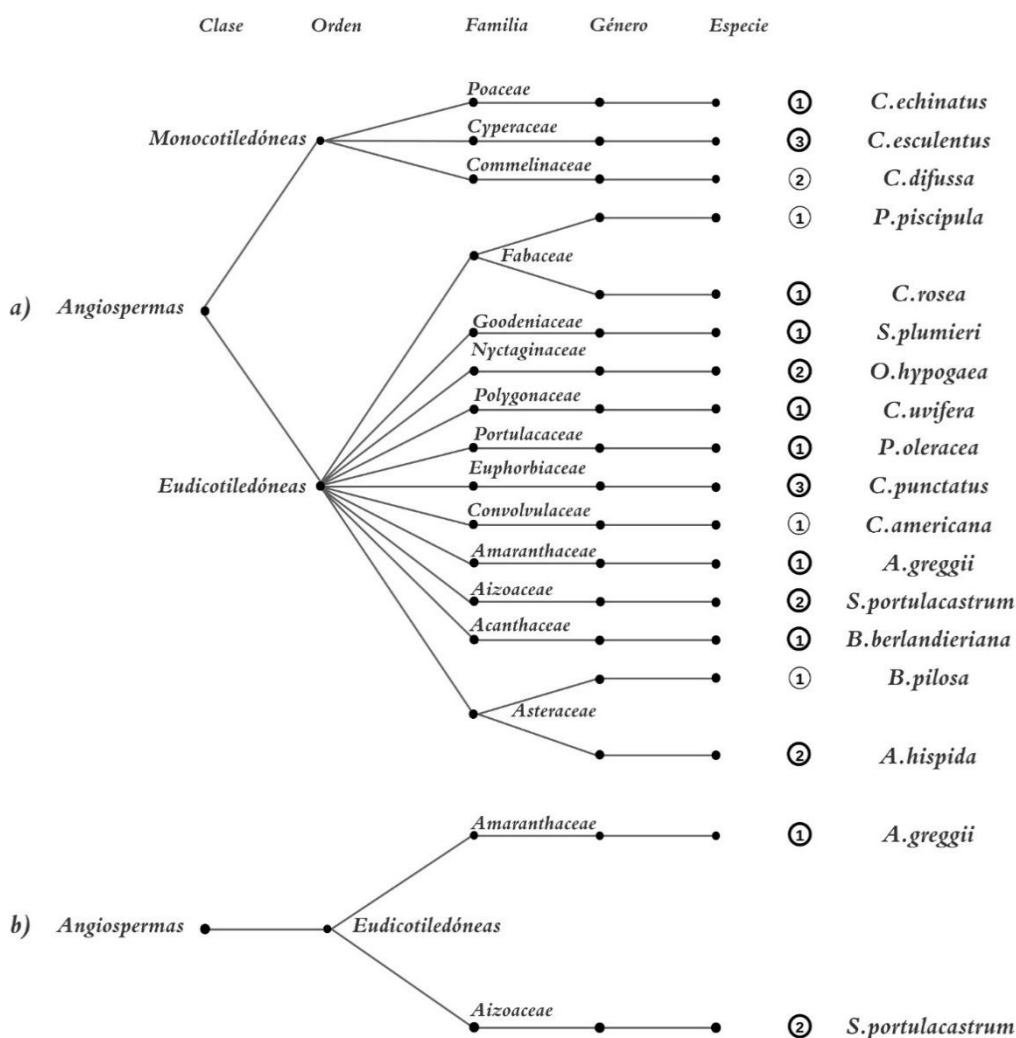


Figura 2. Estructura de la taxonomía jerárquica de ensamblajes contrastantes según riqueza de especies. a) Punta Xen, transecto 13 y b) Sabancuy, transecto 28). Circulos de linea gruesa representan las especies nativas, circulos de linea delgada representan especies no nativas de la duna costera. Número al interior de los circulos representan la abundancia de cada especie.

Cuadro 2. Listado florístico de la duna costera.

Familia	Especie	Punta Xen	Sabancuy
Acanthaceae	<i>Bravaisia berlandieriana</i> T.F. Daniel	1	1
Aizoaceae	<i>Sessuvium portulacastrum</i> (L.) L.	18	8
	<i>Trianthema portulacastrum</i> L.	1	25
Amaranthaceae	<i>Amaranthus greggi</i> S. Watson	29	27
Areaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	3	0
Asteraceae	<i>Ambrosia hispida</i> Pursh	3	9
	<i>Bidens pilosa</i> L. var. <i>minor</i> (Blume) Sherff	6	7

Familia	Especie	Punta Xen	Sabancuy
	<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) A. Gray	2	0
Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i> L.	4	0
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	7	10
Convolvulaceae	<i>Cuscuta</i> sp.	3	8
	<i>Distimake dissectus</i> (Jacq.) A.R. Simões & Staples	3	1
	<i>Ipomoea imperati</i> (Vahl) Griseb.	12	11
	<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R. Br.	18	18
Cyperaceae	<i>Cyperus esculentus</i> L.	11	7
Euphorbiaceae	<i>Croton punctatus</i> Jacq.	0	26
Fabaceae	<i>Canavalia rosea</i> (Sw.) DC	15	15
	<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	2	3
Goodenaceae	<i>Scaevola plumieri</i> (L.) Vahl	3	7
Malvaceae	<i>Gossypium hirsutum</i> L.	0	2
	<i>Sida acuta</i> Burm. f.	1	0
Nyctaginaceae	<i>Okenia hypogaea</i> Schldl. & Cham.	12	13
Passifloraceae	<i>Passiflora foetida</i> L.	9	14
Poaceae	<i>Cenchrus echinatus</i> L.	4	4
	<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	0	12
	<i>Stenotaphrum secundatum</i> (Walter) Kuntze	1	0
	<i>Urochloa maximun</i> (Jacq.) R. D. Webster	5	3
Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.	1	4
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	13	3
Rubiaceae	<i>Randia aculeata</i> L.	1	1
Surianaceae	<i>Suriana marítima</i> L.	0	7
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.) Vahl	1	0

El NMDS mostró la formación de dos grupos que difieren en composición florística (Figura 3). El resultado del ANOSIM resalta la diferencia significativa entre las zonas de estudio (Bray-Curtis, $R=0.375$, $p=0.0001$, permutaciones= 9999). De igual manera, encontramos diferencias significativas con la prueba PERMANOVA (Bray-Curtis, $F= 8.97$, $p= 0.0001$, permutaciones= 9999). Cabe señalar que nuestro estudio incluyó sitios de muestreo fuera del área protegida (Punta Xen), ubicados en las cercanías a los espacios donde ha sido mayor la intervención antrópica derivada del desarrollo turístico Aak-Bal, plantaciones de cocotales (*C. nucifera*) y palma africana (*Elaeis guineensis*), construcción de muelles y escolleras, construcción y mantenimiento de la carretera costera 180, los tendidos de torres de conducción eléctrica con mantenimiento continuo del derecho de vía, a los cuales se les suma los procesos naturales de erosión costeras en el estado de Campeche (Martínez et al., 2014; Mendoza-González et al., 2022; Quiroz-Villanueva et al., 2023); factores que probablemente tengan relación con el establecimiento de especies consideradas no típicas de la duna, invasoras y de vegetación secundaria/ruderal, como es el caso de *Urochloa maximum* Jacq., *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst, *Passiflora foetida* L., *Sida acuta* Burm. f., *Piscidia piscipula* (L.) Sarg., *Distimake dissectus* (Jacq.) y *C. nucifera* L. (Castillo & Moreno-Casasola, 1996).

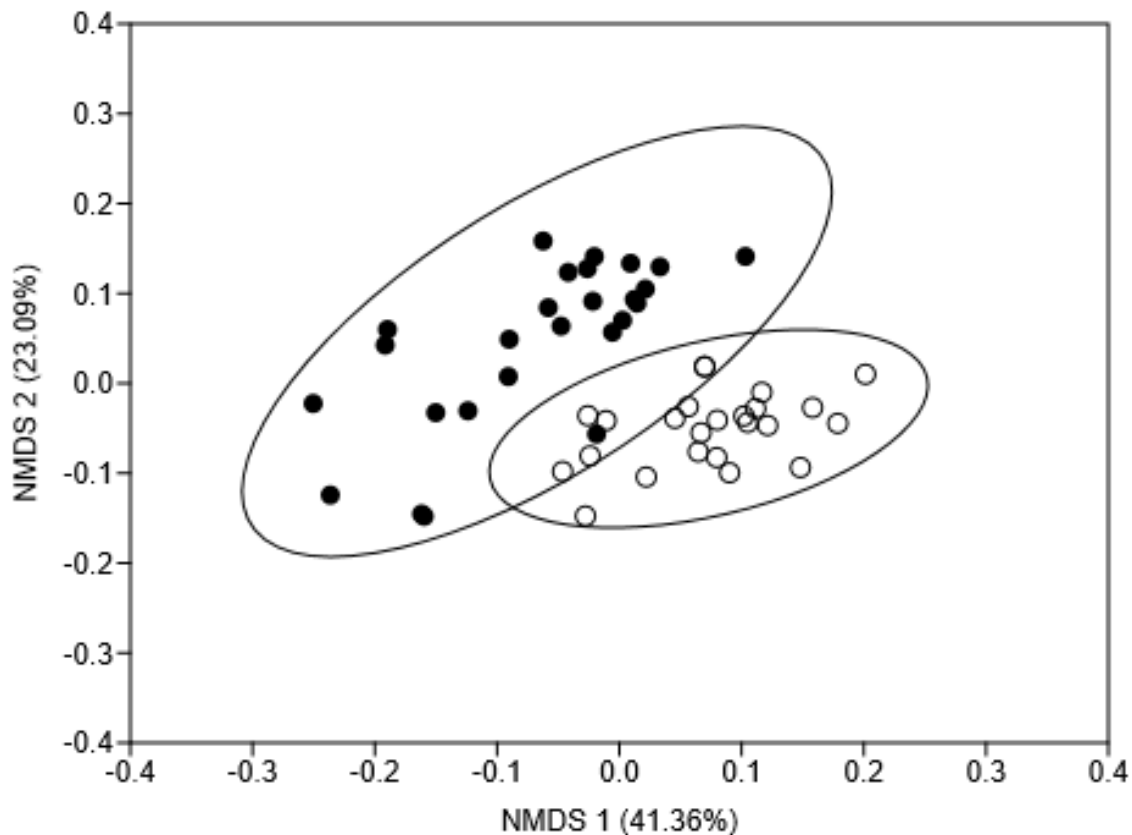


Figura 3. Ordenamiento multidimensional no métrico (NMDS). Punta Xen (círculos en color negro) y Sabancuy (círculos en color claro). Nivel de estrés: 0.24 (2D) y 0.17 (3D). Elipses al 95% del intervalo de confianza.

Encontramos dos transectos de Sabancuy (T29 $\Delta+=92.97$ y T39 $\Delta+=83.77$) que se localizaron fuera de la distribución esperada de $\Delta+$ con valores inferiores y estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) a la media esperada ($\Delta+ = 97.30$; Tabla 1). Algunos transectos se ubicaron próximos al borde inferior y superior del cono del 95% (Figura 4). A su vez, encontramos una relación positiva, aunque fue débil, resultó significativa entre la riqueza de especies (S) y la diversidad taxonómica ($\Delta+$; $r^2 = 0.23$, $p < 0.001$). Los análisis de $\Delta+$ y $\Lambda+$ indican en general que los sitios muestreados Punta Xen y Sabancuy presentan una diversidad taxonómica muy similar, de manera que los ensamblajes son semejantes en número de géneros y familias; es decir, que los factores bióticos y abióticos, han propiciado condiciones para que coexistan especies taxonómicamente relacionadas. Sin embargo, Sabancuy presentó mayor variación de la distinción taxonómica ($\Delta+$). No obstante, el sitio Sabancuy muestra dos puntos (T29 y T39) por debajo de la media esperada de $\Delta+$, lo que puede evidenciar la presencia de condiciones ambientales adversas y la distribución similar de las especies en las categorías taxonómicas (poca amplitud taxonómica), ocasionada posiblemente por la intervención antrópica y el deterioro progresivo del ambiente.

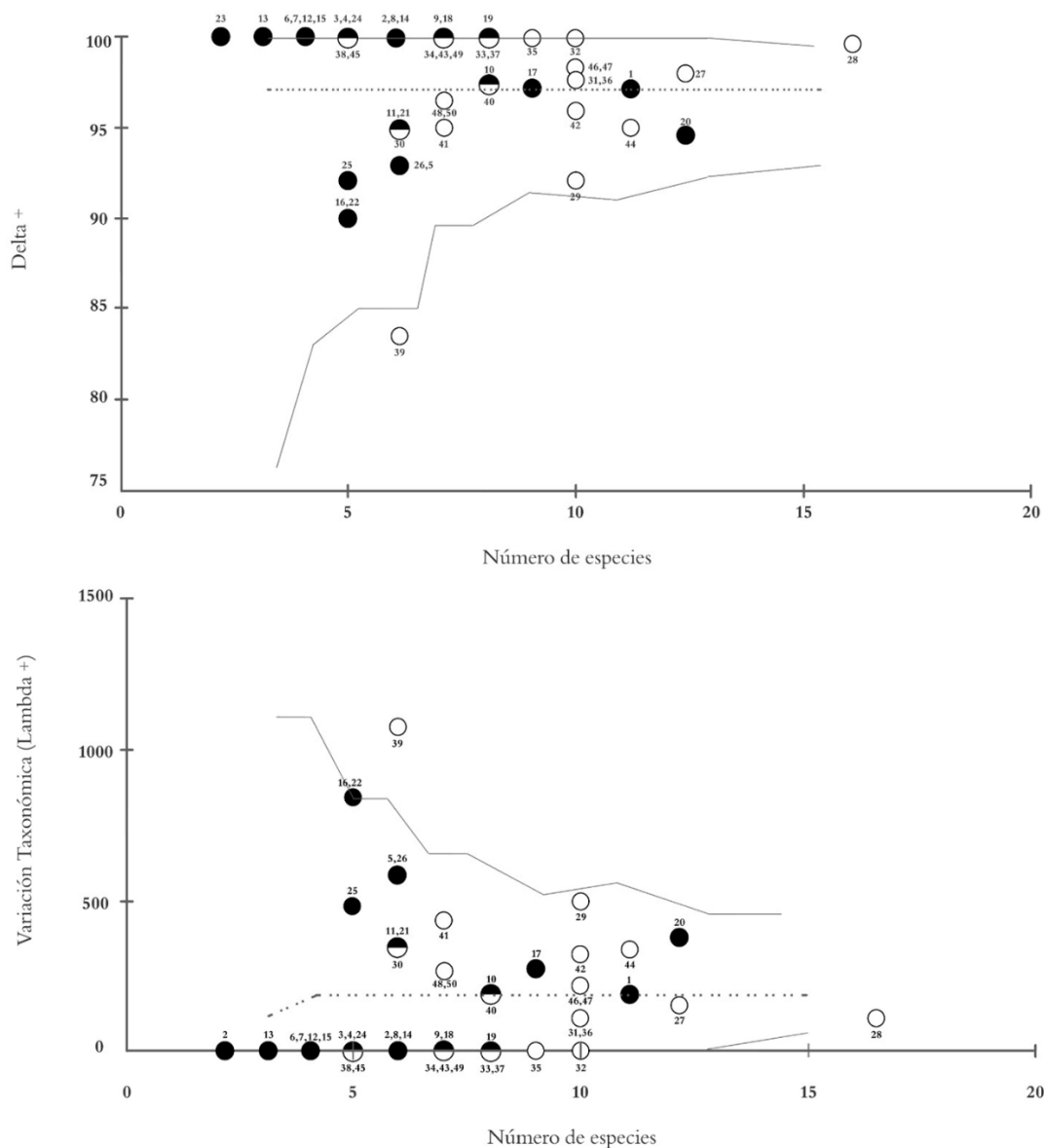


Figura 4. Distinción taxonómica promedio ($\Delta+$) y variación de la distinción taxonómica ($\Lambda+$) de la duna costera. Línea punteada representa el valor medio esperado (Delta+ y Lambda+), línea continua denota los límites del cono al 95% de probabilidad. La significancia estadística fue probada con 1000 permutaciones.

Implicaciones para la conservación de la flora de la duna costera. A diferencia de otros ecosistemas, la flora de la duna costera no tiene especies incluidas en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Aunado a lo anterior, en México no existe un marco jurídico específico para las dunas costeras. Ante las limitaciones legales se toma como referencias el marco legal que regula la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) y otros instrumentos jurídicos complementarios como la NOM-059-SEMARNAT-2010, los decretos de creación de las Áreas Naturales Protegidas, el establecimiento de campamentos tortugueros, Declaratorias para hábitats críticos de vida silvestre de acuerdo con el Art. 63 de la Ley General de Vida Silvestre, Manifestaciones de Impacto Ambiental, Certificados de las AICAS y sitios RAMSAR, Programas de Ordenamiento Territorial; como las únicas herramientas disponibles para la protección a los

ecosistemas costeros. Por lo anterior, es necesario que los tomadores de decisiones (Estado y Sociedad), formulen una política ambiental específica hacia los ecosistemas de dunas costeras, o en su caso crear un instrumento legal complementario a los ya existentes para incluirlas al esquema de administración de la ZOFEMAT con fines de conservación y protección de este activo ambiental costero.

CONCLUSIÓN

La riqueza de especies reportada en el presente estudio fue inferior a la señalada en estudios previos, la comparación de la similitud florística entre zonas de estudio denota una diferenciación en la composición florística. Los índices de diversidad taxonómica confirman que no existen diferencias en los ensambles taxonómicamente. Aunque no formó parte del presente estudio, pudimos observar un elevado grado de erosión a lo largo de la franja costera estudiada, lo cual puede acrecentar la vulnerabilidad del ecosistema, ante las constantes presiones antrópicas que conducen a cambios en el uso de suelo, pérdida de especies pioneras de la duna costera y un potencial establecimiento de especies invasoras. La vulnerabilidad de las dunas costeras obliga a los tomadores de decisiones y académicos a formular e implementar estrategias para su recuperación florística y diversidad taxonómica. Estrategias centradas en la recuperación de la vegetación para mitigar la erosión pueden valerse de aplicaciones biotecnológicas (biofertilizantes, bioestimulantes) para promover el crecimiento de las plantas y el éxito de los planes de recuperación de la duna costera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a los revisores anónimos por sus contribuciones para la mejora del manuscrito.

REFERENCIAS

- Alonso-Domínguez, A., Ayón-Parente, M., Hendrickx, M. E., Ríos-Jara, E., Vargas-Ponce, O., Esqueda-González, M. D. C., & Rodríguez-Zaragoza, F. A. (2022). Taxonomic diversity of decapod and stomatopod crustaceans associated with pocilloporid corals in the Central Mexican Pacific. *Diversity*, 14, 72.
- Anderson, M. J. (2014). Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). En *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online* (eds N. Balakrishnan, T. Colton, B. Everitt, W. Piegorisch, F. Ruggeri & J. L. Teugels).
- Ayala Pérez, L. A. (2010). Dunas, playas e islas. En Villalobos-Zapata, G. J. & Mendoza-Vega, J. (Coords.), *La biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado* (pp. 128–135). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur.
- Barjau-González, E., Armenta-Quintana, J. A., López-Vivas, J. M., & Romero-Vadillo, E. (2019). Taxonomic distinctness of the intertidal fish community on the Pacific coast of Baja California Sur, México. *Open Journal of Marine Science*, 9(2), 86–97.
- Castillo, S. A., & Moreno-Casasola, P. (1996). Coastal sand dune vegetation: An extreme case of species invasion. *Journal of Coastal Conservation*, 2, 13–22.
- Castillo-Campos, G., García-Franco, J. G., & Martínez, M. L. (2021). First record of naturalization of *Scaevola taccada* (Gaertn.) Roxb. (Goodeniaceae) in southeastern Mexico. *BioInvasions Records*, 10(2), 425–435.
- Castillo-Campos, G., Martínez, M. L., García-Franco, J. G., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O., & Pale-Pale, J. (2022). Assessing the impact of an invasive plant in a Protected Natural Area: Island of Cozumel, Mexico. *Biological Invasions*, 24, 1511–1526.
- Cervantes, O., López-Urban, U. M., Cortina-Segovia, S., Ventura-Díaz, Y., & Quiroz-Villanueva, E. (2020). Las dunas costeras y ZOFEMAT: Un vínculo necesario para fortalecer la gestión de las costas. En *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre* (pp. 331–334).
- Chávez, V., Uribe-Martínez, A., Cuevas, E., Rodríguez-Martínez, R. E., van Tussenbroek, B. I., Francisco, V., Estévez, M., Celis, L. B., Monroy-Velázquez, L. V., Leal-Bautista, R., Álvarez-Filip, L., García-

- Sánchez, M., Masia, L., & Silva, R. (2020). Massive influx of pelagic *Sargassum* spp. on the coasts of the Mexican Caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities. *Water*, 12(10), 2908.
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18, 117–143.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1998). A taxonomic distinctness and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35(4), 523–531.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1999). The taxonomic distinctness measure of biodiversity: Weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series*, 184, 21–29.
- Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2001). Primer v5: User Manual/Tutorial. Primer-E Ltd.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265–278.
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. <http://purl.oclc.org/estimates>
- De, K., Singh, A. P., Sarkar, A., Singh, K., Siliwal, M., Uniyal, V. P., & Hussain, S. A. (2023). Relationship between species richness, taxonomic distinctness, functional diversity, and local contribution to β diversity and effects of habitat disturbance in the riparian spider community of the Ganga River, India. *Ecological Processes*, 12(1), 1–13.
- Espejel, I. (1986). La vegetación de las dunas costeras de la Península de Yucatán II. Reserva de la biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Biótica*, 11(1), 7–14.
- Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Castillo-Campos, G., Garcillán, P. P., Álvarez, L., Castillo-Argüero, S., Durán, R., Ferrer, M., Infante-Mata, D., Iriarte, S., León de la Luz, J. L., López-Rosas, H., Medel Narváez, A., Monroy, R., Moreno-Casasola, P., Rebman, J. P., Rodríguez-Revelo, N., Sánchez-Escalante, J., & Vanderplank, S. (2017). Flora en playas y dunas costeras de México. *Acta Botanica Mexicana*, 121, 39–81.
- Everard, M., Jones, L., & Watts, B. (2010). Have we neglected the societal importance of sand dunes? An ecosystem services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20, 476–487.
- Flores, J. S., & Espejel, I. (1994). Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. *Etnoflora Yucatanense*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Fragoso-Servón, P., Pereira Corona, A., Bautista Zúñiga, F., Prezas Hernández, B., & Reyes, N. A. (2020). Soils in extreme conditions: The case of the catenas karst-marsh-coastline in the Mexican Caribbean. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72(2), A040619.
- Guadarrama, P., Salinas-Peba, L., García-Bielma, M., Endañú-Huerta, E., Hernández-Cortés, J., & Ramos-Zapata, J. A. (2014). Nota sobre la florística y estado de conservación de remanentes de vegetación pionera de duna costera de Isla del Carmen, Campeche, México. *Botanical Sciences*, 92(3), 453–456.
- Gutiérrez-Báez, C., Avendaño-Reyes, S., & Zamora-Crecencio, P. (2020). Listado florístico de las dunas costeras de la península de Yucatán, México. *Foresta Veracruzana*, 22(2), 1–6.
- Guzmán-Hernández, V., Monte-Luna, P., López-Castro, M., Uribe-Martínez, A., Huerta-Rodríguez, P., Gallegos-Fernández, S., Azanza-Ricardo, J., Martínez-Portugal, R., Barragán-Zepeda, A., Quintana Pali, G., Martín-Viaña, Y., Gómez-Ruíz, P., Acosta-Sánchez, H., López-Hernández, M., Castañeda-Ramírez, D., Ortíz, A., & Cuevas, E. (2022). Recuperación de poblaciones de tortuga verde y sus interacciones con la duna costera como línea base para una restauración ecológica integral. *Acta Botánica Mexicana*, 129, e1954.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Ji, L., Jiang, X., Liu, C., Xu, Z., Wang, J., Qian, S., & Zhou, H. (2020). Response of traditional and taxonomic distinctness diversity indices of benthic macroinvertebrates to environmental degradation gradient in a large Chinese shallow lake. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 21804–21815.
- Jiménez-Orocio, O., Espejel, I., & Martínez, M. L. (2015). La investigación científica sobre dunas costeras de México: Origen, evolución y retos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2), 486–507.
- Lara-Pérez, L. A., Oros-Ortega, I., Córdova-Lara, I., Estrada-Medina, H., O'Connor-Sánchez, A., Góngora-Castillo, E., & Sáenz-Carbonell, L. (2020). Seasonal shifts of arbuscular mycorrhizal fungi in *Cocos nucifera* roots in Yucatán, Mexico. *Mycorrhiza*, 30, 269–283.

- Longo, P. A., Mansur, K. F., Silva, A. T., Passos, F. D., & Leite, F. P. (2023). Species diversity, trophic structure, and taxonomic distinctness of molluscan assemblages associated with *Sargassum* beds in a historically impacted bay. *Marine Ecology*, e12769.
- López-Castro, M. C., Cuevas, E., Guzmán-Hernández, V., Raymundo-Sánchez, Á., Martínez-Portugal, R. C., Reyes, D. J. L., & Chio, J. Á. B. (2022). Trends in reproductive indicators of Green and Hawksbill Sea Turtles over a 30-year monitoring period in the Southern Gulf of Mexico and their conservation implications. *Animals*, 12(23), 3280.
- Martínez, M. L., Vázquez, G., Favila, M. E., & Álvarez-Molina, L. (2019). Variation in different measures of diversity during primary succession on a tropical coastal dune. *Plant Ecology & Diversity*.
- Mendoza-González, G., Zepeda-Centeno, C., Francisco, V., Hernández-Mendoza, V., Hoil, D., Secaira, F., Aguirre-Fierro, J. C., & Rioja-Nieto, R. (2022). Manual para la restauración de dunas costeras de la Península de Yucatán. ENES-Mérida.
- Moreno-Casasola, P., & Espejel, I. (1986). Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio*, 66, 147–182.
- Noguera-Savelli, E. (2022). Plantas herbáceas de la duna costera en Sabancuy, Campeche, México. Desde el Herbario CICY, 14, 57–63.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, H., & Wagner, H. (2019). *Vegan: Community ecology package*. R package version 2.5-6.
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., & Gay, C. (2009). Atlas. Escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. CICY-UNAM-CONACY-SEDUMA-Gobierno del Estado de Yucatán-ONU-PNUD.
- Ovando-Hidalgo, N., Tun-Garrido, J., Mendoza-González, G., & Parra-Tabla, V. (2020). Efecto del cambio climático en la distribución de especies clave en la vegetación de duna costera en la Península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e912883.
- Peralta-Peláez, L. A., Peña-Montes, C., Hermida-Castellanos, L., Huerta-Quero, O. de J., Hernández-Álvarez, C., Mejía-Estrella, I. A., & Sulbarán-Rangel, B. (2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33(2), 231–242.
- Quiroz-Villanueva, E., Cervantes, O., Olivos-Ortiz, A., & Martínez-Díaz, T. (2022). Assessment of the vulnerability of the coastal dunes on the Colima, Mexico coast. *Revista Costas*, 4(2), 53–76.
- Torres, W., Méndez, M., Dorantes, A., & Durán, R. (2019). Structure, composition and diversity of coastal sand dune scrub of Yucatán. *Botanical Sciences*, 86, 37–51.
- Torres-Rodríguez, V., Márquez-García, A., Bolongaro-Crevenna, A., Chavarría-Hernández, J., Expósito-Díaz, G., & Márquez-García, E. (2010). Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático. En Botello, A. V., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J., & Rojas-Galaviz, J. L. (Eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (pp. 325–344). SEMARNAT-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche.

Perspectivas biotecnológicas de hongos endófitos asociados a poáceas distribuidas en climas tropicales

Tatiana Esperanza Vales-Bautista¹, Milton Carlos Soto-Barajas², José Efraín Ramírez-Benítez¹, Norma Laura Rodríguez Ávila^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México /Campus I.T. Chiná, Calle 11 S/N entre 22 y 28, C.P. 24520, Chiná, Campeche, México. ²UNAM-Posgrado en Ciencias Biológicas, Unidad de Posgrado Edificio D primer piso, Ciudad Universitaria, CDMX, México. *Autor para correspondencia: norma.ra@china.tecnm.mx

Recibido: 25/08/25; Aceptado: 16/11/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Las poáceas, caracterizadas por su alta capacidad adaptativa, constituyen una de las familias de mayor distribución geográfica. Diversos estudios atribuyen esa plasticidad fisiológica a la existencia de interacciones mutualistas con microorganismos endófitos, a través de la síntesis de metabolitos secundarios con funciones específicas contra el estrés abiótico y biótico. La evidencia científica a la fecha se centra en modelos vegetales procedentes de climas templados; sin embargo, las zonas de clima tropical presentan la mayor diversidad biológica del planeta, por lo que en este trabajo se analizó el estado del arte de hongos endófitos asociados a gramíneas tropicales con un enfoque bioprospectivo. La presente revisión hace énfasis en la diversidad biológica de los endófitos y su relación con los factores ambientales. Asimismo, se da relevancia al descubrimiento de nuevas aplicaciones biotecnológicas de hongos endófitos en agricultura.

Palabras clave: Gramíneas, interacción planta-microorganismo, simbiosis planta-hongo.

ABSTRACT

The Poaceae, characterized by their high adaptive capacity, constitute one of the families with the largest geographical distribution. Several studies attribute this physiological plasticity to the existence of mutualistic interactions with endophytic microorganisms, through the synthesis of secondary metabolites with specific functions against abiotic and biotic stress. Scientific evidence to date focuses on plant models from temperate climates; However, tropical climate zones have the greatest biological diversity on the planet, so in this work the state of the art of endophytic fungi associated with tropical grasses was analyzed with a bioprospective approach. This review emphasizes the biological diversity of endophytes and its relationship with environmental factors. Likewise, relevance is given to the discovery of new biotechnological applications of endophytic fungi in agriculture.

Key words: Grasses, plant-microorganism interaction, plant-fungal symbiosis.

INTRODUCCIÓN

La incidencia de plagas y las condiciones ambientales extremas son dos de los principales desafíos a los que se enfrenta la producción agrícola. En México, los principales cultivos suelen ser especialmente vulnerables a plagas y enfermedades, lo que incrementa los costos de producción al hacerse uso indiscriminado de agroquímicos. En ese contexto, la agricultura orgánica y las prácticas sostenibles son prácticamente inviables., pese a que se conocen las graves consecuencias de los plaguicidas de síntesis química para la salud del ecosistema y del ser humano (Sharma et al., 2019). Desde hace algunos años, se están explorando sustancias de origen natural para reducir el uso y los efectos negativos de los plaguicidas; por ejemplo, las generadas por plantas que son inducidas por la simbiosis mutualista con microorganismos endófitos (Rana et al., 2020; Lachu et al., 2022). Se ha reportado que los pastos, en asociación con hongos endófitos, sintetizan alcaloides que pueden ser tóxicos para ciertos herbívoros, proporcionando a las plantas hospederas mecanismos de defensa contra ellos; algunos otros pueden actuar como sustancias alelopáticas, efecto observado en las gramíneas arvenses, inhibiendo el crecimiento de plantas de otras especies a su alrededor (Zheng et

at., 2016). Las regiones tropicales y templadas muestran diferencias significativas en cuanto al nivel de investigación, probablemente debido a la disparidad económica que suele presentarse entre los países de dichas zonas geográficas.

Muchos de los estudios actuales consisten en la inoculación de las plantas de interés por un hongo endófito conocido, aislado y caracterizado en otra especie vegetal pero los resultados de experimentación y de campo pueden ser desfavorables, pues tienen éxito solo *In vitro*, pero en campo no. Entonces, la importancia de estudiar las interacciones entre hongos endófitos y sus hospedadoras que se encuentran adaptadas naturalmente al ecosistema es vital para encontrar compuestos químicos que se puedan emplear como bioplaguicidas o biofertilizantes (Zheng et al., 2016). En este trabajo se revisan aspectos relevantes sobre los hongos endófitos, como su definición, clasificación y beneficios que proporcionan a su hospedadora. Para la revisión bibliográfica se tomaron en cuenta todos los artículos publicados hasta el año 2024 que cumplieran con los criterios de búsqueda establecidos, utilizando como palabras clave: hongos endófitos, gramíneas tropicales y endófitos de poáceas. De estos, se seleccionaron y citaron 35 fuentes relevantes para la redacción del resultado de la revisión. La búsqueda se realizó a través de Google Scholar. El análisis se centró en artículos científicos que aplicaron metodologías de aislamiento y caracterización morfológica y molecular para identificar las especies de hongos encontrados, además de los trabajos en los que se reporta la biosíntesis de productos naturales con potenciales aplicaciones agronómicas.

Microorganismos endófitos. El término "endófito" ha evolucionado desde su uso inicial para describir hongos parásitos en plantas. La definición más aceptada es la de Petrini (1991), que incluye a todos los organismos que colonizan tejidos internos de plantas sin causar daño aparente. La palabra endófito se emplea para describir hongos, bacterias, algas, virus, arqueas, amebas o cualquier microorganismo que se hospede en un momento particular del ciclo de vida de las plantas en los tejidos internos como son raíces, flores, frutos, semillas, ramas y tallos. Al invadir los tejidos tendrán la capacidad de replicarse y de transferir su información y material genético a sus hospederos, sin provocar daños evidentes de enfermedad. Actualmente, se incluye en la definición el hecho de que los hongos endófitos no deben causar daño a la planta bajo ninguna circunstancia (Kaur et al., 2023). Los microorganismos endófitos que viven en simbiosis con las plantas residen en casi todos los ecosistemas y forman parte importante de la vida vegetal, no obstante, exhiben características simbióticas distintas según el hábitat en el que se encuentren (Zheng et al., 2016). Se ha comparado el hábito de vida de los microorganismos endófitos con el de los patógenos, ya que ambos pueden colonizar las plantas e inducir a respuestas metabólicas en el hospedero. Por lo tanto, se sugiere que estos grupos de microorganismos comparten un origen común, aunque sus rasgos filogenéticos no se conservaron de la misma manera, desarrollando distintas estrategias nutricionales a lo largo de la evolución, como una forma de adaptación biológica (Clay & Schardl, 2002). A estas condiciones facultativas de los microorganismos endófitos se le ha denominado esquizotrofismo, término designado a los microorganismos que son patógenos en grupos de plantas específicos y endófitos en otros grupos de plantas. Por ejemplo: se ha encontrado que la familia de hongos Xylariaceae en regiones templadas actúan como descomponedores de madera y en zonas tropicales su comportamiento biológico se caracteriza como endófito (Petrini, 1991).

Origen de los hongos endófitos. Se postula que, como toda simbiosis de organismos, la relación de los hongos endófitos con sus plantas hospedadoras es resultado de la co-evolución. En ese sentido, se postula que los hongos endófitos de la familia Clavicipitaceae, como los del género *Claviceps*, provienen de un ancestro común en respuesta a complejas condiciones ambientales (Clay & Schardl, 2002). Las investigaciones realizadas con estos hongos han demostrado su presencia en diversas gramíneas y el papel de sus interacciones con sus hospedadoras. Actualmente, existen dos hipótesis sobre el origen de esta relación: la endógena, que plantea una evolución a partir de estructuras internas, y la exógena, que sugiere una entrada desde el exterior a través de heridas o estomas (Cheplick et al., 2009a; Clay & Schardl, 2002).

Clasificación de los hongos endófitos. existen diferentes formas de clasificar a los hongos endófitos; de acuerdo con el tipo de organismo, la interacción con otras plantas, por el tipo de colonización, por su forma de reproducción, ecología o transmisión (Clay & Scharndl, 2002). Por lo general, los hongos endófitos se pueden clasificar en función de sus características morfológicas de reproducción que se describen en dos grupos: meiospórico o mitospórico. La clase meiospórica presenta la reproducción sexual conocida en las estructuras teleomórficas. En la división Ascomycota el mecanismo de reproducción de los hongos pueden ser por contacto gametangial, espermatización y somatogamia. Las meiosporas poseen la capacidad de sobrevivir en ambientes inhóspitos (Mane & Vedamurthy, 2018). En la Clase mitospórica la reproducción del hongo endófito es asexual, presenta estructuras anamórficas. En la división de Ascomycota el mecanismo de formación de esporas está dada por la conidiogénesis (Rodriguez et al., 2009). Por otra parte, Clay & Scharndl, (2002) clasifican en tres tipos la colonización de los hongos endófitos asociados con las gramíneas (Cuadro 1).

Cuadro 1: Características de la asociación endófito-gramíneas.

	Colonización	I	II	III
Hongo	Reproducción	Sexual	Ambas	Clónico
	Transmisión	Horizontal	Ambas	Vertical
	Propágulo	Ascosporas	Ambas	Semillas
	Reproducción	Estéril/clonal	Esterilidad parcial	Sexual
Anfitrión	Interacción	Patógeno	Intermedio	Mutualista
	Frecuencia de infección	Baja-moderada	Intermedio	Alto
	Taxonomía	Toda la familia de gramíneas	Gramíneas C3	Gramíneas C3

I =Tipo sintomático, II=Tipo mixto y III=tipo asintomático.

En el Tipo I la transmisión horizontal permite mantener la comunidad endofítica heterogénea porque da lugar a individuos quiméricos que impulsan poblaciones más resistentes, por ejemplo, pueden proporcionar tolerancia térmica en su hospedadora. En el Tipo II el hongo endófito se puede denominar como simbiontes pleiotrópicos, debido a su capacidad de transmisión vertical por semilla y horizontal por esporas. En el Tipo III, la transmisión heredada de madres a hijas aumenta las posibilidades de la interacción coevolutiva (Clay & Scharndl, 2022). No obstante, la forma de agrupación más utilizada para clasificar a los hongos endófitos es la propuesta por Rodriguez et al. (2009), que cataloga a los hongos endófitos en dos grupos: (1) Clavicipitáceos o Clase I y (2) no Clavicipitáceos, estos últimos subdivididos en tres Clases de acuerdo con su filogenia y funciones ecológicas e identificados como Clase II, Clase III y Clase IV (Cuadro 2).

Cuadro 2: Propiedades de los hongos endófitos.

	(1) Clavicipitáceos		(2) No Clavicipitáceos	
	I	II	III	IV
Género de hongos	<i>Epichloë</i> , <i>Claviceps</i>	<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Colletotrichum</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Beauveria</i> <i>Xylaria</i>	<i>Fusarium</i> Sobreposición con la clase II	<i>Curvularia</i> <i>Phialocephala</i> , <i>Deschlera</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Acremonium</i> , <i>Sarocladium</i>

	(1) Clavicipitáceos		(2) No Clavicipitáceos	
	I	II	III	IV
Filogenia	División Ascomycota	Subreino Dikaryomycota División: Ascomycota y Basidiomycota	Subdivisiones: Agaricomycotina, Pucciniomycotina, Ustilaginomycotina Hongos endolicénicos	Pueden ser ascomicetos del orden Helotiales
Hospedadora	Gramíneas de climas fríos y tropicales	Colonizan todas las partes de las plantas, de todos los linajes, en los diferentes biomas	Muy diversos, principalmente en hojas de árboles y herbáceas de zonas tropicales	Raíces de gran variedad de plantas de hábitats polares, alpinos y tropicales
Transmisión	Horizontal y Vertical	Horizontal y vertical	Horizontal	Horizontal
Referencia	Khiralla et al. (2016)	Khiralla et al. (2016)	Mane & Vedamurthy (2018)	Galindo-Solís & Fernández (2022)

Dentro del primer grupo de la clasificación, los hongos endófitos de la Clase I se asocian con la producción y acumulación de alcaloides en los tejidos vegetales que proveen a la planta defensa contra patógenos, artrópodos y vertebrados (Rodríguez et al., 2009; Khiralla et al., 2016). Las clases II y III incluyen una amplia variedad de endófitos. Los endófitos de Clase II se encuentran en las hojas de árboles tropicales y en los tejidos aéreos de varias plantas, tanto vasculares como no vasculares. Se pueden encontrar en coníferas hasta plantas con flores, en biomas que van desde selvas tropicales hasta regiones boreales y polares. La mayoría de ellos son ascomicetos, y un número menor son basidiomicetos, colonizando todas las estructuras de las plantas, incluidas las cubiertas de las semillas (Khiralla et al., 2016; Mane & Vedamurthy, 2018).

Por otro lado, los endófitos de la Clase III son conocidos por colonizar sólo tejidos aéreos, formando infecciones localizadas que se propagan horizontalmente. Estos endófitos también son muy diversos y se pueden encontrar en plantas no vasculares, plantas vasculares sin semillas, coníferas y plantas con flores; en biomas que van desde bosques tropicales hasta regiones boreales y polares. Pueden colonizar tejidos de en flores, frutos, madera asintomática y también en la corteza interna (Mane & Vedamurthy, 2018). Aunque han pasado 100 años desde el descubrimiento de los hongos endófitos septados aún no se comprende del todo su rol ecológico, pero se ha demostrado que pudieran beneficiar a las plantas en condiciones climáticas especiales, como las dadas por estrés hídrico y salino (Moghaddam et al., 2022).

Se ha reportado que la proporción de endófitos de las divisiones Ascomycotas: Basidiomycota es de 25:1 distribuidos en 372 383 especies de plantas vasculares, por lo cual podrían haber 1.49 millones de especies correspondientes a hongos endófitos (Hamzah et al., 2018). De forma similar, Liu-Xiu et al. (2022) analizaron 1556 artículos publicados del año 1988 hasta diciembre de 2021 referentes a la tolerancia a estrés y promoción del crecimiento vegetal proporcionados por los hongos endófitos en las hospedadoras de climas templados y tropicales; determinaron que los estudios se enfocaron en un 76.9 % en la división Ascomycota seguidos de 11.7 % de la división Basidiomycota, mientras el 11.4 % corresponde a otras divisiones filogenéticas y otros microbiomas.

Efecto de las condiciones ambientales sobre la presencia y diversidad de hongos endófitos. Como se ha mencionado con anterioridad, se han encontrado hongos endófitos en todos los tejidos de las plantas, desde silvestres hasta cultivadas, en diversos ambientes de regiones templadas, océanos, desiertos, zonas antárticas, suelos geotérmicos, bosques costeros y selvas tropicales. Los estudios de

las exploraciones simbióticas mutualistas entre los hongos endófitos y las hospedadoras en las regiones mencionadas anteriormente permitieron conocer la diversidad y abundancia, la cual está directamente relacionada con factores ambientales biofísicos que pueden afectar la colonización, y la composición de las especies de hongos endófitos en las especies vegetales (Rodríguez et al., 2009).

Los factores como la humedad, la luz, la temperatura, la precipitación, la altitud o el suelo están directamente relacionados con el crecimiento óptimo del micelio y su reproducción. Así mismo, cualquier impacto que provoque disturbios al ecosistema como la deforestación, los incendios, sequías o los cultivos tradicionales pueden causar la pérdida de la vegetación, cambiar las variables ambientales y reducir la presencia y diversidad de los hongos endófitos (Zheng et al., 2016). La luz y la temperatura son factores cruciales en la distribución de los hongos endófitos. La exposición a alta intensidad lumínica incrementa la síntesis de compuestos celulares en estos hongos. En cuanto a la temperatura, los hongos mesofílicos muestran un crecimiento óptimo entre 15 y 30 °C. Por otro lado, los hongos psicofílicos pueden adaptarse a temperaturas bajas, siendo algunos obligados y otros facultativos. Por ejemplo, ciertos basidiomicetes pueden sobrevivir en condiciones desfavorables, esperando temperaturas adecuadas para fructificar (Cheplick et al., 2009b). Rojas et al. (2016) estudiaron en bosques lluviosos de Costa Rica el gradiente altitudinal de 400 a 2900 msnm y concluyeron que al aumentar la elevación la diversidad de endófitos disminuyó, por lo que la altitud es otro parámetro que afecta a su distribución. La distribución de algunos endófitos puede ser parecida en plantas de diferentes familias, pero con características similares. Por ejemplo: la mayor parte de los hongos endófitos correspondientes a la subfamilia Balansieae aislados de las Poaceae también se hallaron en Cyperaceae y Juncaceae (Cheplick et al., 2009a)

Beneficios que confieren los hongos endófitos a las plantas tropicales. Los hongos endófitos actúan rápidamente al competir por espacio y nutrientes dentro de las plantas, lo que les permite colonizar eficazmente y prevenir la invasión de patógenos. Esta competencia es fundamental para su función en el control biológico, ya que inhibe el crecimiento de patógenos y potencia la defensa de las plantas. Estudios recientes confirman que los hongos endófitos ocupan los mismos nichos que los patógenos, impidiendo su proliferación y contribuyendo al manejo sostenible de cultivos al reducir la necesidad de plaguicidas químicos (Fite et al., 2023). El equilibrio entre la planta y el hongo endófito ofrece beneficios significativos especialmente en la agricultura, al reducir la necesidad de plaguicidas sintéticos; que como se sabe, tienen efectos adversos sobre la salud humana y ambiental. En ese sentido, se ha reportado el efecto bioprotector de los hongos endófitos sobre las enfermedades que afectan a poáceas o gramíneas tales como trigo, arroz y maíz (Hassanein et al., 2020). Por ejemplo, los hongos endófitos pueden competir directamente con patógenos por espacio y nutrientes; además de que muchas especies de éstos inducen resistencia sistémica en las plantas, mejorando su capacidad para resistir ataques de patógenos y reduciendo la necesidad de agroquímicos (Bhardwaj et al., 2023).

Existen diversos estudios en los que se reporta que, en cultivos como el arroz y el trigo, la colonización por hongos endófitos no solo mejora la tolerancia a condiciones de estrés como la salinidad y la sequía, sino que también protege contra enfermedades fúngicas importantes, promoviendo un crecimiento más saludable y mayores rendimientos agrícolas (Hassanein et al., 2020; Bhardwaj et al., 2023). Esto hace que los hongos endófitos sean componentes valiosos en estrategias de agricultura sostenible y manejo de plagas. Los mecanismos de acción de los hongos endófitos incluyen métodos físicos y químicos. El mecanismo físico o directo es inducido por la competencia interespecífica de los microorganismos mediante antibiosis o antagonismo (Fite et al., 2023). El mecanismo químico abarca la producción de metabolitos primarios y compuestos bioactivos o metabolitos secundarios que participan en procesos bioquímicos provocando la resistencia sistémica adquirida (RSA) o la resistencia sistémica inducida (RSI) (Fite et al., 2023). Los compuestos químicos que pueden ser sintetizados por los hongos endófitos se ilustran en la Figura 1.

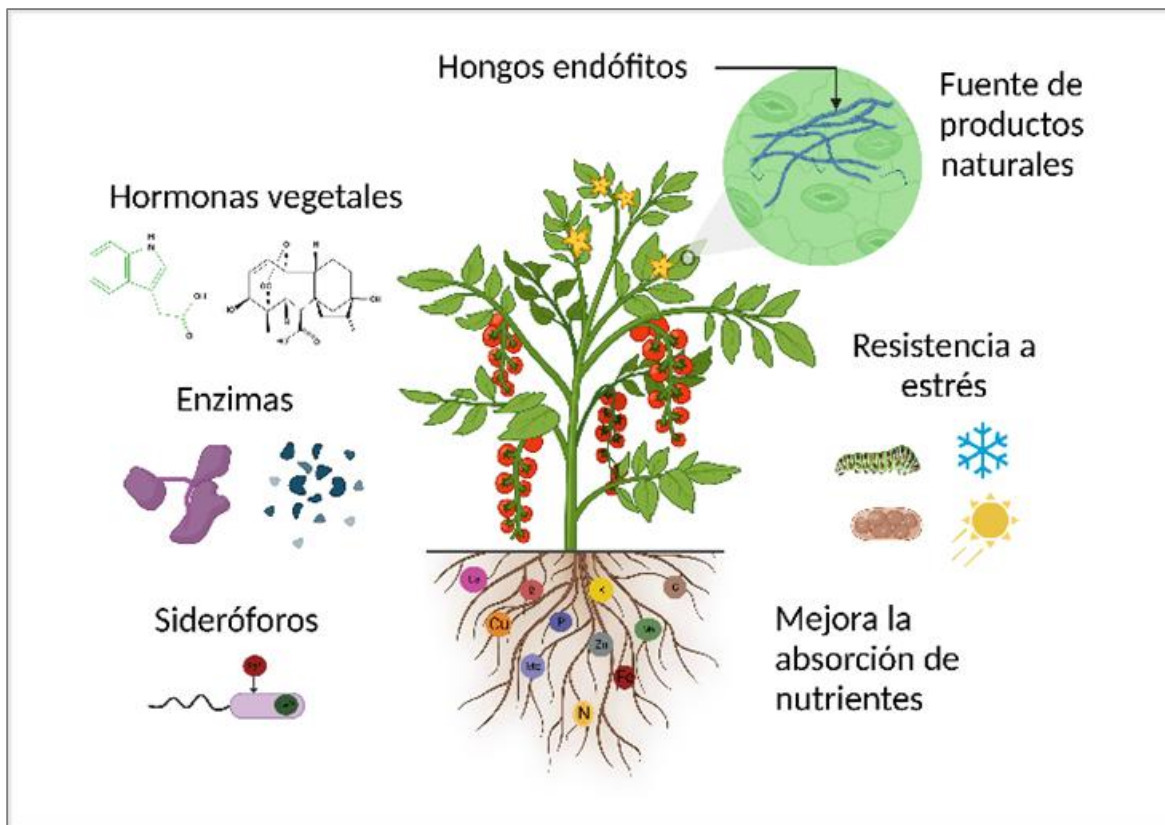


Figura 1: Compuestos químicos producidos por hongos endófitos y su potencial aplicación agronómica.

Producción de hormonas vegetales. El estrés abiótico es causante de efectos perjudiciales en la morfología y fisiología de las plantas. La producción de hormonas vegetales se favorece por la presencia de los hongos endófitos, como las giberelinas, citoquininas, etileno y auxinas como el ácido indol-3-acético (Fite et al., 2023). Las giberelinas (GAs) fueron aisladas por primera vez del hongo *Gibberella fujikuroi* y, aunque se han identificado más de 120 tipos en plantas, solo unas pocas desempeñan funciones biológicas cruciales, como la germinación de semillas, la floración y la senescencia. Estas giberelinas también son producidas por hongos endófitos, lo que ha demostrado mejorar el crecimiento de cultivos como el arroz (Fite et al., 2023). Diversos estudios han reportado que hongos endófitos como *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium funiculosum*, *P. corylophilum*, *Rhizopus stolonifer* y *Paecilomyces formosus* son capaces de producir giberelinas (Khan et al., 2013). Las citoquininas, el ácido abscísico y el etileno, ambas fitohormonas esenciales en el crecimiento y desarrollo de las plantas, pueden ser inducidas por microorganismos endófitos. Aunque se ha identificado que ciertos endófitos bacterianos son capaces de producir citoquininas, los mecanismos de producción y regulación mediada por hongos endófitos aún no están completamente esclarecidos (Khan et al., 2013). Por su parte, el ácido abscísico y el etileno, conocidos por su papel en la respuesta de las plantas a condiciones de estrés abiótico, actúan como sustancias tóxicas inducidas tras la inoculación de las plantas con suspensiones de conidios de endófitos, pudiendo actuar como herbicidas al inhibir la germinación y crecimiento de malezas (Fite et al., 2023). Además, se ha observado que la colonización por endófitos en gramíneas puede inducir la producción de ácido indol-3-acético (AIA). En estudio con *Lolium multiflorum* se reportó que la longitud de los brotes aumentó entre un 40,05% y un 44,54% al aplicar extractos de *S. terricola* y *F.*

avenaceum; mientras que la longitud de las raíces incrementó alrededor de un 25% en plantas tratadas con *Xylariaceae* sp. o *F. avenaceum* y un 42,27% en réplicas tratadas con *S. terricola*. Dichos resultados podrían explicarse por la presencia de sustancias similares a fitohormonas, como AIA, probablemente promovida por la zeatina (García-Latorre et al., 2023).

Producción de enzimas. La producción de enzimas por los hongos endófitos es otro beneficio conferido a las plantas, pues está demostrado que influyen en su constitución y promueven su aumento. Entre las enzimas producidas se encuentran las peroxidasas, polifenol oxidasa, catalasas y superóxido dismutasas, que proporcionan a la hospedadora tolerancia al estrés biótico; por ejemplo, el estrés oxidativo ocasionado por metales en sustratos contaminados con níquel (Ni) se reduce la peroxidación de lípidos (Fite et al., 2023). Los antioxidantes también ofrecen tolerancia al estrés hídrico, se ha demostrado que el hongo endófito *Piriformospora indica* mejoró la regulación de la expresión positiva de genes protectores de la sequía mediante el incremento de enzimas antioxidantes en col chino *Brassica rapa* tratados con polietilenglicol que imitaban el estrés por sequía, además proporcionó tolerancia a suelos ácidos y al estrés salino (Bhardwaj et al., 2023). Los hongos endófitos igualmente producen pequeñas moléculas llamadas sideróforos que se inducen como respuesta a la baja concentración de hierro en el medio. Actúan como agentes quelantes que permiten a las plantas asimilar el hierro, su función no es muy notoria y se ha sugerido que sostienen relación con la resistencia sistémica inducida (Fite et al., 2023). Así, Dusingize et al. (2020) estudiaron los hongos endófitos presentes en la gramínea tropical *Brachiaria* spp, del cual aislaron 169 hongos y el 49 % de los aislados fueron capaces de producir sideróforos, entre los géneros identificados están: *Epicoccum nigrum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Coprinospora atramentaria*, *Mucor hiemalis*, *Alternaria alterna*, *Gibbella zeae*, *Mucor racemosus* y *Phoma* ssp.

Metabolitos secundarios. Los productos naturales que se generan gracias a la interacción entre hongos endófitos y plantas pueden ofrecer protección contra herbívoros y patógenos, actuando como antibacterianos, antifúngicos, insecticidas o antioxidantes (Fite et al., 2023). La producción de metabolitos secundarios es provocada por señales moleculares específicas que emiten tanto el hongo como la planta, lo que demuestra lo complejas y únicas que son estas relaciones simbióticas. Por ejemplo, en un estudio realizado por Toghueo et al. (2020), se observó que el uso de pequeños compuestos químicos, como inhibidores de la histona deacetilasa (HDAC) y de la ADN metiltransferasa (DNMT), puede causar cambios epigenéticos en hongos endófitos, activando vías biosintéticas que estaban inactivas y, a su vez, estimulando la producción de metabolitos secundarios.

En China, entre 2017 y 2019, se analizaron 200 terpenoides producidos por hongos endófitos con diversas propiedades biológicas. Los resultados mostraron que los sesquiterpenos eran especialmente destacados por su amplia gama de efectos, con los géneros *Trichoderma* y *Aspergillus* como los principales productores de estos compuestos (Zhao et al., 2020). De manera similar, se ha observado que géneros como *Epichloë* pueden inducir la producción de alcaloides tóxicos en gramíneas que consumen animales de pastoreo, aunque estos alcaloides también pueden ser útiles para controlar plagas de insectos (Zheng et al., 2016). Conocer a detalle el perfil de los metabolitos secundarios y cómo cambian después de interactuar con los hongos endófitos puede abrir muchas oportunidades para manejar los cultivos de manera orgánica. Sin embargo, las investigaciones actuales sobre la ecología de estos hongos y sus plantas hospedadoras no son todavía suficientes para entender completamente las rutas biosintéticas involucradas ni los metabolitos que se producen. Es fundamental seguir profundizando en estos estudios para garantizar la seguridad en el uso y aplicación de los hongos endófitos y sus metabolitos, ya que, debido a la especificidad de las interacciones entre cada especie de endófito y su planta hospedadora, podrían generarse metabolitos que tal vez tengan efectos tóxicos.

La búsqueda de hongos endófitos que produzcan o induzcan a la producción de compuestos químicos con aplicación agrícola aumenta cada día, contribuyendo a enriquecer la información existente para

su aprovechamiento. Es importante destacar que las investigaciones futuras podrían centrarse en especies de hábitats que se encuentren en ambientes con condiciones ambientales extremas, ya que pudiera ser un indicativo de que dichas plantas están en simbiosis con hongos endófitos y está generando metabolitos secundarios que les posibilita su adaptación ambiental y supervivencia (Moghaddam et al., 2022).

Hongos endófitos presentes en plantas de climas tropicales. Las plantas de estas regiones son consideradas como reservorio de endófitos que aún están por descubrirse. Entre los taxones estudiados de especies vegetales destacan las Poaceae, Solanaceae, Fabaceae, Brassicaceae, Curcubitaceae, Asteraceae (Hamzah et al., 2018; Liu-Xu et al., 2022). Algunos hongos endófitos que presentaron algún beneficio a su hospedadora encontrados en plantas de climas tropicales se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Hongos endófitos aislados en especies vegetales de zonas climáticas tropicales

Hongo endófito	Hospedero	Beneficio	Fuente
<i>Aspergillus niger</i>	Girasol y soya	Tolerancia al estrés por altas temperaturas	Ismail et al. 2020
<i>Yarrowia lipolytica</i>	Maíz	Tolerancia a salinidad	Gul et al. (2019)
<i>Trichoderma harzianum</i>	Tomate	Producción de metabolitos, actividad	Bader et al. (2020)
<i>Trichoderma</i> sp.	Canola	contra <i>Fusarium oxysporum</i>	Chhipa & Deshmukh (2019)
<i>Metarhizium robertsii</i>	Inoculada en plantas	Promotor vegetal	Alengebawy et al (2021)
<i>Cephalosporium acremonium</i>	Plantas recolectadas en campos agrícolas	Actividad antimicrobiana	Farhat et al (2019)
<i>Fusarium solani</i>		Producción de monocerina	
<i>Aspergillus sojae</i>	<i>Plectranthus amboinicus</i>	Biocontrol de <i>Spodoptera litura</i>	Elango et al. (2020)

CONCLUSIÓN

Los endófitos tienen un papel crucial en las gramíneas, al inducir a respuestas a las plantas a través de la generación de metabolitos secundarios y enzimas. De esta forma, representan una buena alternativa para mejorar la sostenibilidad agrícola y la salud del medio ambiente, siempre que pudieran sustituir o aminorar el uso de agroquímicos. Además, estos microorganismos sintetizan compuestos que promueven el crecimiento vegetal, como auxinas y citoquininas, y protegen a las plantas contra patógenos mediante la producción de antibióticos naturales y otros metabolitos secundarios. Por otro lado, algunos endófitos han sido bioprospectados por su capacidad para degradar contaminantes ambientales, contribuyendo así a la biorremediación. Por lo tanto, el uso de endófitos en la agricultura puede representar una gran estrategia para el aprovechamiento sostenible, al mejorar la resiliencia de los cultivos frente a condiciones adversas, promoviendo prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente. México, con su gran diversidad de ecosistemas, posee gramíneas arvenses que pueden ser una fuente importante de metabolitos secundarios mediados por endófitos, por lo que es de gran importancia profundizar en su estudio, desde la identificación de los microorganismos hasta la comprensión de los mecanismos de transmisión que posibiliten su inoculación y crecimiento estable en aquellas especies a las que se les desee conferir nuevos atributos de resistencia.

REFERENCIAS

- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), 42.
- Bader, A. N., Salerno, G. L., Covacevich, F., & Consolo, V. F. (2020). Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3-acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of King Saud University–Science*, 32(1), 867–873.
- Bhardwaj, M., Kailoo, S., Khan, R. T., Khan, S. S., & Rasool, S. (2023). Harnessing fungal endophytes for natural management: A biocontrol perspective. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1280258.
- Cheplick, G. P., & Stanley, H. F. (2009a). Chapter 5: Evolutionary ecology of grass–endophyte interactions. En *Ecology and Evolution of the Grass–Endophyte Symbiosis* (pp. 102–144). Oxford Academic.
- Cheplick, G. P., & Stanley, H. F. (2009b). Introduction: The grass–endophyte symbiosis. En *Ecology and Evolution of the Grass–Endophyte Symbiosis* (pp. 3–17). Oxford Academic.
- Chhipa, H., & Deshmukh, S. K. (2019). Fungal endophytes: Rising tools in sustainable agriculture production. En S. Jha (Ed.), *Endophytes and secondary metabolites* (pp. 1–24). Springer International Publishing.
- Clay, K., & Schardl, C. (2002). Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *The American Naturalist*, 160(S4), S99–S127.
- Dusingize, M. C., Mutimura, M., Mutai, C., & Ghimire, S. (2020). Diversity of fungal endophytes associated with Rwandan *Brachiaria* ecotypes (*Brachiaria* spp). *Rwanda Journal of Agricultural Sciences*, 2(1), 20–32.
- Elango, D., Manikandan, V., Jayanthi, P., Velmurugan, P., Balamuralikrishnan, B., & Ravi. (2020). Selection and characterization of extracellular enzyme production by an endophytic fungi *Aspergillus sojae* and its bio-efficacy analysis against cotton leaf worm, *Spodoptera litura*. *Current Plant Biology*, 23, 100153.
- Farhat, H., Urooj, F., Tariq, A., Sultana, V., Ansari, M., & Ahmad, V. U. (2019). Evaluation of antimicrobial potential of endophytic fungi associated with healthy plants and characterization of compounds produced by endophytic *Cephalosporium* and *Fusarium solani*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18, 101043.
- Fernandes, E. G., Pereira, O. L., da Silva, C. C., Bento, C. B., & de Queiroz, M. V. (2015). Diversity of endophytic fungi in *Glycine max*. *Microbiological Research*, 181, 84–92.
- Fite, T., Kebede, E., Tefera, T., & Bekeko, Z. (2023). Endophytic fungi: Versatile partners for pest biocontrol, growth promotion, and climate change resilience in plants. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1322861.
- Galindo-Solís, J. M., & Fernández, F. J. (2022). Endophytic fungal terpenoids: Natural role and bioactivities. *Microorganisms*, 10(2), 339.
- García-Latorre, C., Rodrigo, S., Marín-Félix, Y., Stadler, M., & Santamaría, O. (2023). Actividad promotora del crecimiento vegetal de tres hongos endófitos aislados de plantas que viven en dehesas y su efecto sobre *Lolium multiflorum*. *Scientific Reports*, 13, 7354.
- Gul, J. F., Hamayun, M., Hussain, A., Jan, G., Iqbal, A., & Khan, A. (2019). An endophytic isolate of the fungus *Yarrowia lipolytica* produces metabolites that ameliorate the negative impact of salt stress on the physiology of maize. *BMC Microbiology*, 19(1), 1–10.
- Hamzah, T. N. T., Lee, S. Y., Hidayat, A., Terhem, R., Faridah-Hanum, I., & Mohamed, R. (2018). Diversity and characterization of endophytic fungi isolated from the tropical mangrove species *Rhizophora mucronata*, and identification of potential antagonists against the soil-borne fungus *Fusarium solani*. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1707.
- Hassanein, N. M., El-Gendy, M. M., & Abdelhameed, N. M. (2020). Molecular typing, biodiversity, and biological control of endophytic fungi of *Triticum aestivum* L. against phytopathogenic fungi of wheat. *BioTechnology*, 101(4), 283–299.
- Ismail, H., Hamayun, M., Hussain, A., Iqbal, A., Khan, S. A., & Lee, I. J. (2020). *Aspergillus niger* boosted heat stress tolerance in sunflower and soybean via regulating their metabolic and antioxidant system. *Journal of Plant Interactions*, 15(1), 223–232.
- Kaur, G., Patel, A., Dwibedi, V., & Rath, S. K. (2023). Harnessing the action mechanisms of microbial endophytes for enhancing plant performance and stress tolerance: Current understanding and future perspectives. *Archives of Microbiology*, 205(9), 303.

- Khan, A. L., Hussain, J., Al-Harrasi, A., Al-Rawahi, A., & Lee, I. J. (2013). Endophytic fungi: Resource for gibberellins and crop abiotic stress resistance. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(1), 62–74.
- Khiralla, A., Spina, R., Yagi, S., Mohamed, I., & Laurain-Mattar, D. (2016). Endophytic fungi: Occurrence, classification, function and natural products. En E. Hughes (Ed.), *Endophytic fungi: Diversity, characterization and biocontrol* (pp. 1–19). Nova Publishers.
- Lachu, K., Kamle, M., Borah, R., Tiwari, B., & Kumar, P. (2022). Endophytic bacteria: Application against biotic and abiotic stresses and plant health improvements for sustainable agriculture. En A. K. Singh, V. Tripathi, A. K. Shukla, & P. Kumar (Eds.), *Bacterial endophytes for sustainable agriculture and environmental management* (pp. 1–21). Springer.
- Liu-Xu, L., Vicedo, B., García-Agustín, P., & Llorens, E. (2022). Advances in endophytic fungi research: A data analysis of 25 years of achievements and challenges. *Journal of Plant Interactions*, 17(1), 244–266.
- Mane, R., & Vedamurthy, A. (2018). The fungal endophytes: Sources and future prospects. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 6(2), 121–126.
- Malicka, M., Magurno, F., & Piotrowska-Seget, Z. (2022). Plant association with dark septate endophytes: When the going gets tough (and stressful), the tough fungi get going. *Chemosphere*, 302, 134830.
- Moghaddam, M., Safaie, N., Rahimlou, S., & Hagh-Doust, N. (2022). Inducing tolerance to abiotic stress in *Hordeum vulgare* L. by halotolerant endophytic fungi associated with salt lake plants. *Frontiers in Microbiology*, 13, 906365.
- Petrini, O. (1991). Fungal endophytes of tree leaves. En J. H. Andrews & S. S. Hirano (Eds.), *Microbial ecology of leaves* (pp. 179–197). Springer.
- Rana, K. L., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A. N., Yadav, N., Dhaliwal, H. S., & Saxena, A. K. (2020). Endophytic microbes: Biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. *Antonie van Leeuwenhoek*, 113, 1075–1107.
- Rodriguez, R. J., White, J. F. Jr., Arnold, A. E., & Redman, R. S. (2009). Fungal endophytes: Diversity and functional roles. *New Phytologist*, 182, 314–330.
- Rojas-Jiménez, K., Hernández, M., Blanco, J., Vargas, L. D., Acosta-Vargas, L. G., & Tamayo, G. (2016). Richness of cultivable endophytic fungi along an altitudinal gradient in wet forests of Costa Rica. *Fungal Ecology*, 20, 124–131.
- Rosling, A., Eshghi Sahraei, S., Kalsoom Khan, F., Desirò, A., Bryson, A. E., Mondo, S. J., Grigoriev, I. V., Bonito, G., & Sánchez-García, M. (2024). Evolutionary history of arbuscular mycorrhizal fungi and genomic signatures of obligate symbiosis. *BMC Genomics*, 25, 529.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., Parihar, R. D., & Dar, O. I. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1, 1446.
- Toghueo, R., Sahal, D., & Boyom, F. (2020). Recent advances in inducing endophytic fungal specialized metabolites using small molecule elicitors including epigenetic modifiers. *Phytochemistry*, 174, 112338.
- Zhao, Y., Cui, J., Liu, M., & Zhao, L. (2020). Progress on terpenoids with biological activities produced by plant endophytic fungi in China between 2017 and 2019. *Natural Product Communications*, 15(7).
- Zheng, Y. K., Qiao, X. G., Miao, C. P., Liu, K., Chen, Y. W., Xu, L. H., & Zhao, L. X. (2016). Diversity, distribution and biotechnological potential of endophytic fungi. *Annals of Microbiology*, 66, 529–542.

Actividades asociadas al manglar: dinámicas locales de uso y conservación en la costa de Tabasco, México

Carlos Alberto Martínez-Márquez^{1*}, Ángel Sol-Sánchez², Juan Manuel Zaldívar-Cruz²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental El Palmar Tezonapa 95080, Veracruz, México. ²Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Periférico Carlos Molina Km 3.5. Ranchería Río Seco y Montaña-Cárdenas Tabasco *Autor para correspondencia: martinez.carlos@inifap.gob.mx

Recibido: 02/11/25; Aceptado: 05/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Los manglares son ecosistemas esenciales para el bienestar de los habitantes de las zonas costeras, quienes poseen conocimiento sobre el uso, aprovechamiento y conservación de este recurso. La investigación se desarrolló en la zona costera del estado de Tabasco, México. Se realizaron 74 entrevistas semiestructuradas. Las actividades asociadas al manglar se identificaron y analizaron a través de estadísticas descriptivas. Se identificaron 15 actividades agrupadas en tres categorías: conservación y manejo, cultural, y productivo. Se evidenció una estrecha relación entre los pobladores locales y el manglar, donde la recolección de madera y leña (100 %) y el aprovechamiento comercial de productos (87.8 %) representan las actividades más frecuentes, constituyendo una fuente esencial de recursos para la subsistencia y la economía doméstica. Las actividades de reforestación (63.5 %) y mantenimiento hidrológico (51.3 %) reflejan un compromiso local con la conservación y restauración del ecosistema. El turismo (24.3%) y las actividades educativas o científicas (21.6%) destacan por su potencial para diversificar la economía local y fortalecer la conciencia ambiental. Se observó una mayor participación de los adultos en las actividades productivas y de manejo en comparación con los adultos mayores, lo que sugiere una transición generacional en la interacción humana con el manglar, donde convergen prácticas tradicionales con enfoques emergentes de conservación y uso sostenible. Es indispensable fortalecer las estrategias de manejo sostenible mediante la integración de saberes locales, educación ambiental y políticas públicas incluyentes, consolidando el papel de las comunidades como agentes activos en la protección y conservación de los manglares.

Palabras clave: coexistencia, conocimiento tradicional, aprovechamiento sustentable, percepción.

ABSTRACT

Mangroves are essential ecosystems for the well-being of coastal inhabitants, who possess knowledge regarding the use, management, and conservation of this resource. The research was conducted along the coastal zone of the state of Tabasco, Mexico. A total of 74 semi-structured interviews were carried out. Activities associated with mangroves were identified and analyzed using descriptive statistics. Fifteen activities were identified and grouped into three categories: conservation and management, cultural, and productivity. A close relationship between residents and mangroves was evident, where wood and firewood collection (100%) and the commercial use of mangrove products (87.8%) represent the most frequent activities, serving as an essential source of livelihood and household income. Reforestation (63.5%) and hydrological maintenance (51.3%) activities reflect a strong local commitment to the conservation and restoration of the ecosystem. Tourism (24.3%) and educational or scientific activities (21.6%) stand out for their potential to diversify the local economy and strengthen environmental awareness. Greater participation of adults was observed in productive and management activities compared to older adults, suggesting a generational transition in human interaction with mangroves where traditional practices converge with emerging approaches to conservation and sustainable use. Strengthening sustainable management strategies through the integration of local knowledge, environmental education, and inclusive public policies is essential to consolidate the role of communities as active agents in the protection and conservation of mangroves.

Key words: coexistence, traditional knowledge, sustainable use, perception.

INTRODUCCIÓN

Los manglares son ecosistemas esenciales para el desarrollo y funcionamiento de las zonas costeras (Herrera-Silveira et al., 2020). Desempeñan un papel clave en la provisión de recursos maderables, en el mantenimiento de hábitats para numerosas especies, en la acumulación de sedimentos, carbono y nutrientes, así como en la protección contra la erosión, y la amortiguación de eventos extremos, contribuyendo con ello a la estabilidad costas y riberas de los ríos (Rosli et al., 2023). Su carácter multifuncional los convierte en fuentes de provisión de recursos y servicios ecosistémicos indispensables para el sustento local y la economía nacional (Fernandes et al., 2018; Faridah-Hanum et al., 2019). Los manglares proporcionan un hábitat para una amplia diversidad biológica, incluidos los humanos (Spalding & Leal, 2021), constituyen un elemento fundamental para las comunidades costeras, al representar una fuente económica y un medio de subsistencia (López, 2018; Nyein et al., 2019; Mendoza et al., 2020). A nivel global, este ecosistema abarca aproximadamente 14, 735, 900 ha (Bunting et al., 2022). En México ocupa una superficie de 905, 086 ha de las cuales 49, 225 ha se encuentran en el estado de Tabasco (Velázquez-Salazar et al., 2021).

La interacción entre las comunidades y los manglares se refleja en la diversidad de usos que se les atribuyen: obtención de alimentos, leña, postes, materiales de construcción, medicamentos, muebles y otros bienes comercializables (Basáñez et al., 2006; Mafaziya et al., 2023). De manera recíproca, las comunidades locales participan en acciones de protección y restauración de estos ecosistemas, motivadas por la conciencia de los beneficios que obtienen de ellos y del papel que desempeñan en la mejora de su bienestar y medios de vida (Gómez-Ruiz et al., 2022; Treviño, 2022). El conocimiento tradicional acumulado y transmitido por generaciones ha permitido establecer una relación estrecha entre las comunidades locales y los recursos naturales que utilizan (Inta et al., 2013; Olea-Reséndiz et al., 2022). Desde sus orígenes, el ser humano ha transformado el entorno natural mediante actividades que se expresan territorialmente, por lo que resulta indispensable comprender dichas interacciones para promover un uso racional de los recursos disponible (Guevara et al., 2015).

La interrelación entre las personas y la naturaleza constituye un componente esencial para enfrentar desafíos globales como la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y la búsqueda de una mejor calidad de vida para las poblaciones humanas. Estas problemáticas están profundamente interconectadas y requieren enfoques integradores desde lo local hasta lo global (Díaz et al., 2019). En este contexto, el conocimiento local sobre los manglares representa un pilar fundamental para su conservación, dado que las comunidades que dependen de estos ecosistemas fungen como sus principales protectoras y administradoras (Spalding & Leal, 2021). La conservación y restauración de los manglares requiere la participación de las comunidades locales (Wali et al., 2017; Spalding & Leal, 2021). En consecuencia, las políticas y estrategias de manejo deben considerar la dependencia de la población rural hacia los recursos forestales, su nivel de vida y su conocimiento local (Nyein et al., 2019). En este sentido, las comunidades, los grupos indígenas y los gobiernos locales se ubican en la primera línea de acción para el manejo y aprovechamiento sustentable de los manglares (Spalding & Leal, 2021). Por tanto, el objetivo fue analizar las actividades realizadas por los pobladores de la costa de Tabasco y su contribución al manejo sustentable del ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estado de Tabasco, México, se localiza entre las coordenadas al norte 18° 39' 03", al sur 17° 15' 03" de latitud norte; al este 90° 59' 15" y al oeste 94° 07' 48" de longitud oeste, delimita al norte por el Golfo de México y Campeche, al este con Campeche y la República de Guatemala, al sur con Chiapas y al oeste con Veracruz (INEGI, 2024). Entre los ecosistemas más representativos de Tabasco se encuentran: palmar inundable, vegetación hidrófila, y manglar (CONABIO, 2021).

Para identificar las actividades asociadas al manglar primeramente se realizó una visita prospectiva con la finalidad de conocer a la población y plantear el trabajo de investigación a las autoridades

locales; y obtener el apoyo para el desarrollo del proyecto. Se tomó en cuenta a todas las personas que tradicionalmente utilizan el manglar (mangleros) y que cuenten con permisos de aprovechamiento emitidos por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Lo anterior de acuerdo con Quintana-Peña (2006) donde menciona que se debe tener como criterio para el análisis aquellos que están ligados al problema objeto de estudio. Para la determinar el número de personas a entrevistar se utilizó el tamaño de muestra ('n'), de acuerdo a Tamayo (2003) este se determina por el grado de precisión requerido y el error de muestreo tolerable, donde el error de muestreo debe ser relativamente pequeño. Por tanto, el tamaño de la muestra se calculó según lo convenido por Aguilar-Barojas (2005), como resultado se determinó realizar 74 entrevistas. Para la realización de cada entrevista se pidió en el consentimiento a los informantes y se aseguró la confidencialidad de cada uno de ellos. Las entrevistas se llevaron a cabo de forma semiestructuradas. Ya que como menciona Díaz-Bravo et al. (2013) y Tejero (2021), estas ofrecen una flexibilidad justa, logrando obtener interpretaciones coherentes con los objetivos investigación. Además, se realizaron visitas y observaciones directas a los manglares para enriquecer la información. Para el análisis, primeramente, se agruparon en grupos etarios adultos (menor de 64 años) y adultos mayores (65 años en adelante). Seguidamente se identificaron las actividades asociadas al manglar y se agruparon y organizaron en una base de datos utilizando Microsoft Excel 2010. Para evaluar la relación las actividades y las personas, se emplearon estadísticas descriptivas. Todos los análisis se realizaron con el software RStudio (versión 4.5.1 para Windows).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 15 actividades asociadas al ecosistema de manglar, agrupadas en tres categorías: cuatro en la categoría conservación y manejo (CO), cinco en la categoría cultural (CS) y seis en la productivo (PR) (Cuadro 1), lo cual evidencia un amplio potencial para su aprovechamiento sustentable. Debido a que los manglares son ecosistemas multifuncionales que proporcionan bienes y servicios ambientales fundamentales para comunidades humanas (Herrera & Carbal, 2015; García & Cortes 2018; Faridah-Hanum et al., 2019)

Cuadro 1. Actividades asociadas al manglar

Categoría	Actividad	Descripción
Conservación y manejo (CO)	Reforestación de manglares (RM)	Establecimiento o restauración de áreas degradadas mediante la plantación de especies de mangle.
	Mantenimiento hidrológico de canales (MH)	Desazolve y manejo de canales naturales o artificiales para mejorar la circulación del agua y la conectividad hidrológica.
	Remoción de residuos sólidos (RR)	Retiro de basura inorgánica (plásticos, botellas, bolsas, entre otros.) para reducir la contaminación y preservar la calidad ambiental.
Cultural (CS)	Producción de plántulas en vivero (PP)	Propagación ex situ de especies de mangle para programas de restauración.
	Turismo (TE)	Valoración del manglar como atractivo para visitantes, ecoturismo o actividades recreativas.
	Belleza escénica (BE)	Apreciación del paisaje, belleza escénica y entorno natural del ecosistema.
	Esparcimiento (ES)	Actividades de esparcimiento o contacto con la naturaleza en zonas de manglar.

Categoría	Actividad	Descripción
Productivo (PR)	Experiencia espiritual asociada al manglar (EE)	Relación simbólica, espiritual o religiosa que la comunidad establece con el ecosistema.
	Educativo o científico (EC)	Actividades de educación ambiental, investigación o aprendizaje en el ecosistema.
	Aprovechamiento comercial de productos del manglar (AC)	Actividades productivas que generan recursos económicos para las familias, incluyendo empleo, comercio, pesca, apicultura o venta de productos derivados.
	Recolección de madera y leña de manglar (ML)	Extracción controlada o informal de madera y leña para uso doméstico o comercial
	Obtención de recursos para la medicina tradicional (MT) Alimentación animal (AA)	Empleo tradicional con fines terapéuticos. Aprovechamiento del manglar o zonas adyacentes como fuente de forraje o pastoreo.
	Obtención de alimentos (recursos pesqueros o fauna silvestre ocasional) (OA)	Uso de canales y zonas del manglar como fuente de peces, moluscos, crustáceos o alguna fauna silvestre para autoconsumo o venta.
	Producción apícola (PA)	Aprovechamiento para la producción de miel.

Dentro de la categoría de conservación y manejo (CO), se observó una marcada preocupación de la población local por mantener el manglar en condiciones adecuadas. El 63.51% participa en actividades de reforestación (RM), el 51.35% en el mantenimiento hidrológico de canales (MH) (Figura 1). Estas acciones son fundamentales para la recuperación ecológica y funcional del ecosistema, al favorecer el restablecimiento de los flujos hidrológicos naturales y la regeneración de la vegetación. De acuerdo con Fernandes et al. (2018), la rehabilitación de los manglares representa una herramienta esencial para la restauración y mantenimiento de los recursos naturales asociados a este ecosistema. Asimismo, dichas actividades constituyen prácticas consolidadas dentro de las comunidades locales (Faridah-Hanum et al., 2019; Gallup et al., 2020), reflejando el compromiso de los habitantes con la conservación de su entorno natural. Como menciona Teutli-Hernández et al. (2021), se debe de contar con la participación de la comunidad lo cual permita identificar canales naturales, así como para el desazolve de canales de manera compatible con la dinámica del ecosistema. De igual forma, las iniciativas de reforestación impulsados por las comunidades, en colaboración con instituciones gubernamentales, académicas, y organizaciones no gubernamentales, han demostrado ser efectivos para recuperar la cobertura del manglar y fortalecer su función protectora frente a fenómenos climáticos extremos (Qurniati et al., 2024). En este sentido, Fuentes et al. (2024) destacan que las acciones de reforestación integradas a estrategias de educación ambiental y manejo sostenible son esenciales para prevenir la pérdida del manglar y garantizar la continuidad de sus servicios ecosistémicos. Las actividades de reforestación y mantenimiento hidrológico reflejan una apropiación comunitaria del ecosistema y un compromiso tangible con su conservación a largo plazo.

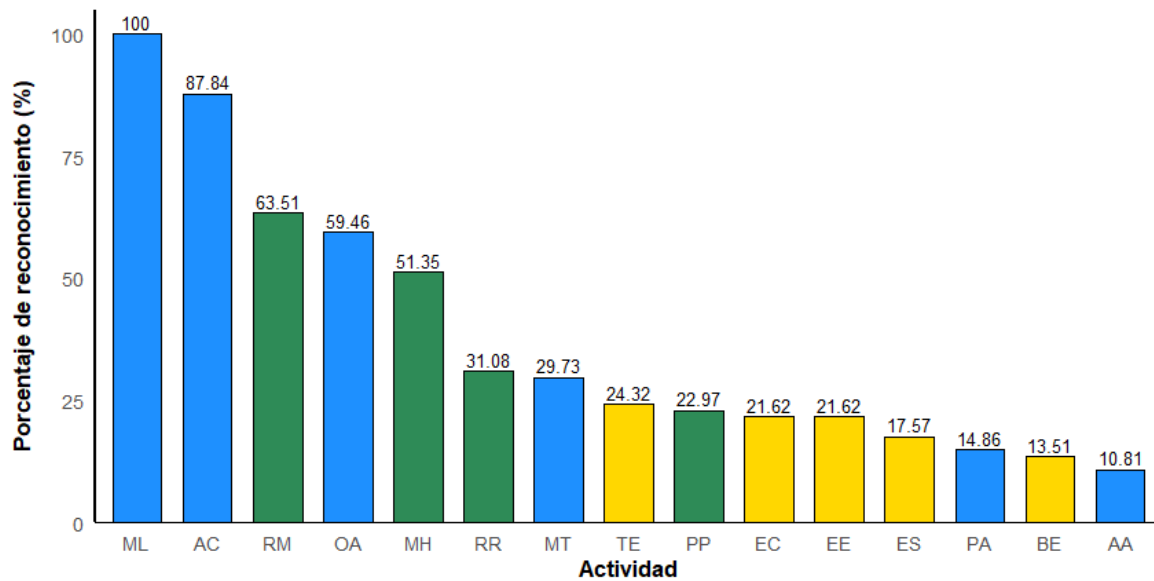


Figura 1. Actividades asociadas al manglar. Donde el color azul es la categoría (PR) el color verde es la categoría (CO) y el color amarillo es la categoría (CS)

En relación con la categoría cultural y social (CS), se observó que el mayor porcentaje correspondió al turismo (TE) con 24.32 % (Figura 1). Esta actividad debe desarrollarse en áreas donde los manglares se encuentren en mejores condiciones ecológicas, de modo que resulten atractivos para el turismo nacional e internacional (Carbal et al., 2015). Además, este tipo de actividades generan ingresos económicos para la población organizada (Carbal et al., 2015; Gnansounou et al., 2021), contribuyendo a diversificar las fuentes de ingreso, promover la educación ambiental y fortalecer la conservación de estos ecosistemas (Fahrian et al., 2015; Affandy et al., 2016; Treviño, 2022). En este sentido, es fundamental que dichas actividades se orienten hacia un modelo ecoturístico responsable, que priorice la protección de los manglares y la participación comunitaria, sin comprometer este ecosistema para las generaciones futuras. La actividad educativa o científica (EC) representó el 21.62 %, lo que subraya la necesidad de fortalecer este tipo de esfuerzos y ampliar estas iniciativas. Tal como señalan Sugandini et al. (2017), el incremento del conocimiento ambiental y del sentido de responsabilidad hacia el entorno contribuye a generar comportamientos más favorables hacia la conservación. Por tanto, las acciones educativas y científicas resultan esenciales para consolidar la conciencia ambiental y reafirmar el valor de los manglares como parte fundamental de la identidad y del bienestar de las comunidades costeras.

Para la categoría productivo (PR), la recolección de madera y leña de manglar (ML) alcanzó el 100 % (Figura 1), lo cual evidencia su relevancia para las personas locales, donde la leña continúa siendo la principal fuente de energía doméstica, principalmente para cocinar sus alimentos (Adanguidi et al., 2020; Gnansounou et al., 2021). Además, la extracción de madera tiene diversos usos, como postes para cercas, corrales, muebles o materiales de construcción (Hernández & Morales, 2009; Fernandes et al., 2018; Faridah-Hanum et al., 2019; Gallup et al., 2020), gracias a las propiedades físicas que la hacen apta para estos fines (Walters, 2005; Nyein et al., 2019). Así mismo, el aprovechamiento comercial de productos del manglar (AC) fue mencionado por el 87.84 %, lo que confirma su papel esencial en la economía doméstica y comunitaria. Este resultado coincide con lo reportado por Aye et al. (2019) y Mitra (2020), quienes señalan que el sustento de las poblaciones locales depende en gran medida de los recursos provenientes del manglar. De manera similar, Faridah-Hanum et al. (2019) y Bravo (2022) destacan que estos ecosistemas sustentan múltiples actividades socioeconómicas y generan empleos a nivel local. Ya que como menciona Del Cid-Alvarado et al.

(2024), los servicios ecosistémicos de provisión que ofrecen los manglares constituyen un componente clave en las estrategias de sustento económico de las comunidades que interactúan con este ecosistema.

En cuanto al reconocimiento de las actividades asociadas al manglar por grupo de edad, los entrevistados presentaron edades entre 37 y 85 años. Al agruparlos, se identificaron 45 adultos (60.81%) con edades entre 37 y 64 años, y 29 adultos mayores (39.18%) entre 65 y 85 años. El grupo de adultos mostró mayores niveles de reconocimiento de las actividades vinculadas al manglar en comparación con los adultos mayores. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Garekae et al. (2017), quienes encontraron que las personas más jóvenes tienden a involucrarse con mayor frecuencia en la extracción y aprovechamiento de recursos debido a su energía física. De manera similar, Htun et al. (2017) observaron que los hogares más jóvenes dependen en mayor medida de los recursos forestales, especialmente en contextos donde existen limitadas alternativas laborales, lo cual coincide con la mayor participación de adultos en actividades de recolección y mantenimiento observadas en este estudio.

Entre las actividades más reconocidas por ambos grupos destacan el aprovechamiento comercial de productos del manglar (AC), con valores de promedios de 0.89 para adultos mayores y 0.87 para adultos, y la recolección de madera y leña (ML), con valor de 1.00 en ambos casos (Figura 2). Este patrón concuerda con lo señalado por Atheull et al. (2009), quienes documentaron que la venta de madera de manglar representa la principal fuente de ingresos para los leñadores de manglar. Por su parte, Nyangoko et al. (2022) identificaron a la leña y los materiales de construcción como los productos más extraídos en manglares, lo que reafirma la importancia económica de estas actividades para la subsistencia local.

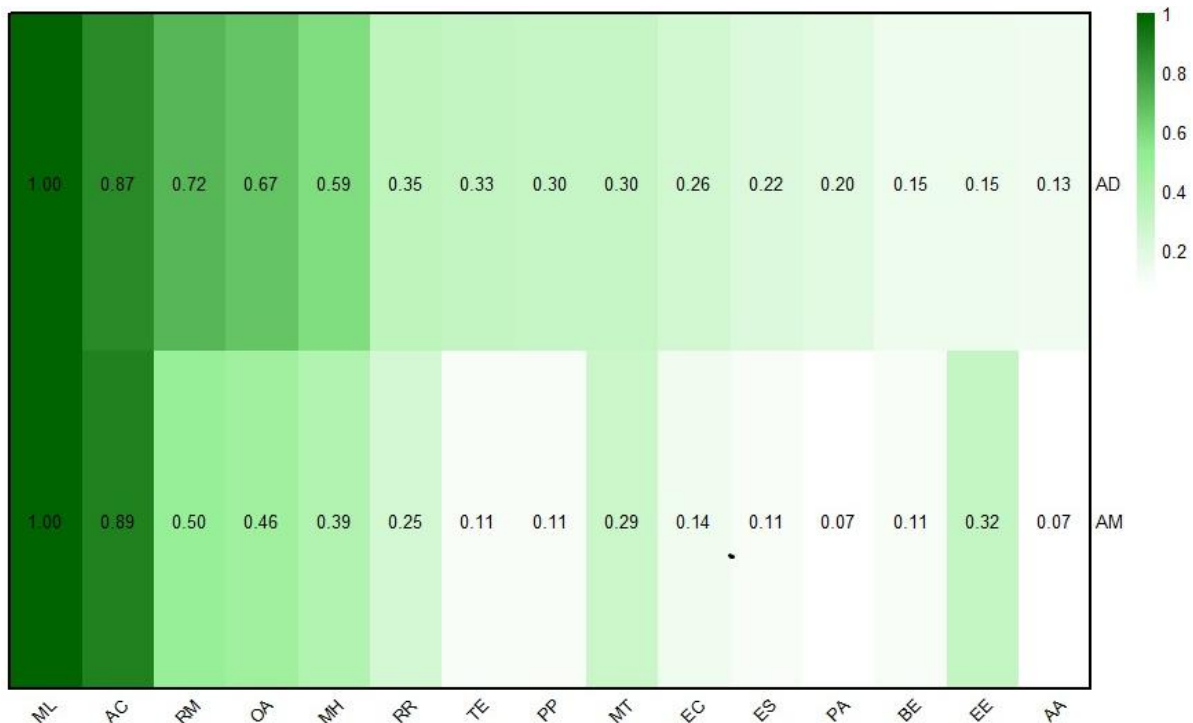


Figura 2. Reconocimiento de actividades asociadas al manglar por grupo de edad. Donde AD son los adultos y AM son los adultos mayores.

Se observaron diferencias en actividades como la reforestación de manglares (RM), la obtención de alimentos (recursos pesqueros o fauna silvestre ocasional) (OA), donde los adultos reportaron valores promedio más altos (0.72 y 0.67) que los adultos mayores (0.50, 0.46, respectivamente) (Figura 2).

Este comportamiento puede explicarse por la naturaleza física de dichas labores, que requieren esfuerzo y movilidad, lo cual limita la participación de las personas mayores. En el caso de la reforestación, la mayor participación de los adultos puede estar relacionado con su involucramiento reciente en programas de restauración ambiental. De acuerdo con Del Cid-Alvarado et al. (2024) existe preferencia por la reforestación como estrategia para recuperar zonas de manglar, demostrando un fuerte respaldo a las iniciativas de restauración proactivas destinadas a rejuvenecer estos ecosistemas. Por su parte, Suleiman et al. (2017) destacan que, conforme incrementa la edad, la participación en la recolección de productos forestales no maderables tiende a disminuir.

Estas diferencias sugieren que las generaciones más jóvenes mantienen una relación más activa y diversa con el manglar, posiblemente derivada de su participación en programas productivos y de manejo ambiental. Esto indica que no solo participan en actividades extractivas, sino también en acciones orientadas al manejo sostenible del ecosistema. Sin embargo, los adultos mayores desempeñan un papel relevante al compartir sus conocimientos y experiencias, lo que contribuye a la transmisión intergeneracional del saber ecológico tradicional y al fortalecimiento de la gestión comunitaria del manglar.

CONCLUSIÓN

Las poblaciones locales costeras de Tabasco mantienen una relación estrecha y multifuncional con el ecosistema de manglar, sustentada en actividades de conservación, uso cultural y aprovechamiento productivo. Las categorías analizadas evidencian una clara integración entre la dependencia económica y el conocimiento tradicional, donde la extracción de leña y madera, junto con el aprovechamiento comercial de productos del manglar, constituyen pilares para el sustento local. Al mismo tiempo, se observa una creciente participación en acciones de conservación y manejo como la reforestación y mantenimiento hidrológico, lo que refleja una conciencia ambiental en expansión y un compromiso local con la restauración del ecosistema. Las diferencias observadas entre grupos de edad revelan una dinámica intergeneracional en la que los adultos presenta una mayor participación en actividades vinculadas al manglar en comparación con los adultos mayores. Esto puede explicarse por la naturaleza físicamente demandante y en algunos casos, riesgosa de dichas labores, así como por la necesidad de mantener un vínculo activo con el ecosistema para garantizar el sustento familiar.

Fortalecer las estrategias de manejo sostenible requiere integrar saberes locales, educación ambiental y políticas públicas incluyentes que promuevan el uso racional de los recursos. El manglar no solo representa una fuente de bienes materiales, sino también un componente clave de la identidad, la cultura y la resiliencia social de las comunidades costeras. Su conservación debe asumirse como una prioridad estratégica para garantizar la seguridad ecológica y socioeconómica de las poblaciones que dependen de este ecosistema. El manglar, por su enorme valor ecológico y económico, debe ser reconocido como un sistema que provee múltiples beneficios esenciales para la vida cotidiana de las comunidades locales. Aporta alimento, combustible, medicinal, material de construcción utilizados tanto para el autoconsumo como para la venta a pequeña escala, contribuyendo de manera significativa a la economía familiar. Por lo cual resulta indispensable fortalecer las políticas públicas y los programas participativos que integren las dimensiones social, económica y ecológica del manglar, asegurando su conservación y aprovechamiento sustentable como un componente vital del bienestar costero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los productores de mangles (mangleros) de la costa de Tabasco, México por su tiempo y permitir la realización de las entrevistas y proporcionar información para el estudio, así como por la oportunidad de acceder a sus predios.

REFERENCIAS

- Adanguidi, J., Padonou, E. A., Zannou, A., Houngbo, S. B., Saliou, I. O., & Agbahoungba, S. (2020). Fuelwood consumption and supply strategies in mangrove forests—Insights from RAMSAR sites in Benin. *Forest Policy and Economics*, 116, 102192.
- Affandy, B., Setiawan, A., & Duryat, D. (2016). Potensi wisata alam di Pematang Tanggang desa negeri Kecamatan Kelumbayan kabupaten Tanggamus. *Jurnal Sylva Lestari*, 4(1), 41–50.
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1–2), 333–338.
- Atheull, A. N., Din, N., Longonje, S. N., Koedam, N., & Dahdouh-Guebas, F. (2009). Commercial activities and subsistence utilization of mangrove forests around the Wouri estuary and the Douala-Edea reserve (Cameroon). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 5, 35.
- Aye, W. N., Wen, Y., Kim, M., Thapa, S. B., & Tun, A. W. (2019). Contribution of mangrove forest to the livelihood of local communities in Ayeyarwaddy region, Myanmar. *Forests*, 10(5), 414.
- Basáñez, M. A., Olmedo, P. G., & Rojas, M. P. (2006). Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz. *Revista UDO Agrícola*, 6, 114–120.
- Bravo, Z. D. E. (2022). Environmental economic assessment of the Majagual Mangrove ecosystem in the Cayapas Mataje Ecological Reserve in the province of Esmeraldas in Ecuador. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(1), 1249–1271.
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Hilarides, L., Lucas, R., Thomas, N., Tadono, T., Worthington, T., Spalding, M., Murray, N., & Rebelo, L. M. (2022). Global Mangrove Watch (1996–2020) Version 3.0 Dataset (3.0 [Data set]). Zenodo.
- Carbal, H. A., Muñoz, C. J., & Solar, C. L. (2015). Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales ofertados por el ecosistema de manglar ubicado en la Ciénaga de la Virgen, Cartagena-Colombia. *Saber, ciencia y libertad*, 10(1), 125–145.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021). La biodiversidad en Tabasco: Estudio de Estado. https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_tabasco
- Del Cid-Alvarado, R. J., López, O. R., Rodríguez-González, P. M., & Feás-Vázquez, J. (2024). Social perception and engagement in mangrove restoration: A case study in Central America. *Land*, 13(11), 1783.
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Agard, J., Arneeth, A., ... & Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366, eaax3100.
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162–167.
- Fahrian, H. H., Putro, S. P., & Muhammad, F. (2015). Potensi ekowisata di kawasan mangrove Desa Mororejo, Kabupaten Kendal. *J. Biosaintifika*, 7(2), 104–111.
- Faridah-Hanum, I., Yusoff, F. M., Fitrianto, A., Ainuddin, N. A., Gandaseca, S., Zaiton, S., ... & Harun, N. Z. N. (2019). Development of a comprehensive mangrove quality index (MQI) in Matang Mangrove: Assessing mangrove ecosystem health. *Ecological Indicators*, 102, 103–117.
- Fernandes, M. E. B., Pereira, O. F., & Eyzaguirre, I. A. L. (2018). Mangroves on the Brazilian Amazon coast: Uses and rehabilitation. En C. Makowski & C. W. Finkl (Eds.), *Threats to mangrove forests: Hazards, vulnerability, and management* (pp. 621–635). Springer.
- Fuentes, C. G. J., Sánchez, S. O., & López-Portillo, J. (2024). Percepción socioambiental de la comunidad de Barra de Chachalacas sobre el manglar de la Laguna Cabana, municipio de la Antigua, Veracruz. *Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan*, 12(2), 147–159.
- Gallup, L., Sonnenfeld, D. A., & Dahdouh-Guebas, F. (2020). Mangrove use and management within the Sine-Saloum Delta, Senegal. *Ocean & Coastal Management*, 185, 105001.
- García-M., Y., & Cortes, C. D. V. (2018). Estado de conservación de los manglares del Caribe colombiano y su potencial en productos forestales no maderables. *CITAS*, 4(1), 95–103.
- Garekae, H., Thakadu, O. T., & Lepetu, J. (2017). Socio-economic factors influencing household forest dependency in Chobe enclave, Botswana. *Ecological Processes*, 6, 40.
- Gnansounou, S. C., Toyi, M., Salako, K. V., Ahossou, D. O., Akpona, T. J. D., Gbedomon, R. C., ... & Kakaï, R. G. (2021). Local uses of mangroves and perceived impacts of their degradation in Grand-Popo municipality, Benin. *Trees, Forests and People*, 4, 100080.

- Gómez-Ruiz, P. A., Betancourth-Buitrago, R. A., Arteaga-Cote, M., Carbajal-Borges, J. P., Teutli-Hernández, C., & Laffon-Leal, S. (2022). Fostering a participatory process for ecological restoration of mangroves in Pantanos de Centla Biosphere Reserve (Tabasco, México). *Ecosystems and People*, 18, 112–118.
- Guevara, R. M. L., Téllez, M. M. B. R., & Flores, L. M. D. L. (2015). Sustainable use of natural resources from the perspective of indigenous communities: Sierra Norte of Puebla. *Nova Scientia*, 7(14), 511–537.
- Hernández, G. J., & Morales, D. A. (2009). Aprovechamiento y problemáticas de los manglares en el ejido Potrerillo, Centla, Tabasco, México. *Herreriana Revista de Divulgación de la Ciencia*, 5(2), 14–15.
- Herrera, A. C., & Carbal, J. M. (2015). Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales ofertados por el ecosistema de manglar ubicado en la Ciénaga de la Virgen, Cartagena-Colombia. *Saber, ciencia y libertad*, 10(1), 125–145.
- Herrera-Silveira, J. A., Teutli-Hernández, C., Gómez, R. P. A., & Comín, F. (2020). Restauración ecológica de manglares de México. En E. Rivera-Arriaga et al. (Eds.), *Gobernanza y manejo de las costas y mares ante la incertidumbre* (pp. 649–674). Universidad Autónoma de Campeche.
- Htun, T. T., Wen, Y., & Ko, K. A. C. (2017). Assessment of forest resources dependency for local livelihood around protected area: A case study in Popa Mountain Park, Central Myanmar. *International Journal of Sciences*, 6(1), 34–43.
- INEGI. (2024). Aspectos geográficos de Tabasco: Compendio 2022. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Ina, A., Trisonthi, P., & Trisonthi, C. (2013). Analysis of traditional knowledge in medicinal plants used by Yuan in Thailand. *Journal of Ethnopharmacology*, 149(1), 344–351.
- López, R. F. V. (2018). Mangrove concessions: An innovative strategy for community mangrove conservation in Ecuador. En C. Makowski & C. W. Finkl (Eds.), *Threats to mangrove forests* (pp. 557–578). Springer.
- Mafaziya, N. T. W. G. F., Ephrem, N., Hugé, J., Kodikara, K. A. S., & Dahdouh-Guebas, F. (2023). Understanding the ethnobiological importance of mangroves to coastal communities: A case study from Sri Lanka. *Policy*, 147, 105391.
- Mendoza, A. H. E., Barreto, P. Á. E., Morla, P. J. C., Mera, C. P., & López, B. E. J. (2020). Valoración socioeconómica y ecológica en la dinámica del comercio justo de los usuarios del ecosistema de manglar. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(6), 170–175.
- Mitra, A. (2020). Mangrove forests in India: Exploring ecosystem services. Springer Nature.
- Nyangoko, B. P., Mwanahija, S. S., Mangora, M. M., Gullström, M., & Berg, H. (2022). Socioeconomic determinants of mangrove exploitation and management in Tanzania. *Ecology and Society*, 27(2), 32.
- Nyein, A. W., Wen, Y., Marin, K., Thapa, S., & Tun, A. W. (2019). Contribution of mangrove forest to the livelihood of local communities in Ayeyarwaddy region, Myanmar. *Forests*, 10, 414.
- Olea-Reséndiz, M. J., Segura-Pacheco, H. R., Herrera-Castro, N. D., & Barrera-Catalán, E. (2022). Cultural importance of trees among six rural communities in Guerrero, México. *Etnobiología*, 20(3), 31–45.
- Quintana-Peña, A. (2006). Metodología de investigación científica cualitativa. En A. Quintana & W. Montgomery (Eds.), *Psicología: Tópicos de actualidad* (pp. 47–84). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Qurniati, R., Duryat, D., Darmawan, A., & Inoue, M. (2024). Ecological perspective, perception, and attitude of local communities toward managing mangrove ecosystems in Indonesia. *Small-scale Forestry*, 23, 471–490.
- Rosli, N. N., Majid, N. A., & Selamat, S. N. (2023). Perubahan guna tanah paya bakau di Malaysia: Satu ulasan sistematik. *Geografia - Malaysian Journal of Society and Space*, 19(1), 61–79.
- Spalding, M. D., & Leal, M. (Eds.). (2021). *El estado de los manglares del mundo 2021*. Alianza Global de Manglares.
- Sugandini, D., Rahatmawati, I., & Arundati, R. (2017). Environmental attitude on the adoption decision of mangrove conservation. *Review of Integrative Business and Economics Research*, 7(1), 266–275.
- Suleiman, M. S., Wasonga, V. O., Mbau, J. S., Suleiman, A., & Elhadi, Y. A. (2017). Non-timber forest products and their contribution to household income around Falgore Game Reserve, Nigeria. *Ecological Processes*, 6(23), 1–14.
- Tejero González, J. M. (2021). *Técnicas de investigación cualitativa en los ámbitos sanitario y sociosanitario*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.

- Teutli-Hernández, C., Herrera-Silveira, J. A., Cisneros-de la Cruz, D. J., Arceo-Carranza, D., Canul-Cabrera, A., Robles, T. P. J., ... & Comín, F. A. (2021). Manual para la restauración ecológica de manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Gran Caribe. MAR2R–UNEP, Guatemala.
- Treviño, M. (2022). “The mangrove is like a friend”: Local perspectives of mangrove cultural ecosystem services among users in Ecuador. *Human Ecology*, 50, 863–878.
- Velázquez-Salazar, S., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Alcántara-Maya, J. A., Villeda-Chávez, E., Valderrama-Landeros, L., Troche-Souza, C., ... & Muñoa-Coutiño, J. H. (2021). Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020. CONABIO.
- Wali, A., Alvira, D., Tallman, P. S., Ravikumar, A., & Macedo, M. O. (2017). A new approach to conservation: Using community empowerment for sustainable well-being. *Ecology and Society*, 22(4), 6.
- Walters, B. B. (2005). Patterns of local wood use and cutting of Philippine mangrove forests. *Economic Botany*, 59, 66–76.

The background of the page is a repeating pattern of light brown butterflies and leaves on a cream-colored background. The butterflies are scattered across the page, and the leaves are interspersed among them.

Protección y Producción Vegetal

Características de germoplasma de arroz en condiciones de temporal

Antonio Villalobos-González¹, Mónica Beatriz López-Hernández^{2*}, Leonardo Hernandez-Aragon³, Enrique Arcocha-Gómez², Pedro Salvador-Morales²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Sureste. ²Instituto Tecnológico de China, Campeche. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Pacífico-Sur.

*Autor para correspondencia: monica-lh@china.tecnm.mx

Recibido: 30/08/25; Aceptado: 02/11/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La inestabilidad de la precipitación y el aumento de la temperatura causa efectos significativos y negativos en el rendimiento y sus componentes principales de rendimiento. El objetivo del presente estudio fue evaluar el germoplasma de arroz con base a características agronómicas y componentes principales de rendimiento en el ciclo de primavera-verano en el estado de Campeche. El estudio se desarrolló en los suelos Yax-chom y/o llamados Vertizoles, que agrupo a seis materiales de arroz: INIFLAR RT-1, IR 69915-12MI-15UBN-22, IR8-2, El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2. Se midió la longitud de la panícula (LP, cm) y hoja bandera (LH, cm), el ancho de hoja bandera (AH, cm), número de semillas completas (NSC), vanas (NSV) y totales (NST), peso de semilla completas (PSC, mg) y vanas (PSV, mg) por panícula. Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) y se desarrolló un-Plot. El análisis de varianza arrojó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre genotipos para la LH, AH, LE, NSC, NSV, PSC y PSV, con excepción de NST. IR8-2 y El Silverio-2 presentaron mayor LH con un promedio de 38.5 cm. Mientras que en el AH destacó El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2 con 1.42 cm. Asimismo, IR8-2 y IR 69915-12MI-15UBN-22 presentaron mayor LP con 31.4 cm. Tanto El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2 presentaron mejor comportamiento agronómico en el ciclo de primavera-verano al obtener mayor NSC y PSC por panícula. El análisis componentes principales y de dispersión, permitió visualizar que los genotipos El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2 presentaron mayor asociación con los caracteres medidos. Así mismo, se obtuvo una asociación positiva de NST por panícula con el NSC y PSC por panícula.

Palabras clave: Genotipo, condiciones climáticas, calor, déficit hídrico.

ABSTRACT

Precipitation instability and increased temperature have significant negative effects on yield and its main yield components. The objective of this study was to evaluate rice germplasm based on agronomic characteristics and main yield components during the spring-summer cycle in the state of Campeche. The study was conducted on Yax-chom and/or Vertizol soils, which grouped six rice cultivars: INIFLAR RT-1, IR 69915-12MI-15UBN-22, IR8-2, El Silverio-2, and Tabasqueña A-17-2. Panicle length (PL, cm) and flag leaf length (FL, cm), flag leaf width (FL, cm), number of complete seeds (CSS), empty seeds (ES), and total seeds (TS), whole seed weight (CW, mg), and empty seed weight (WW, mg) per panicle were measured. A principal components analysis (PCA) was applied and a plot was developed. The analysis of variance showed significant differences ($P \leq 0.05$) between genotypes for LH, AH, LE, NSC, NSV, PSC and PSV, with the exception of NST. IR8-2 and El Silverio-2 presented higher LH with an average of 38.5 cm. While in the AH El Silverio-2 and Tabasqueña A-17-2 stood out with 1.42 cm. Likewise, IR8-2 and IR 69915-12MI-15UBN-22 presented higher LP with 31.4 cm. Both El Silverio-2 and Tabasqueña A-17-2 showed better agronomic behavior in the spring-summer cycle by obtaining higher NSC and PSC per panicle. Principal components and dispersion analysis showed that the El Silverio-2 and Tabasqueña A-17-2 genotypes were most strongly associated with the measured traits. A positive association was also found between NST per panicle and NSC and PSC per panicle.

Key words: Genotype, climatic conditions, heat, water deficit.

INTRODUCCIÓN

El estrés ambiental, incluyendo la sequía, el frío, las temperaturas más cálidas, las alteraciones en los patrones de precipitación, las fluctuaciones de los fenómenos meteorológicos y el aumento de las

infestaciones de insectos y enfermedades, afecta negativamente la producción de cultivos como el arroz. Esta situación se complica aún más debido a las condiciones climáticas cambiantes, lo que aumenta la preocupación por la seguridad alimentaria en todo el mundo (Awall et al., 2022). El cambio climático y la creciente escasez de agua desafían la seguridad alimentaria mundial, que se ve agravada aún más debido a la necesidad de alimentar a una población mundial en crecimiento (Zhang et al., 2018), tales como la producción y el consumo de arroz, que es el alimento básico de dos tercios del mundo y su producción es muy importante (Asma et al., 2023).

Estudios anteriores han revelado que el rendimiento de los cultivos se ve afectado por factores agronómicos y variables ambientales como la disponibilidad de agua y la temperatura (Tandzi & Mutenwa, 2020; Rezaei et al., 2023). Sridevi y Chellamuthu (2015) indican que el clima selecciona el cultivo adecuado para un entorno específico, mientras que las condiciones climáticas predominantes en dicho entorno determinan su potencial. El arroz es un cultivo sensible que depende en gran medida de las condiciones climáticas. Entre los factores de estrés abiótico, el clima desempeña un papel fundamental en el crecimiento y el rendimiento del arroz. Si el agua no es el factor limitante, los parámetros climáticos más importantes son la temperatura y la radiación solar. La precipitación (variación espacial y temporal) es el parámetro climático crítico directo en las ecologías de secano.

Episodios de escasez hídrico, variación de la precipitación y altas temperaturas (Lamers et al., 2020) durante el ciclo de primavera-verano en Campeche, los cultivos regularmente presentan una variabilidad en el rendimiento de los cultivos, que se debe a la limitación de agua y a las fluctuaciones interanuales de las condiciones meteorológicas. Además de que, durante el ciclo ontogénico de los cultivos, cada etapa de desarrollo, como la germinación de las semillas, el establecimiento de las plántulas, el crecimiento vegetativo de raíces y brotes, la floración, la polinización y el desarrollo de semillas, es especialmente sensible a la deshidratación (Dietz et al., 2021). Otros estudios indican que la inestabilidad de las fluctuaciones de la precipitación y el aumento de la temperatura causa efectos significativos y negativos en el rendimiento y sus componentes principales de rendimiento, tales como la fertilidad de las panículas, número de panículas por planta, número y peso de semillas por panícula y amacolla miento (Hua et al., 2022). El objetivo del presente estudio fue evaluar el germoplasma de arroz con base a características agronómicas y componentes principales de rendimiento en el ciclo de primavera-verano en el estado de Campeche.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Sitio Experimental Edzná, ubicado en la localidad de Uzahzil Edzná, Municipio de San Francisco de Campeche, Camp., México (19.609430, -90.220306, 27 msnm). El experimento se desarrolló sobre los suelos denominados en la región como Yax-chom y/o llamados Vertizoles, que agrupo a seis materiales de arroz provenientes del Campo Experimental Zacatepec: INIFLAR RT-1, IR 69915-12MI-15UBN-22, IR8-2, El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2, que pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y ubicado en el estado de Morelos, México.

Los materiales de arroz se establecieron de forma manual en julio del 2024. Para ello se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela estaba constituida de seis surcos de seis metros de longitud, separados a 0.20 metros entre surco. Alrededor todo el contorno de las parcelas útiles se formaron bordos para la aplicación de riego de auxilio. Antes de emerger las plántulas en el experimento se realizó la aplicación de 150 ml de Glufosinato de amonio más 100 ml de Tromba (2,4-D Amina), mezclados en 20 litros de agua. En relación a la fertilización, se utilizó la fórmula 92-46-60. La cual se aplicó el 100 % del fósforo antes del segundo rastreo agrícola. Mientras que la urea se fracciono en dos partes, aplicando el 50 % a los 35 días después de la germinación y el otro 50 % a la formación del primordio floral. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio (uno en septiembre, dos en noviembre y uno en diciembre). La precipitación se

determinó mediante la colocación de un pluviómetro en el experimento. Se utilizó los datos de temperatura máxima y mínima del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 2024).

De 20 plantas se midió la longitud de la panícula (LP, cm) y hoja bandera (LH, cm), y ancho de hoja bandera (AH, cm) con una regla metálica. En 20 panículas se registró y promedio el número de semillas completas (NSC), vanas (NSV) y totales (NST), peso de semilla completas (PSC, mg) y vanas (PSV, mg) por panícula. Los datos de las variables en estudio fueron sometidas a un análisis en el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.0) (SAS, 2002) en forma individual. Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS de Tukey, $p \leq 0,05$) para la comparación de medias. Posteriormente, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) a partir de la matriz de correlaciones entre los caracteres, con el procedimiento PRINCOMP de SAS. Asimismo, con SAS, se desarrolló un-Plot, utilizando los vectores de los dos primeros componentes principales, que en conjunto explican la mayor parte de la variación total acumulada en los valores medios de los componentes principales (ACP) (Yan, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectó significancia ($P \leq 0.05$) para la fuente de variación genotipo en las ocho características evaluadas (Cuadro 1). De tal forma que, de acuerdo con la suma de cuadrados medios, se observó una mayor variación en PSC, PSV, NSC y NST. La variación de la precipitación y temperatura (Hussain et al., 2021) durante el crecimiento y desarrollo de los genotipos en el ciclo de primavera-verano (Figura 1), resultado en la observación de diferencias entre genotipos para las características evaluadas. Al grado que, al comparar los genotipos, el análisis de varianza arrojó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre genotipos para la LH, AH, LE, NSC, NSV, PSC y PSV, con excepción de NST (Cuadro 2).

Cuadro 1. Resultados del ANOVA de cuadrados medios de características de genotipos de arroz. Ciclo de Primavera-Verano 2024.

FV	GL	LH	AH	LP	NSC	NSV	NST	PSC	PSV
GEN	4	219.8*	0.11*	79.8**	2742.9*	1225.7**	2476.3*	841052.5*	87284.7**
REP	4	14.3 ^{ns}	0.02 ^{ns}	3.1 ^{ns}	498.5 ^{ns}	204.4*	826.1 ^{ns}	157724.9 ^{ns}	5968.8*
Error	16	20.8	0.01	3.8	744.7	56.3	763.1	207813.3	1110.7
Error total	24								
C.V. %		14.1	8.4	7.1	24.4	31.5	25.2	14.3	22.6

FV=Factor de variación; GL=Grados de libertad; GEN=genotipo; REP=repeticón; LH, AH=longitud y ancho de hoja bandera; LP=longitud de panícula; NSC=número de semillas completas; NSV=número de semillas vanas; NST=número de semillas totales; PSC=peso de semillas completas; PSV=peso de semillas vanas; *= $P \leq 0.05$; **= $P \leq 0.01$; ^{ns}= no significativo.

En este sentido, se observó que IR8-2 y El Silverio-2 presentaron mayor LH con un promedio de 38.5 cm en comparación con Tabasqueña A-17-2 que obtuvo 23 cm (Cuadro 2). Mientras que en el AH destacó El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2 con 1.42 cm. Asimismo, IR8-2 y IR 69915-12MI-15UBN-22 presentaron mayor LP con 31.4 cm que representa una diferencia del 30 % con respecto a Tabasqueña A-17-2 y 16 a 18 % en comparación con INIFLAR RT-1 y El Silverio-2, respectivamente. No se presentaron diferencia para el NST. Sin embargo, Tabasqueña A-17-2 obtuvo el menor NSV y PSV y mayor NSC y PSC (Cuadro 2). En este contexto, es importante destacar que el PSC de Tabasqueña A-17-2 fue superior en un 26 % en comparación con INIFLAR RT-1 y IR 69915-12MI-15UBN-22 que obtuvieron el menor PSC. Subramanian et al. (2025) indica que la respuesta de una planta de arroz presenta variaciones de acuerdo con sus condiciones climáticas, tales

como el requerimiento de agua en sus etapas de crecimiento (emergencia, vegetativa y reproductiva). Dado que una condición desfavorable (humedad y temperatura) en la etapa temprana de plántula, conduce a un establecimiento deficiente del cultivo (Reed, et al., 2022), mientras que, durante la etapa vegetativa, resulta en un inicio tardío de la panícula, disminuyendo finalmente el rendimiento entre 21 y un 51 % (Zhang, et al., 2018). Un periodo corto de estrés por falta de humedad en el suelo durante la floración tiene efectos adversos en la polinización, causando mala formación de semillas, reducción del tamaño y número de granos y en casos severos aborto de flores, resultando una disminución del rendimiento (Hassan, et al., 2023) e incluso un estrés hídrico severo durante la fase de crecimiento reproductivo puede causar una pérdida sustancial del rendimiento que va del 51 al 90 % (Zhang, et al., 2018).

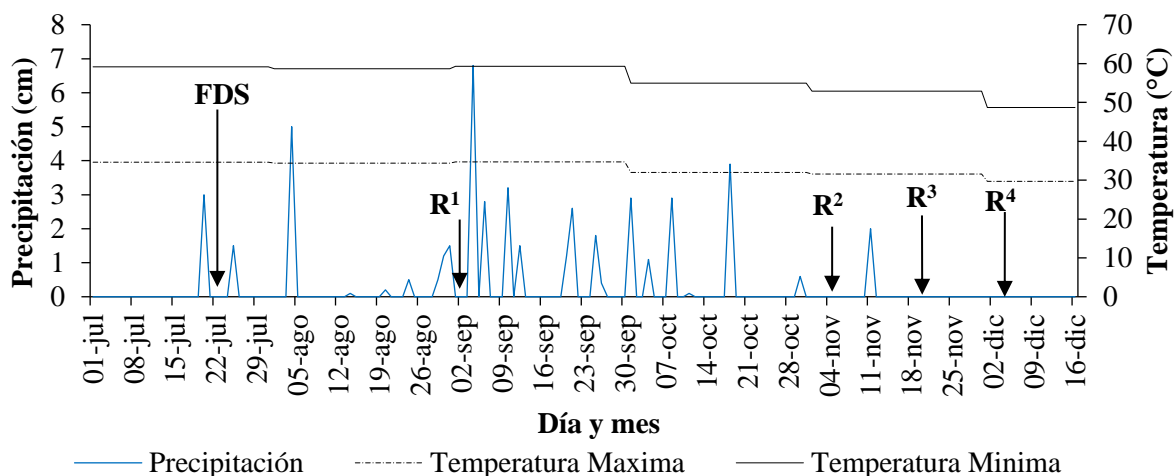


Figura 1. Precipitación (cm) y temperatura (°C) durante el experimento de genotipos de arroz en el ciclo primavera-verano 2024. FDS=Fecha de siembra; R¹, R², R³ y R⁴=riego de auxilio uno, dos, tres y cuatro.

Cuadro 2. Comparación de medias de genotipos de arroz con base a variables agronómicas. Ciclo de Primavera-Verano 2024.

Genotipo	LH (cm)	AH (cm)	LP (cm)	NSC	NSV	NST	PSC (mg)	PSV (mg)
INIFLART RT-1	29.5 bc	1.26 ab	25.8 bc	91 b	11 cd	102 a	2850 b	65 cd
IR 69915-12MI-15UBN-22	31.9 ab	1.08 b	30.9 a	92 b	31 b	123 a	2722 b	173 b
IR8-2	39.7 a	1.16 b	31.9 a	105 ab	46 a	151 a	3233 ab	365 a
El Silverio-2	37.4 a	1.44 a	26.5 b	126 a	23 bc	148 a	3362 ab	101 c
Tabasqueña A-17-2	23.0 c	1.40 a	22.1 c	146 a	8 d	153 a	3744 a	33 d

Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$). LH, AH=longitud y ancho de hoja bandera; LP=longitud de panícula; NSC=número de semillas completas; NSV=número de semillas vanas; NST=número de semillas totales; PSC=peso de semillas completas; PSV=peso de semillas vanas.

En el análisis de componentes principales (CP) indica que con base a dos componentes se explica el 92 % de la variación total acumulada en los valores medios de los genotipos, donde los dos primeros componentes (PC1 y PC2) incluyeron ha NSC, NST y PSC como los caracteres de mayor valor explicativo (Figura 1). Resultados similares fueron obtenidos por Semesjandi et al., (2024) en arroz Shiroodi donde el PC1 y PC2 explicaron el 68 % de la variación total. En la Figura 1 se representa la dispersión gráfica de variables y genotipos, donde se observa una diferenciación de comportamiento del genotipo para los caracteres medidos. Al respecto, de acuerdo con la proyección y ángulos de los vectores; el El Silverio-2 (G4) y Tabasqueña A-17-2 (G5) presentaron mayor

asociación con el NSC, NST, AH y PSC (Figura 1, primer cuadrante). Mientras que IR8-2 (G3) obtuvo mayor asociación con LP, LH, PSV y NSV (Figura 1, cuadrante dos). Tanto INIFLAR RT-1 (G1) y IR 69915-12MI-15UBN-22 (G2) presentaron menor asociación con LH, AH, LP, NSC, NSV, NST, PSC y PSV (Figura 1, tercer y cuarto cuadrante). Asimismo, el NSV se asoció negativamente con el PSC; y hubo asociación positiva de NST con NSC y PSC, AH y PSV con NSV (Figura 1). Estos resultados contrastan con los de Semesjandi et al. (2024) quienes encontraron una asociación positiva entre el NSV y el peso de 1000 semillas, por lo que la variabilidad observada dentro de los genotipos de arroz muestra que existe germoplasma de arroz con superior comportamiento agronómico en condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano.

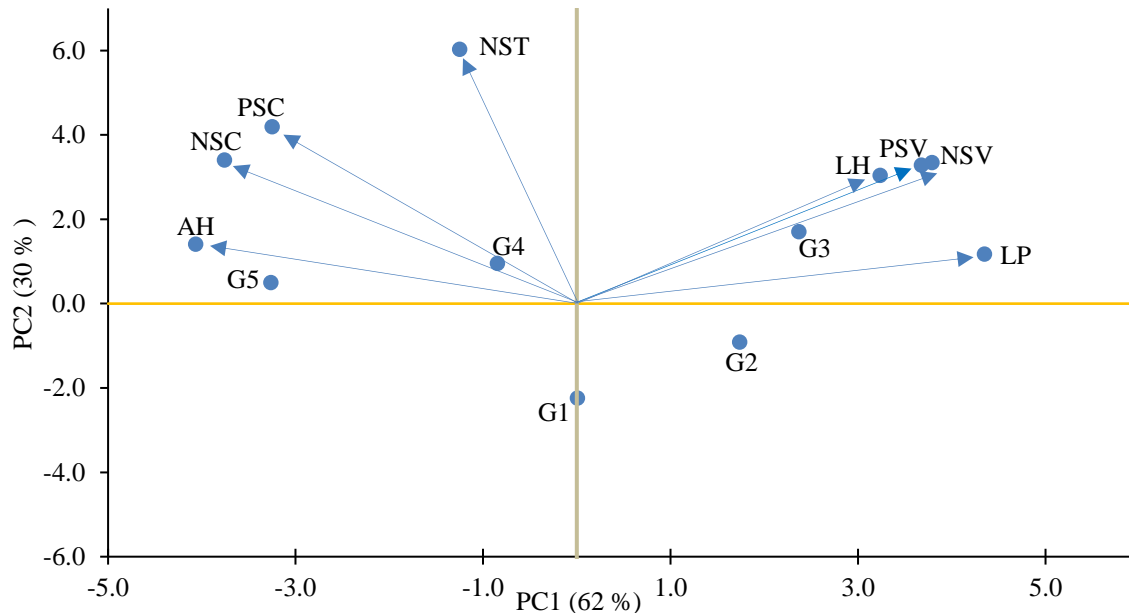


Figura 1. Dispersión de genotipos y caracteres agronómicos con base en el plano de los dos primeros componentes principales. G1=INIFLAR RT-1; G2=IR 69915-12MI-15UBN-22; G3=IR8-2; G4=El Silverio-2; G5=Tabasqueña A-17-2; LH, AH=longitud y ancho de hoja bandera; LP=longitud de panícula; NSC=número de semillas completas; NSV=número de semillas vanas; NST=número de semillas totales; PSC=peso de semillas completas; PSV=peso de semillas vanas.

CONCLUSIÓN

El germoplasma de arroz presentó una alta variación en sus características evaluadas. Tanto El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2 presentaron mejor comportamiento agronómico en el ciclo de primavera-verano al obtener mayor número y peso de semilla completa por panícula. El análisis componentes principales y de dispersión, permitió visualizar que los genotipos El Silverio-2 y Tabasqueña A-17-2 presentaron mayor asociación con los caracteres medidos. Así mismo, se obtuvo una asociación positiva de número de semillas totales por panícula con el número de semillas completas y peso de semillas por panícula.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a estudiantes de servicio social, residentes y tesistas del Instituto Tecnológico de Chiná por brindar su apoyo durante el desarrollo del experimento de arroz. Al Dr. Leonardo Hernández Aragón y M.C. Leticia Tavitas Fuentes del Campo Experimental Zacatepec del estado de Morelos, México por apoyar con el germoplasma de arroz.

REFERENCIAS

- Asma, J., Subrahmanyam, D., & Krishnaveni, D. (2023). The global lifeline: A staple crop sustaining two-thirds of the world's population. *Agriculture Archives: An International Journal*, 2(3), 15–18.
- Awall, R. H. U., Ul, A. M. T., Abdul, A. M., Ahmed, T. T., Hasan, T. M. M., Najnine, F., Dawood, M. F. A., & Skalicky, M., Brestič, M. (2022). Rice and food security: Climate change implications and the prospects for nutritional security. *Food and Energy Security*, 12, e430.
- CONAGUA. (2024). Resumen mensual de temperaturas y lluvias. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Dietz, K. J., Zörb, C., & Geilfus, C. M. (2021). Drought and crop yield. *Plant Biology*, 23, 881–893.
- Hassan, M. A., Dahu, N., Hongning, T., Qian, Z., Yueming, Y., Yiru, L., & Shimei, W. (2023). Drought stress in rice: Morpho-physiological and molecular responses and marker-assisted breeding. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1215371.
- Hua, S., Dal, B. M., & Hua, C. Z. (2022). Editorial: Crop yield and quality response to the interaction between environment and genetic factors. *Frontiers in Genetics*, 13, 823279.
- Hussain, T., Akram, Z., Shabbir, G., Manaf, A., & Ahmed, M. (2021). Identification of drought tolerant chickpea genotypes through multi trait stability index. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 6818–6828.
- Lamers, J., Van Der Meer, T., & Testerink, C. (2020). How plants sense and respond to stressful environments. *Plant Physiology*, 182(4), 1624–1635.
- Reed, R. C., Bradford, K. J., & Khanday, I. (2022). Seed germination and vigor: Ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 6, 450–459.
- Rezaei, E. E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J. L., Ewert, F., Martre, P., & Setafakor, M. D. (2023). Climate change impacts on crop yields. *Nature Reviews Earth and Environment*, 4, 831–846.
- Semeskandia, M. N., Mazloom, P., Arabzadeh, B., Moghadam, M. N., & Ahmadi, T. (2024). Evaluation of seedling cultivation and irrigation regimes on yield and yield components in rice plant. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e266261.
- Sridevi, V., & Chellamuthu, V. (2025). Impact of weather on rice: A review. *International Journal of Applied Research*, 1(9), 825–831. <https://www.researchgate.net/publication/375610380>
- Subramanian, S., Ramamoorthy, P., Alagesan, S., Amalraj, J. J., Muthurajan, R., Alagarsamy, S., Sengalan, M., Ramalingam, S., Kathiresan, P. K., & Prakash, P. T. (2025). Unraveling the genetic potential of Indian rice germplasm for reproductive stage drought tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1454299.
- Tandzi, N. L., & Mutegwa, S. C. (2020). Factors affecting yield of crops. *En Agronomy - Climate Change and Food Security* (pp. 1–16).
- Yan, W. (2014). Crop variety trials: Data management and analysis. *Crop Science*, 54, 2910–2911.
- Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C., Lu, X., Zhang, M., & Jin, J. (2018). Effect of drought on agronomic traits of rice and wheat: A meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 839.

Viabilidad de la inocuidad de tres cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato para su aplicación en campo

Juan Carlos Camacho-Chab^{1*}, Mirna Merina Gutiérrez-Gómez², Carmen Abril Ojeda-Aldana¹, María Manuela Reyes-Estebanez¹, Manuel Jesús Chan-Bacab¹, Benjamín Otto Ortega-Morales¹, Karen D. Atenea Priego-Delgado¹, Rodrigo Enrique Tun-Che¹.

¹Centro de Investigación en Microbiología Ambiental y Biotecnología, Universidad Autónoma de Campeche, Av. Agustín Melgar s/n. C.P., 24039 Campeche, México. ²Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Colón esq. Paseo Tollocan, C.P. 50000 Toluca de Lerdo, Estado de México. *Autor para correspondencia: juancam@uacam.mx

Recibido: 29/09/25; Aceptado: 30/11/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Los biofertilizantes microbianos emergen como una alternativa sostenible para mejorar la disponibilidad de nutrientes en los sistemas agrícolas. Sin embargo, el desarrollo de estos requiere no solo evaluar su efectividad en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, sino también garantizar su inocuidad mediante controles de calidad. La valoración de la inocuidad de las cepas microbianas con potencial biofertilizante debe ser realizado como un requisito antes de su aplicación en campo. Por lo anterior, en el presente trabajo se determinó la viabilidad de la inocuidad de tres cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato, *Enterobacter* sp. ITCB-09, *Klebsiella* sp. TS6B-02 y *Klebsiella* sp. TS6B-20, evaluando su inocuidad en tres aspectos críticos: el riesgo para la salud humana, patogenicidad en plantas y su impacto ambiental. Para ello se realizaron diferentes ensayos de laboratorio tales como la determinación de la actividad coagulasa, la determinación de actividad hemolítica, la determinación de la actividad pectinolítica y la evaluación de la formación de biopelícula. Los resultados de las evaluaciones realizadas mostraron que las tres cepas bacterianas fueron inocuas, ya que los resultados fueron negativos en los ensayos correspondientes al perfil de patogenicidad, así como una tasa baja en cuanto a la formación de biopelículas. De esta manera, las cepas bacterianas evaluadas en este trabajo pueden ser consideradas altamente viables para su aplicación en campo como biofertilizantes.

Palabras clave: Bacterias solubilizadoras de fosfato, Biofertilizantes microbianos, Perfil de patogenicidad.

ABSTRACT

Microbial biofertilizers are emerging as a sustainable alternative to improve nutrient availability in agricultural systems. However, their development requires not only the evaluation of their effectiveness in enhancing nutrient availability for plants, but also the assurance of their safety through quality controls. The assessment of the safety of microbial strains with biofertilizer potential must be carried out as a prerequisite before field application. In this study, the safety viability of three phosphate-solubilizing bacterial strains *Enterobacter* sp. ITCB-09, *Klebsiella* sp. TS6B-02 and *Klebsiella* sp. TS6B-20, was determined by evaluating three critical aspects: risk to human health, plant pathogenicity and environmental impact. Laboratory assays included the determination of coagulase activity, hemolytic activity, pectinolytic activity and biofilm formation. The results showed that all three bacterial strains were safe, as they tested negative for pathogenicity-related assays and exhibited low rates of biofilm formation. Therefore, the bacterial strains evaluated in this study can be considered highly viable for field application and biofertilizers.

Key words: Phosphate-solubilizing bacteria, microbial biofertilizers, Pathogenicity profile.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de prácticas agrícolas sostenibles ha llevado a un interés creciente en el uso de biofertilizantes microbianos, particularmente en las bacterias solubilizadoras de fosfato (PSB, por sus siglas en inglés). Estos microorganismos desempeñan un papel fundamental en la mejora de la disponibilidad de nutrientes, especialmente del fósforo, un macronutriente vital que a menudo es limitado en los suelos agrícolas. La capacidad de las PSB para solubilizar fosfato de diversas fuentes las convierte en candidatas prometedoras para el desarrollo y aplicación de biofertilizantes en

entornos de campo. Sin embargo, garantizar la seguridad y viabilidad de estos microorganismos es primordial para evitar riesgos potenciales para la salud humana, la salud de las plantas y el medio ambiente. Por lo tanto, la evaluación de la seguridad de las cepas de PSB es crucial antes de su implementación en las prácticas agrícolas (Vessey, 2003).

La viabilidad de las evaluaciones de seguridad para las bacterias solubilizadoras de fosfato se centra en tres aspectos clave: los riesgos para la salud humana, la patogenicidad en plantas y los impactos ambientales. Varios estudios han enfatizado la importancia de realizar evaluaciones de seguridad exhaustivas, subrayando la necesidad de realizar pruebas que determinen el potencial patogénico de las cepas microbianas, incluyendo la actividad hemolítica y la producción de factores de virulencia (Vassilev et al., 2015). La presencia de tales actividades puede indicar si una cepa representa un riesgo para la salud de las plantas o de los seres humanos, lo que hace esencial llevar a cabo estas evaluaciones antes de cualquier aplicación en campo. Además, la investigación ha demostrado que ciertas PSB pueden producir compuestos beneficiosos como sideróforos, que mejoran la adquisición de nutrientes en las plantas, aumentando aún más su potencial como biofertilizantes efectivos (Rodríguez & Fraga, 1999). Para ilustrar la práctica y relevancia de las evaluaciones de seguridad, estudios recientes han evaluado diversas cepas bacterianas conocidas por sus capacidades solubilizadoras de fosfato. Por ejemplo, cepas de los géneros *Klebsiella* sp. y *Enterobacter* sp. han mostrado prometedoras capacidades de solubilización de fosfato mientras exhiben características no patogénicas (Arif et al., 2021). Tales hallazgos enfatizan el potencial de seleccionar cepas microbianas que demuestren tanto eficacia en la solubilización de nutrientes como seguridad para aplicaciones en campo. Además, la evaluación de rasgos asociados a la patogenicidad, como las actividades de coagulasa y hemolisina, son parámetros críticos para asegurar que estos microorganismos sean adecuados para su uso agrícola (Amri et al., 2023).

La investigación sobre la inocuidad de las bacterias solubilizadoras de fosfato también abarca consideraciones ambientales. A medida que las prácticas agrícolas buscan cada vez más mitigar su huella ecológica, la introducción de cepas microbianas no debe alterar los ecosistemas locales ni crear consecuencias ecológicas imprevistas. Estudios han documentado los impactos ambientales de la introducción de microorganismos no nativos, enfatizando la necesidad de procesos de detección rigurosos para prevenir efectos adversos (Vessey, 2003). Por lo tanto, determinar la bioactividad de las cepas microbianas, junto con su resiliencia ecológica, se vuelve vital para predecir su comportamiento en diversos entornos edáficos. Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluó la viabilidad de la inocuidad de tres cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato, *Enterobacter* sp. ITCB-09, *Klebsiella* sp. TS6B-02 y *Klebsiella* sp. TS6B-20, evaluando su inocuidad en tres aspectos críticos: el riesgo para la salud humana, patogenicidad en plantas y su impacto ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Activación y caracterización de cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato. Las cepas bacterianas *Enterobacter* sp. (ITCB-09,) *Klebsiella* sp. (TS6B-02) y *Klebsiella* sp. (TS6B-20) fueron reactivadas mediante siembra en agar soya tripticaseína (AST), durante 24 horas a 28 ± 2 °C. Posteriormente, se realizó la caracterización morfológica celular mediante la técnica de tinción de Gram. Además, se determinó la morfología colonial con la utilización de un estereoscopio. Lo que permitió confirmar las características previamente reportadas para cada cepa (Mendoza-Arroyo et al., 2020).

Evaluación de la actividad coagulasa. La actividad de la enzima coagulasa se realizó mediante el método establecido por MacFaddin, (2003). Las tres cepas bacterianas se cultivaron en AST, durante 24 horas a 28 ± 2 °C. Posteriormente, en viales estériles, se adicionaron 200 μ l de plasma fresco con EDTA y una asada de 1 μ l con colonia pura por cada cepa bacteriana, en triplicados. Los viales se rotaron suavemente generando la suspensión bacteriana y fueron puestos a incubar en baño maría, durante 4 horas a 37 ± 2 °C. Finalmente, se mantuvieron en incubación a 35 ± 2 °C hasta completar

24 horas. Como control negativo, se empleó la cepa bacteriana *Escherichia coli*, colocando por triplicado en viales 200 µl de plasma fresco con EDTA y una asada de 1 µl con colonia pura. La actividad de enzimas coagulasa genera un cambio del estado líquido del plasma a la formación de un coágulo, lo que implicaría un cambio de coloración amarillo en contraste con el control negativo que no tendrá cambio de coloración.

Determinación de actividad hemolítica. La valoración de la actividad de hemolítica se realizó de acuerdo con el protocolo descrito por Koneman, (1997). Para esto, cada una de las cepas bacterianas, fue cultivada en medio AST por 24 horas a 28 ± 2 °C, y posterior al desarrollo se tomaron colonias para la siembra en agar sangre, incubando durante 24 horas a 28 ± 2 °C, por duplicado. Como control negativo se utilizó *E. coli*. En los resultados se esperaría que si existe actividad hemolítica positiva se observe un cambio de coloración del medio de cultivo, alrededor de las colonias desarrolladas. En la hemólisis genera un cambio de rojo a gris-verdoso y la hemólisis de rojo a transparente.

Determinación de la actividad pectinolítica. La determinación de actividad de enzimas pectinasas se realizó por el método establecido por Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), (2020). Se realizó la desinfección de papa y zanahoria sumergiéndolas en etanol al 70% durante 15 minutos y posteriormente en hipoclorito de sodio al 1% durante 15 minutos. Transcurrido el tiempo, se dejaron secar bajo condiciones asépticas, finalmente se procedió a rociar de manera total con etanol al 70%. Seguidamente, con ayuda de un bisturí estéril se cortaron ambos tubérculos en rodajas de 4 mm de grosor, colocando dos rodajas en una caja petri estéril en una base de papel filtro humedecido con agua destilada estéril y a cada rodaja se le realizó una incisión en el centro, inoculando las bacterias de dos maneras: en biomasa con el uso de un asa bacteriológica y vertiendo 150 uL de un cultivo en caldo, en la incisión. La rodaja a la cual no se le sembró la cepa sirvió como control negativo. Los ensayos fueron puestos a incubar a 35 ± 2 °C. Como control positivo se usaron dos cepas de hongos: *Fusarium* y *Colletotrichum*. Ambos métodos se hicieron por triplicado en papa y en zanahoria. Las observaciones de hicieron a las 24, 72 y 96 horas posteriores a la siembra.

Evaluación de la formación de biopelícula. Se evaluó la capacidad de formación de biopelícula de las cepas bacterianas, mediante la modificación del método establecido por O'Toole, (2011). A partir del crecimiento previo de cada una de las cepas en AST, se inocularon en caldo Luria Bertani (LB), durante 24 horas a 28 ± 2 °C, en agitación constante, por triplicado. Posteriormente, se realizó un ajuste de concentración 1:100 del cultivo en caldo LB estéril, para cada una de las cepas, depositando 1.5 mL de la suspensión bacteriana correspondiente en una placa de 24 pocillos, por triplicado, incubándose 24 horas a 37 °C \pm 2 °C. Tras la incubación, se descartó el sobrenadante y los pozos se lavaron dos veces con solución de NaCl al 0.9% para eliminar células no adheridas. Por pocillo se adicionó 1.8 mL de cristal violeta al 0.1%, tiñendo durante 15 minutos, seguidamente se realizaron tres lavados con solución de NaCl al 0.9% y se disolvió el tinte unido a la biopelícula con 1.5 mL de ácido acético al 30%, dejando actuar durante 15 minutos. Finalmente, se midió la absorbancia por espectrofotometría UV-Vis a 550 nm. Empleando ácido acético al 30% como blanco).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la actividad coagulasa

La coagulasa es una enzima típicamente producida por bacteria patógenas como *Staphylococcus aureus*, lo que sugiere que la presencia en estas cepas solubilizadoras de fosfato sería una producción inusual. Sin embargo, se ha reportado que el plasma fresco con citrato, puede dar lugar a la formación de coágulos, debido a que el organismo en análisis podría utilizar el citrato de forma metabólica, eliminándolo de la solución e iniciando la cascada de cualgulación (MacFaddin, 2003; Tankeshwar, 2012). En la Figura 1, se muestra que en el ensayo las bacterias no formaron coágulos. Los resultados de la actividad coagulasa se presentan a continuación en la Cuadro 1.



Figura 1. Muestra general del ensayo de actividad de coagulasa en las tres cepas estudiadas y el control negativo. No hubo formación de coágulos

Cuadro 1. Descripción de los cambios observados en las primeras 3 horas después de la siembra y en el análisis final del periodo de 24 horas de incubación en la prueba de actividad de coagulasa de las cepas bacterianas.

Tiempo de observación	Citrato de sodio			EDTA		
	<i>Enterobacter</i> sp. ITCB-09	<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-20	<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-02	<i>Enterobacter</i> sp. ITCB-09	<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-20	<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-02
1 hora	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
2 horas	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
3 horas	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
24 horas después de la siembra	Coagulación de plasma en una de las tres muestras	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios

Activación y caracterización de las cepas bacterianas *Enterobacter* sp. ITCB-09, *Klebsiella* sp. TS6B-02 y *Klebsiella* sp. TS6B-20.

A continuación, en el siguiente Cuadro se describe la caracterización morfológica colonial y celular de las cepas bacterianas empleadas en este estudio.

Cuadro 2. Caracterización morfológica colonial y celular de las cepas bacterianas *Enterobacter* sp. ITCB-09, *Klebsiella* sp. TS6B-20 y *Klebsiella* sp. TS6B-02.

Cepa	Caracterización morfológica colonial					Caracterización morfológica celular	
	Aspecto	Forma	Color	Elevación	Margen	Forma celular	Pared Gram
<i>Enterobacter</i> sp. ITCB-09	Mucoso	Irregular	Crema, liso y opaco	Convexa	Entero	Bacilos cortos y anchos	-
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-02	Mucoso	Irregular	Lechoso, liso y opaco	Convexa	Entero	Bacilos cortos y anchos	-
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-20	Mucoso	Circular	Lechoso, liso y brillante	Convexa	Entero	Bacilos muy pequeños, cortos y anchos	-

Determinación de actividad hemolítica

Las tres cepas presentaron ausencia de hemólisis (γ -hemólisis), durante el intervalo de observación, desde las 24 hasta las 96 horas (Cuadro 3). Esto indica que ninguna de las cepas produce enzimas hemolíticas o peróxido de hidrógeno, bajo las condiciones evaluadas. Aunque existe reporte de especies del género *Klebsiella* con actividad hemolítica por el mecanismo de hemolisinas, todas las cepas evaluadas presentaron resultados negativos (Koneman, 1997; Gundogan et al., 2011).

Cuadro 3. Resultados de la determinación de actividad hemolítica de las cepas bacterianas a las 24 y 96 horas después la siembra. Actividad positiva (+). Sin actividad (-)

	Actividad hemolítica	
	24 horas	96 horas
<i>Enterobacter</i> sp. ITCB-09	-	-
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-02	-	-
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-20	-	-

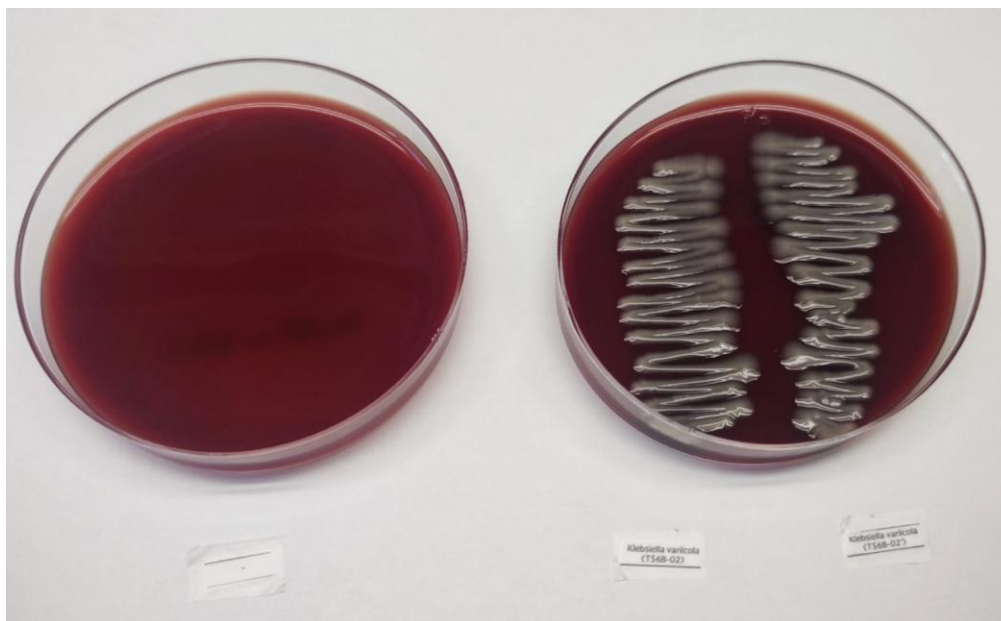


Figura 2. *Klebsiella* sp. TS6B-02 cultivada en agar sangre y sin actividad hemolítica.

Determinación de la actividad pectolítica

Respecto a los resultados de la actividad pectolítica, en el caso de la papa las cepas bacterianas se observó un cambio de coloración en todas las muestras con ambos tipos de inoculación, al igual que el control negativo (Cuadro 4). Lo anterior puede sugerir el proceso natural de oxidación del tubérculo. Mientras que, en el caso del control positivo, los hongos no se observó un cambio de coloración, sino una pudrición blanda en el área de contacto entre la papa y los hongos. Misma situación fue percibida con los ensayos en zanahorias (Figuras 3 y 4).

Cuadro 4. Resultados de la determinación de actividad pectolítica de las cepas bacterianas a las 24 y 72 horas después la siembra. Actividad positiva (+), Sin actividad (-).

Tiempo de observación	Actividad pectolítica			
	24 horas		72 horas	
	papa	zanahoria	papa	zanahoria
<i>Enterobacter</i> sp. ITCB-09	-	-	-	-
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-02	-	-	-	-
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-20	-	-	-	-
<i>Colletotrichum</i>	+	+	+	+
<i>Fusarium</i>	+	+	+	+
Control negativo	-	-	-	-

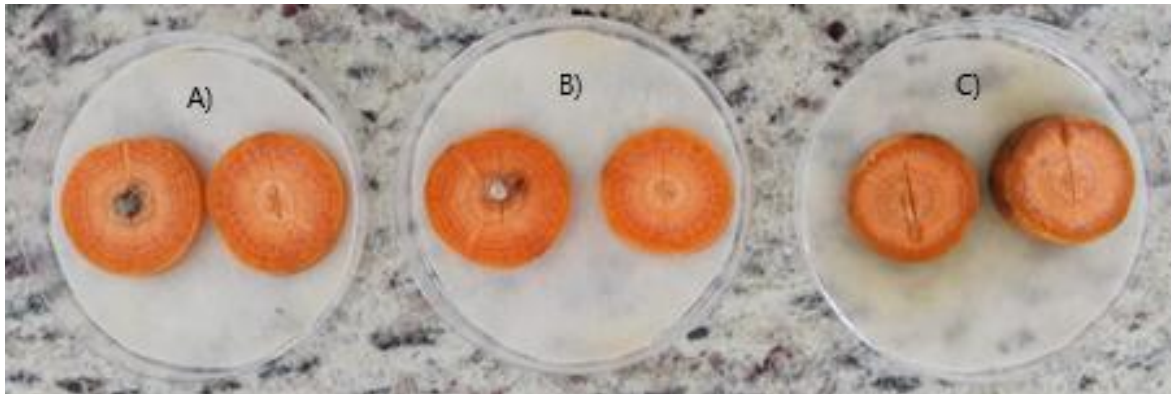


Figura 3. A) *Colletotrichum*, B) *Fusarium*, C) *Klebsiella* sp. TS6B-20.

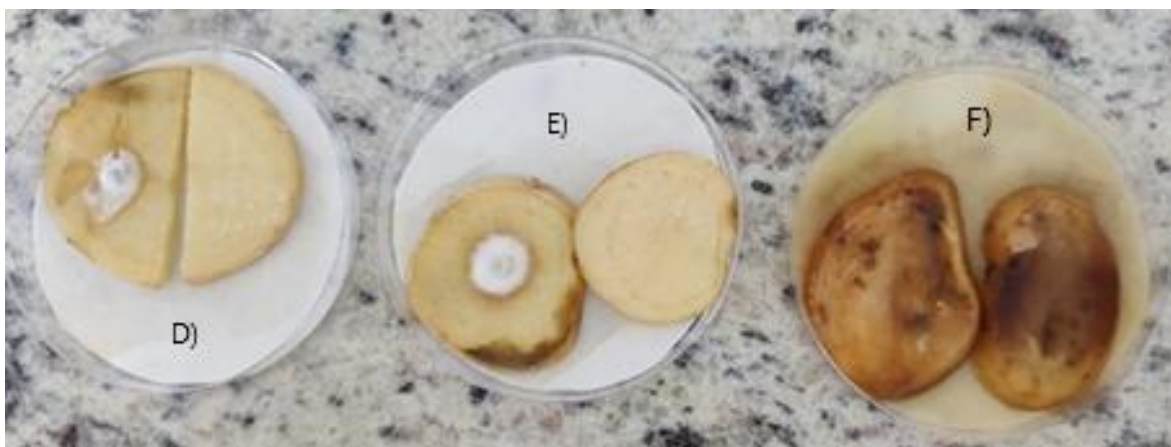


Figura 4. D) *Colletotrichum*, E) *Fusarium*, F) *Klebsiella* sp. TS6B-20

Evaluación de la formación de biopelícula

Los resultados de la formación de biopelícula demostraron que *Enterobacter* sp. ITCB-09 tuvo una capacidad limitada y consistente para formar biopelícula. Mientras que las bacterias *Klebsiella* sp. TS6B-02 y TS6B-20 presentaron valores de absorbancia que indicaron una fuerte formación de biopelícula (Moreno-Calderón et al., 2020).

Cuadro 5. Caracterización de cepas bacterianas por capacidad de formación de biopelículas, clasificación de Moreno-Calderón, et al., (2020).

Cepas bacterianas	D.O. 550 nm	Desviación estándar	Capacidad de formación de biopelículas
<i>Enterobacter</i> sp. ITCB-09	0.163	0.017	Poco formadora
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-02	0.666	0.175	Fuertemente formadora
<i>Klebsiella</i> sp. TS6B-20	0.802	0.388	Fuertemente formadora

Cepas bacterianas	D.O. 550 nm	Desviación estándar	Capacidad de formación de biopelículas
<i>Escherichia coli</i> (Control positivo)	0.235	0.074	Moderadamente formadora
Control negativo	0.136	0.004	Poco formadora

CONCLUSIÓN

El presente estudio evaluó la viabilidad de la inocuidad de tres cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato *Enterobacter* sp. ITCB-09, *Klebsiella* sp. TS6B-02 y *Klebsiella* sp. TS6B-20 para su potencial uso como biofertilizantes en campo. Los resultados demostraron que las cepas estudiadas no presentaron resultados positivos respecto al perfil de patogenicidad ya que no presentaron actividad coagulasa, mostraron ausencia de hemólisis (γ -hemólisis) y no exhibieron actividad pectolítica, lo que sugiere su inocuidad. De esta manera, las cepas bacterianas evaluadas en este trabajo, pueden ser consideradas altamente viables para su aplicación en campo como biofertilizantes.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por la beca de posgrado 4008049 otorgada a Carmen Abril Ojeda Aldana, para cursar sus estudios de Maestría en Biociencias Aplicadas impartida en la Universidad Autónoma de Campeche. Al Centro de Investigación en Microbiología Ambiental y Biotecnología (CIMAB) por los recursos para la ejecución del proyecto y a los investigadores adscritos por el acompañamiento y apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación

REFERENCIAS

- Amri, M., Rjeibi, M. R., Gatrouni, M., Mateus, D. M. R., Asses, N., Pinho, H. J. O., & Abbes, C. (2023). Isolation, identification, and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from Tunisian soils. *Microorganisms*, 11(3), 783.
- Arif, M., Ali, S., Ilyas, M., Riaz, M., Akhtar, K., Ali, K., Adnan, M., Fahad, S., Khan, I., Shah, S., & Wang, H. (2021). Enhancing phosphorus availability, soil organic carbon, maize productivity and farm profitability through biochar and organic-inorganic fertilizers in an irrigated maize agroecosystem under semi-arid climate. *Soil Use and Management*, 37(1), 104–119.
- Gundogan, N., Citak, S., & Yalcin, E. (2011). Virulence properties of extended spectrum β -lactamase-producing *Klebsiella* species in meat samples. *Journal of Food Protection*, 74(4), 559–564.
- Koneman, E. W. (1997). *Koneman diagnóstico microbiológico: Texto y atlas en color*. Ed. Médica Panamericana.
- MacFaddin, J. F. (2003). *Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica*. Ed. Médica Panamericana.
- Mendoza-Arroyo, G. E., Chan-Bacab, M. J., Aguila-Ramírez, R. N., Ortega-Morales, B. O., Canché-Solís, R. E., Chab-Ruiz, A. O., Cob-Rivera, K. I., Dzib-Castillo, B., Tun-Che, R. E., & Camacho-Chab, J. C. (2020). Inorganic phosphate solubilization by a novel isolated bacterial strain *Enterobacter* sp. ITCB-09 and its application potential as biofertilizer. *Agriculture*, 10(9), 383.
- Moreno-Calderón, X., Marcano-Vásquez, M. E., Ferrara-Valvano, G. A., Panizo-Domínguez, M. M., & García-Centeno, N. J. (2020). Formación de biopelículas por *Candida parapsilosis* sensu stricto y su perfil de susceptibilidad en Venezuela. *Kasmera*, 48(1). <https://www.redalyc.org/journal/3730/373064123006/html/>
- O'Toole, G. A. (2011). Microtiter dish biofilm formation assay. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, 47, 2437.
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4–5), 319–339.

- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2020). Fichas técnicas. gov.mx. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de <http://www.gob.mx/senasica/documentos/fichas-tecnicas-390737>
- Tankeshwar, A. (2012, abril 18). Coagulase test: Principle, procedure, results • Microbe Online. Microbe Online. <https://microbeonline.com/diagnostic-tests-biochemical-tests-coagulase-test/>
- Vassilev, N., Vassileva, M., Lopez, A., Martos, V., Reyes, A., Maksimovic, I., Eichler-Löbermann, B., & Malusà, E. (2015). Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(12), 4983–4996.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586.

Efecto de las fases lunares sobre el acodamiento de *Brosimum alicastrum* Swartz

María de los Ángeles Novelo-Pérez¹, Noel Antonio González-Valdivia¹, Víctor Daniel Cuervo-Osorio¹, Enrique Arcocha-Gómez¹, Bernardino Candelaria-Martínez^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico de Chiná, Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Sostenibles. *Autor de correspondencia: bernardino.c.m@china.tecnm.mx

Recibido: 22/08/25; Aceptado: 22/11/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

El árbol de *Brosimum alicastrum* Swartz es una especie multipropósito que presenta culturalmente una opción para la alimentación humana y animal en los pueblos originarios de Norte y Centroamérica. La propagación asexual puede ser una opción viable para su establecimiento y aceleración de la fase productiva, la cual por semilla botánica es de siete años. Se llevó a cabo un experimento para determinar el efecto de las fases lunares sobre el prendimiento y sobrevivencia de acodos aéreos de *B. alicastrum*. Se usaron 50 árboles de cinco años, libres de plagas y enfermedades. Se realizaron 160 acodos aéreos al azar en los árboles distribuidos en las fases lunares luna nueva, luna creciente, luna llena y luna menguante con 40 repeticiones por fase. Se determinó porcentaje de prendimiento y sobrevivencia al trasplante. Para el análisis de los datos se usó un diseño completo al azar, se realizó ANOVA y prueba de medias por Tukey. Se observó mayor prendimiento y sobrevivencia de los acodos aéreos en la fase de luna creciente ($p < 0.05$) con valores de 33.5 y 29.8% respectivamente. Lo cual pudiera estar relacionado con una distribución adecuada de savia en el tejido vegetal de la planta que favorece la nutrición y generación de tejido radicular del acodo aéreo, sin ocasionar gomosis por la zona descortezada del acodo aéreo. Los acodos aéreos en *B. alicastrum* presentan un mayor éxito de prendimiento y sobrevivencia cuando se realizan en luna creciente.

Palabras clave: Agroforestería, forraje, propagación.

ABSTRACT

The *Brosimum alicastrum* Swartz tree is a multipurpose species that has culturally represented an option for human and animal food in the indigenous peoples of North and Central America. Asexual propagation may be a viable option for its establishment and acceleration of the productive phase, which takes seven years when propagated by botanical seed. An experiment was conducted to determine the effect of lunar phases on rooted air layered and survival air layers of *B. alicastrum*. Five-year-old trees, free of pests and diseases, were used. A total of 160 air layers cuttings were randomly taken from the trees during the new moon, waxing moon, full moon, and waning moon phases, with 40 repetitions per phase. The percentage of rooted air layered and survival after transplanting was determined. For data analysis, a completely randomized design was used, and ANOVA and Tukey test for comparison of means were performed. Greater take and survival of air layers was observed in the waxing moon phase ($p < 0.05$) with values of 33.5 and 29.8%, respectively. This could be related to adequate sap distribution in the plant tissue, which promotes nutrition and root tissue generation in the air layers, without causing gummosis in the debarked area of the air layers. Air layers in *B. alicastrum* have a higher success rate of rooted air layered and survival when performed during the waxing moon.

Key words: Agroforestry, forage, propagation.

INTRODUCCIÓN

Brosimum alicastrum Swartz es una especie arbórea de la familia Moraceae (Clement & Weiblen, 2009), originaria y distribuida en Centroamérica, en México las regiones con mayor abundancia de esta especie son Península de Yucatán, Istmo, Lacandona, Occidente y Huasteca (Santillán et al., 2025). Es una especie de importancia cultural y social debido a que sus frutos forman parte de la gastronomía de los pueblos originarios y la comercialización de sus productos, principalmente follaje y frutos (Hernández-González et al., 2014; Santillán-Fernández et al., 2021). La mayor parte de los

árboles que se usan actualmente son de origen silvestre y se ubican en selvas subcaducifolias o subperennifolias. Sin embargo, Mex et al. (2025) menciona que en algunas comunidades de la península de Yucatán forman parte de los huertos familiares en donde se es sometido a dos actividades de manejo principalmente, riego en los primeros años de vida y podas en etapa productiva, además mencionan que no es una especie de la cual se fomente su establecimiento. Las plantaciones con fines comerciales de *B. alicastrum* resultan poco atractivas por el largo periodo de tiempo entre la siembra y la etapa productiva cuando se establecen plantas obtenidas por semillas botánicas que puede ser de siete años que es cuando termina el periodo juvenil de la planta (Hernández-González et al., 2015). Una alternativa es el uso de métodos de reproducción asexual como los acodos aéreos que pueden reducir el tiempo entre el establecimiento y la producción de frutos (Sánchez, 2002; Santillán-Fernández et al., 2021). En este sentido Urrieta-Velázquez et al. (2025), menciona que el uso de acodos en plantas leñosas es un método altamente efectivo para la propagación asexual, y que a diferencia de otros como el uso de estacas o mini estacas, es más económico al requerir menos manejo y ausencia de uso de fertilizantes. La eficiencia del acodamiento puede estar influenciada por la dinámica de circulación de la savia en el árbol (Cabrera-Vásquez et al., 2014). Se ha establecido que la luna presenta una influencia en la distribución de dicho componente en las plantas, lo que puede determinar distintos comportamientos en especies leñosas y no leñosas. En este sentido Mera-Andrade et al. (2017) mencionan que el desarrollo, productividad e incidencia de plagas de algunos cultivos como rábano y maíz se encuentran determinados por las fases lunares, pudiendo estos efectos pueden ser positivos o negativos, lo que establece la necesidad de conocer la dinámica de cada especie de importancia agronómica. Por su parte Rosas-González (2019) encontró que los injertos tipo púa central en *Theobroma cacao* L. fueron más estables y lograron un mayor desarrollo en las fases luna creciente y luna llena. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de las fases lunares sobre la sobrevivencia y desarrollo radicular de acodos de *Brosimum alicastrum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Investigación y Producción Agroecológica de Especies Menores (LIPAEM) del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Chiná. El sitio se ubica en las coordenadas 19°46'13.70 N 90°30'13.20 O. Presenta una elevación de 33m. Clima AW0 con lluvias medias de 1,200 mm, temperatura media anual de 26°C (García, 2004). El experimento se realizó en la época de lluvias comprendida de junio a octubre de 2024.

Se utilizaron 50 árboles *B. alicastrum* Sw. de cinco años, libres de plagas y enfermedades (Figura 1), los cuales fueron sembrados por semilla botánica y al momento de realizar el experimento no habían prestado fructificación. Se realizó una poda de limpieza para eliminar ramas en mal estado, mejorar la circulación de aire y penetración de luz en el dosel. Se aplicó una fertilización única a base de composta de conejaza a razón de 1 kg por árbol.

Se seleccionaron ramas con diámetros entre 1.0 y 1.5 cm sin daños físicos visibles que evidenciaran plagas, enfermedades o deterioro. A las ramas seleccionadas se les realizó un anillado de aproximadamente tres cm de ancho utilizando una tijera previamente desinfectada con alcohol al 70%, el anillo descortezado se lijó ligeramente para eliminar la mayor parte del floema y cambium vascular. Posteriormente, se colocó el sustrato sobre el anillado, envolviéndolo con una bolsa de plástico negra y asegurando que tomara forma cilíndrica. La bolsa se amarró con cinta aislante de vinil, asegurándose que el anillado quedara centrado (Hartmann et al., 2011). El sustrato utilizado estuvo constituido por tierra colectada en una selva baja caducifolia, peat moss y perlita en una proporción de 50, 25 y 25% respectivamente. Se consultó el calendario lunar para definir los días en que se elaboraron los acodos. Las fases lunares consideradas fueron cuatro: luna nueva, luna creciente, luna llena y luna menguante, los acodos se realizaban el primer día de la fase lunar correspondiente. En cada una de ellas se realizaron 40 acodos y cada uno correspondió a una repetición. El tiempo de acodamiento fue de 90 días. Al transcurrir este periodo de tiempo se cortaron

los acodos de la planta madre, se seleccionaron 10 acodos aéreos al azar de cada tratamiento para determinar porcentaje de prendimiento (acodos aéreos con presencia de raíces, hojas y brotes). Para evaluar la sobrevivencia de los acodos aéreos, se trasplantaron los mismos acodos aéreos a bolsas forestales de 20x30 utilizando un sustrato similar al usado en los acodos aéreos, se mantuvieron en condiciones de vivero y se evaluó la sobrevivencia a los 60 días.

Análisis de datos. Los datos colectados se analizaron en un diseño estadístico completo al azar en donde el factor experimental fue la fase lunar. Se realizó Anova y prueba de medias por Tukey ($P < 0.05$). También se elaboró un análisis de correlación de Spearman las variables prendimiento y sobrevivencia. Para los análisis se usó el programa estadístico Statistica V7.0.



Figura 1. Árboles experimentales de *B. alicastrum* Sw.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prendimiento de acodos aéreos de *B. alicastrum*. El prendimiento de los acodos aéreos de *B. alicastrum* Sw. se vieron influenciados por la fase lunar ($p=0.032$), la fase luna creciente presentó el mayor porcentaje de prendimiento con 33.5%, y fue 8.44% superior a los valores observados en el resto de las fases lunares evaluadas (Figuras 2, 3). Este comportamiento es similar al reportado en injertos de cacao (*T. cacao*) por Rosas-González (2019) quien observó mayor prendimiento de injertos, producción de hojas y raíces en cuando se realizaron en luna creciente y luna llena, quien relaciona los hallazgos con una mayor proporción de savia en las ramas y brotes propiciando una mayor elongación de raíces de los injertos.

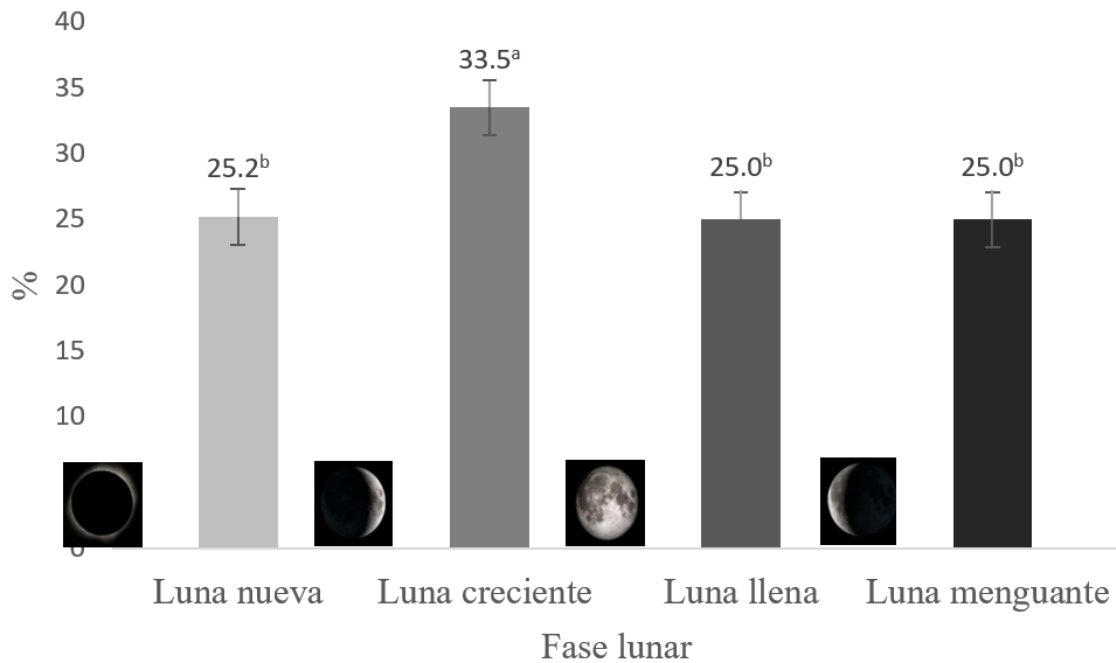


Figura 2. Prendimiento de acodos aéreos de *B. alicastrum* en diferentes fases lunares.



Figura 4. Acodos aéreos de *B. alicastrum* con y sin prendimiento.

Sobrevivencia de acodos aéreos de *B. alicastrum*. La sobrevivencia de los acodos aéreos de *B. alicastrum* Sw. fue mayor ($p=0.045$) en la fase lunar de luna creciente con un promedio de 29.8% y fue 4.9% superior a los valores observados en el resto de las fases lunares evaluadas (Figura 4). Este hecho podría de igual manera estar propiciado por la presencia de sabia con nutrientes lo que permite nutrir al acodo aéreo desarrollar tejido radicular y captar humedad y nutrientes una vez que es separado del árbol madre y trasplantado. Los porcentajes de sobrevivencia observados para *B. alicastrum* Sw. fueron inferiores a los reportados por Tarnowski (2021) para *Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz, con sobrevivencias de acodos de 42.5 y 30% cuando usaron ácido indolbutírico como enraizador y sin enraizador. La sobrevivencia biológicamente está relacionada con el prendimiento de los acodos aéreos, debido a los acodos que han desarrollado raíces y brotes nuevos con capaces de adquirir nutrientes y agua una vez que son trasplantados y la presencia de brotes les permite realizar fotosíntesis y generar nuevo tejido. En este sentido se observó una correlación de 0.82 entre ambas variables.

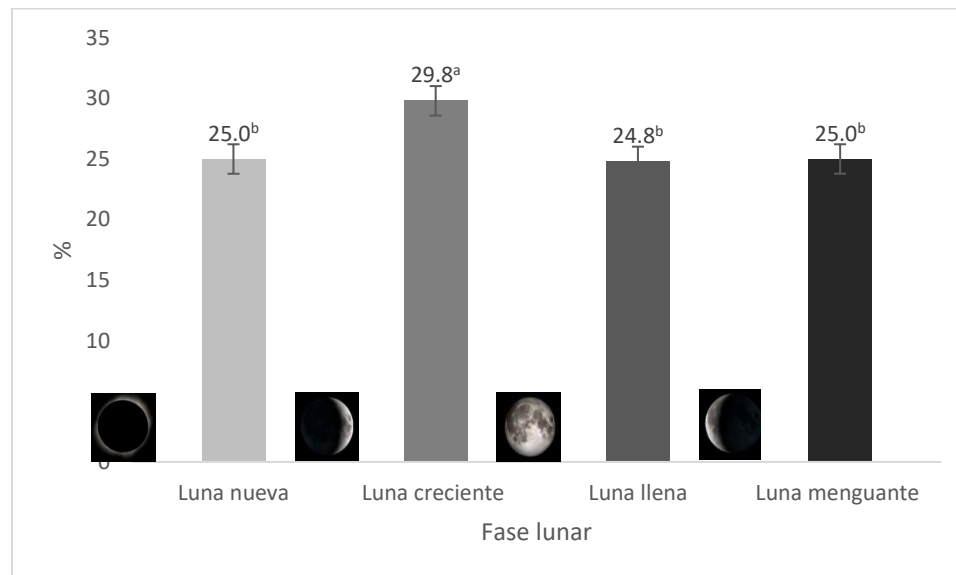


Figura 4. Sobrevivencia de acodos aéreos de *B. alicastrum* Sw. en diferentes fases lunares

CONCLUSIÓN

Los acodos aéreos de *B. alicastrum* en época de lluvias presentan un mayor rendimiento y sobrevivencia al trasplante cuando se realizan en la fase lunar de luna creciente. Existe una alta correlación entre prendimiento de *B. alicastrum* en la fase de acodamiento y su sobrevivencia en fase de vivero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto Efecto de enraizadores orgánicos y fases lunares en el prendimiento de acodos aéreos de *Brosimum alicastrum* y su sobrevivencia en suelos característicos de la región de influencia del tren Maya 19609.24-P.

REFERENCIAS

- Cabrera-Vásquez, A. D., Narváez-Gago, J. M., & Calero-Borge, W. A. (2014). *Los efectos de la luna en la producción agropecuaria*. *Revista Universitaria del Caribe*, 13(2), 21–25.
- Clement, W. L., & Weiblen, G. D. (2009). *Morphological evolution in the mulberry family (Moraceae)*. *Systematic Botany*, 34(3), 530–552.

- Hernández-González, Z., Sahagún-Castellanos, J., Espinosa-Robles, P., Colinas-León, M. T., & Rodríguez-Pérez, J. E. (2014). *Efecto del patrón en el rendimiento y tamaño de fruto en pepino injertado*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(1), 41–47.
- Hernández-González, O., Vergara-Yoisura, S., & Larqué-Saavedra, F. (2015). *Primeras etapas de crecimiento de Brosimum alicastrum Sw. en Yucatán*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 38–49.
- Mera-Andrade, R. I., Artieda-Rojas, J., Muñoz-Espinoza, M., & Romero-Viamonte, K. (2017). *Influencia lunar en cultivos, animales y ser humano*. *Revista de Ciencias, Tecnología e Innovación*, 4(1), 37–47.
- Mex, M. R. E., Jiménez-Osornio, J. J., Montañez-Escalante, P. I., Estrada-Medina, H., & Reyes-Solís, G. C. (2025). *Manejo del ramón (Brosimum alicastrum Sw.) en huertos familiares de Tzucacab, Yucatán, México*. *Polibotánica*, 16(24), 395–410.
- Rosas-González, L. J. (2019). *Influencia de las fases lunares y tipo de injerto en el prendimiento y crecimiento del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) clon ICS-95*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María, Perú.
- Santillán-Fernández, A., Santiago-Santes, O. V., Espinosa-Grande, E., Huicab-Pech, Z. G., Larqué-Saavedra, F. A., & Bautista-Ortega, J. (2021). *Propagación sexual y asexual de Brosimum alicastrum en Campeche, México*. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 34(2), 105–116.
- Santillán-Fernández, A., López-Frías, J. E., Tadeo-Noble, A. E., Barba-Costeño, H., Velasco-Casarez, L., & Vera-López, J. E. (2025). *Zonas potenciales de Brosimum alicastrum Sw. y su variabilidad ante escenarios de cambio climático*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 16(87), 48–71.
- Tarnowski, C. G. (2021). *Evaluación de dos técnicas de acodamiento para la propagación vegetativa del algarrobo Prosopis chilensis (Mol) Stuntz*. *Ciencias Agrarias*, 20(1), 305–315.
- Urrieta-Velázquez, J. A., Macías-Rodríguez, H., & Muñoz-Villalobos, J. A. (2025). *Propagación vegetativa de higueras locales: acodo aéreo y miniestacas*. *Journal of Environmental and Agroecological Science*, 5, 72–77

Efecto de arreglos hormonales y luz LED en la germinación *in vitro* de palma de jipi (*Carludovica palmata* Ruiz & Pavón)

María Jesús Sarao-Pech¹, Karina Verdel-Aranda¹, Delfina Margarita Chan-Uc¹, Lorena Guadalupe Ramón-Canul¹, Gerardo Alfonso Avilés-Ramírez¹, Norma Laura Rodríguez-Ávila^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México /Campus I.T. Chiná, Chiná, Campeche, México. *Autor para correspondencia: norma.ra@china.tecnm.mx

Recibido: 25/08/25; Aceptado: 02/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La palma de jipi (*Carludovica palmata* Ruiz & Pavón) es una especie de valor económico y cultural relevante para las comunidades artesanas de la península de Yucatán. Debido a la baja disponibilidad de materia prima y la lenta tasa de crecimiento de la planta en condiciones naturales, este estudio evaluó el efecto de diferentes arreglos hormonales y tratamientos de luz LED sobre la germinación *in vitro* de semillas de *C. palmata* obtenidas de la región apical, media y basal de infrutescencias maduras. Se aplicaron combinaciones de BAP, GA3, ANA y aditivos como el carbón activado, así como cuatro espectros de luz LED (blanco, rojo, azul y rojo/azul). Los resultados, tras 40 días de incubación, mostraron que la región apical de la inflorescencia presentó la mayor tasa de germinación bajo el tratamiento hormonal con BAP (2 mg/L), GA3 (0.04 mg/L) y ANA (0.10 mg/L), especialmente bajo luz LED roja/azul. Este trabajo establece un protocolo preliminar para la propagación eficiente *in vitro* de esta especie.

Palabras clave: Germinación *in vitro*, luz LED, reguladores de crecimiento, propagación vegetal.

ABSTRACT

The jipi palm (*Carludovica palmata* Ruiz & Pavón) is a species of relevant economic and cultural value for the artisan communities of the Yucatan Peninsula. Due to the low availability of raw material and the slow growth rate of the plant under natural conditions, this study evaluated the effect of different hormonal arrangements and LED light treatments on the *in vitro* germination of *C. palmata* seeds obtained from the apical, middle and basal region of mature infructescences. Combinations of BAP, GA3, ANA, and additives such as activated carbon were applied, as well as four LED light spectrums (white, red, blue, and red/blue). The results, after 40 days of incubation, showed that the apical region of the inflorescence presented the highest germination rate under hormonal treatment with BAP (2 mg/L), GA3 (0.04 mg/L) and ANA (0.10 mg/L), especially under red/blue LED light. This work establishes a preliminary protocol for the efficient *in vitro* propagation of this species.

Key words: *in vitro* germination, LED light, growth regulators, plant propagation.

INTRODUCCIÓN

Carludovica palmata, conocida como palma de jipi, es utilizada tradicionalmente en la elaboración de artesanías, como los sombreros de Panamá o de jipijapa, por sus fibras flexibles (Fadiman, 2001). Su importancia económica ha llevado a la implementación de estrategias de cultivo y propagación *in vitro* para su conservación y aprovechamiento sostenible (Guillén et al., 2019), ya que las poblaciones de esta especie son escasas y condicionadas por su alta demanda de sombra y agua. El cultivo *in vitro* permite la producción masiva de plantas libres de patógenos, pero su eficiencia depende de factores como el tipo de reguladores de crecimiento y las condiciones de luz. Estudios previos indican que la germinación *in vitro* se inicia a partir de la tercera semana de cultivo, momento en el cual se induce la activación germinativa de las semillas. Hoyos-Sánchez y cols. (2020) reportaron la efectividad del ácido indolacético (IAA, 0.025 mg. L⁻¹), la 6-bencilaminopurina (BAP, 0.02 mg. L⁻¹) y el ácido giberélico (GA3 0.02 mg. L⁻¹) en la inducción germinación de semillas de palma de jipi, alcanzando

un porcentaje de germinación del 88.2%. Sin embargo, al ensayarse en el equipo de trabajo esta composición del medio, se obtuvo una tasa de germinación menor (Ku-Muñoz, 2023).

Por otro lado, la calidad, intensidad y fotoperiodo de la luz desempeñan un papel fundamental en el desarrollo vegetal, ya que regulan diversas respuestas fisiológicas (Tejero, 2022). Aunque la información sobre los efectos específicos de la luz azul es limitada, se ha reportado que contribuye al crecimiento vigoroso, la diferenciación celular y un aumento en la biosíntesis de pigmentos fotosintéticos, como la clorofila y los carotenoides, en cultivos *in vitro* (Murillo-Talavera et al., 2016). De acuerdo con lo anterior, el presente estudio se enfocó en determinar las combinaciones más efectivas de GA3 y BAP, considerando ANA (ácido naftalenacético) a baja dosis con el fin de favorecer la formación de raíces de las plántulas obtenidas, incrementando su crecimiento y la tasa de supervivencia en la aclimatación y carbón activado. El carbón activado se ha empleado ampliamente en cultivo *in vitro* por su capacidad de adsorber compuestos inhibidores, lo que favorece el crecimiento y el desarrollo celular. Este efecto lo convierte en un componente clave en diversos procesos de la micropropagación, como la germinación (Thomas, 2008). Finalmente, las plántulas establecidas en dichos medios fueron incubadas bajo tratamientos luminosos de luz LED incluyendo luz roja, azul/roja, azul y blanca, con el fin de evaluar su efecto en la germinación de las semillas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal del I.T. Chiná. Se colectaron infrutescencias maduras de *C. palmata* de Santa Cruz Ex-Hacienda, Calkiní Campeche, México. Con ayuda de pinzas de disección, se extrajeron las semillas localizadas en la región apical, media y baja de las infrutescencias, tratándolas de forma separada en los pasos experimentales subsecuentes. Se dejaron secar en toallas de papel durante 24 h a T.A. Se sumergieron en una solución acuosa al 3% (p/v) de NaClO con cinco gotas de jabón antibacterial comercial durante 20 minutos en una cabina de flujo laminar. Las semillas se lavaron en una solución de etanol al 95% (v/v) durante un minuto y se les realizó un lavado con agua estéril por cinco minutos.

Condiciones del cultivo *in vitro*. Las semillas desinfectadas se sembraron en medio MS suplementados con 30 g.L⁻¹ de sacarosa y distintas combinaciones de BAP, GA3 y ANA. Se probaron seis ensayos hormonales (Cuadro 1) y cuatro combinaciones de luz LED: blanca, azul, roja y rojo/azul. El experimento se llevó a cabo durante cuatro semanas, evaluando el porcentaje de germinación por tratamiento hormonal y luminoso y región de las infrutescencias de las que fueron extraídas las semillas.

Cuadro 1. Tratamientos hormonales utilizados en el cultivo *in vitro* de *Carludovica palmata*

Prueba	Hormonas (concentraciones)	Otros componentes	Objetivo
Prueba 1	BAP (2 mg/L), GA3 (0.02 mg/L), ANA (0.10 mg/L)	Mioinositol, Tiamina, Piridoxina, MS, sacarosa, carbón activado, Phytigel	Inducir germinación y multiplicación de los brotes obtenidos. El carbon activado
Prueba 2	BAP (2 mg/L), GA3 (0.04 mg/L), ANA (0.10 mg/L)	Igual a prueba 1, pero mayor cantidad de GA3	Inducir germinación y elongación y desarrollo celular

Prueba	Hormonas (concentraciones)	Otros componentes	Objetivo
Prueba 3	BAP (2 mg/L), GA3 (0.02 mg/L), ANA (0.10 mg/L)	Igual a prueba 2, sin carbón activado	Evaluar efecto de la ausencia de carbón activado
Prueba 4	BAP (2 mg/L), GA3 (0.04 mg/L), ANA (0.10 mg/L)	Igual a prueba 3, aumento de GA3	Evaluar impacto del incremento de GA3

BAP= 6-bencilaminopurina; GA3= Ácido giberélico; ANA= ácido 1-naftalenacético

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las semillas extraídas de la región apical de las infrutescencias presentaron los mayores porcentajes de germinación con el tratamiento de fitorreguladores conformado por 2 mgL⁻¹ de BAP, 0.02 mgL⁻¹ de GA3 y 0.10 mgL⁻¹ de ANA y carbón activado (5 gL⁻¹) (Cuadro 2). Dado que a los 25 días post-siembra se observó aún un bajo porcentaje de germinación, se decidió replicar el experimento incrementando al doble la dosis de GA3, empleando solo las semillas aisladas de la región apical e implementando los diferentes arreglos luminosos de luz LED previamente descritos. Cabe señalar que las plántulas obtenidas con esta composición del medio mostraron un lento crecimiento (Figura 1A).

Cuadro 2: Resultados de germinación obtenidos en medio semisólido MS suplementado con BAP (2 mgL⁻¹), GA3 (0.02 mgL⁻¹) y de ANA (0.10 mgL⁻¹)

Días Post Siembra	Apical	Media	Basal
7	0%	0%	4.34%
15	26%	26%	4.34%
25	34.78%	30.43%	4.34%

BAP= 6-bencilaminopurina; GA3= Ácido giberélico; ANA= ácido 1-naftalenacético.

Así, el tratamiento con BAP (2 mg/L), GA3 (0.04 mg/L), ANA (0.10 mg/L) y carbón activado fue el más efectivo, con una germinación del 68.30 % a los 24 días de siembra, usando semillas extraídas de la parte apical de las infrutescencias bajo luz LED azul (Figura 1B) (datos no mostrados). Adicionalmente, las diferencias entre tipos de luz sugieren un efecto positivo de la luz azul en la activación del metabolismo germinativo.

Los resultados coinciden con estudios previos sobre la influencia de los reguladores de crecimiento y la calidad de la luz en cultivos *in vitro*. La eficacia del GA3 en combinación con BAP y ANA indica un efecto sinérgico sobre la germinación. Asimismo, el uso de luz LED azul/roja parece estimular la actividad fotosintética y metabólica de las semillas, favoreciendo el rompimiento de la latencia y la reproducción de brotes y crecimiento más rápido (Flores-Pérez, et al., 2021) (Figura 2). Sin embargo, hacen falta estudios para corroborar esa hipótesis.



Figura 1. A) Plántulas obtenidas en medio MS suplementado con BAP (2mgL^{-1}), GA3 (0.02mgL^{-1}), ANA (0.10mgL^{-1}) y Carbón activado (5gL^{-1}) tras 30 días post-siembra; B) Plántulas obtenidas en MS suplementado con BAP (2mgL^{-1}), GA3 (0.04mgL^{-1}), ANA (0.10mgL^{-1}) y carbón activado (5gL^{-1}) tras 30 días post siembra.

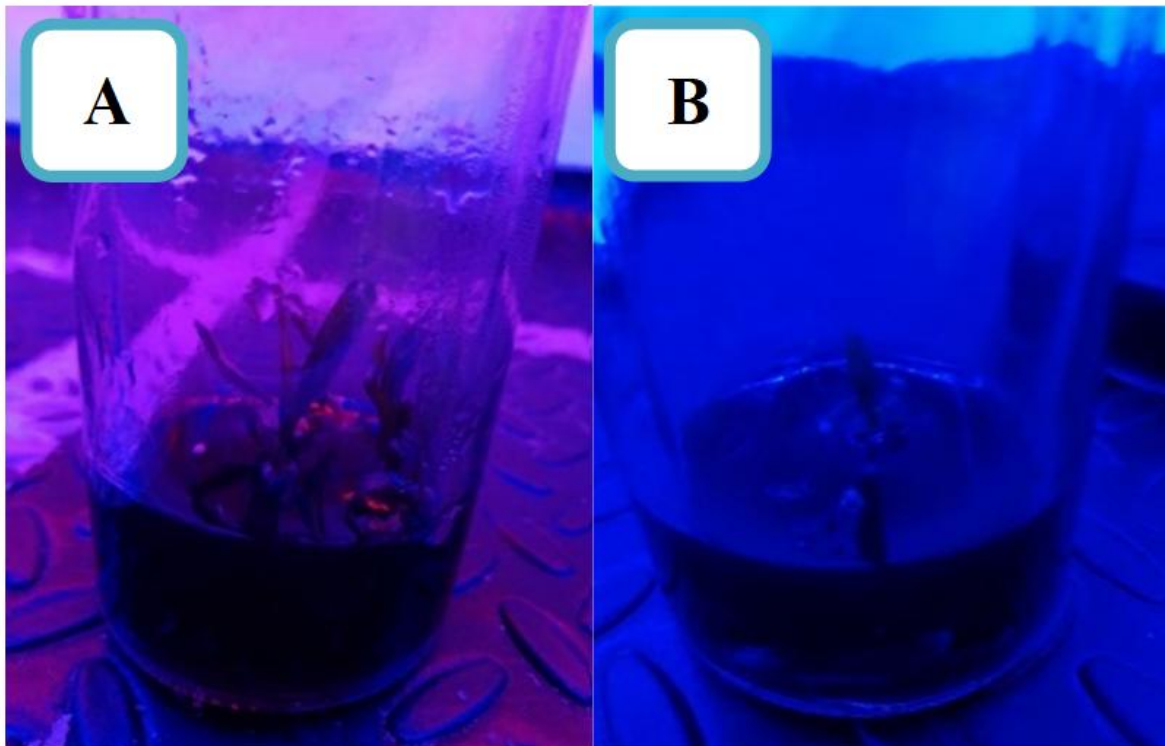


Figura 3: Plántulas obtenidas en MS suplementado con BAP (2mgL^{-1}), GA3 (0.04mgL^{-1}), ANA (0.10mgL^{-1}) y carbón activado (5gL^{-1}) tras 15 días post siembra e incubadas bajo luz LED azul/roja (A) y azul (B)

CONCLUSIÓN

El tratamiento compuesto por BAP (2mgL^{-1}), GA3 (0.04mgL^{-1}) y ANA (0.10mgL^{-1}), bajo luz LED roja/azul, fue el más eficaz para inducir la germinación *in vitro* de semillas apicales de *Carludovica*

palmata. Estos resultados permiten avanzar en el establecimiento de un protocolo de micropropagación de esta especie de importancia artesanal, contribuyendo al aprovechamiento sostenible de sus recursos genéticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado en el marco del proyecto Estrategias para el manejo y conservación de *Carludovica* sp. en zonas de influencia turística del tren maya en el estado de Campeche (Clave 17883.23-P).

REFERENCIAS

- Fadiman, M. (2001). Hat weaving with Jipi, *Carludovica palmata* (Cyclanthaceae) in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Economic Botany*, 55, 539–544.
- Thomas, T. D. (2008). The role of activated charcoal in plant tissue culture. *Biotechnology Advances*, 26(6), 618–631.
- Murillo-Talavera, M., Pedraza-Santos, M., et al. (2016). Efecto de la luz LED en cultivos in vitro. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Guillén, A., et al. (2019). Micropropagación de *Carludovica palmata* para fines artesanales. *Revista Colombiana de Biotecnología*.
- Hoyos-Sánchez, R. A., Chicaíza Finley, D., & Zambrano-Arteaga, J. C. (2020). In vitro multiplication of iraca palm (*Carludovica palmata* Ruíz & Pavón). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(1), 9039–9046.
- Flores-Pérez, S., Castillo-González, A. M., Valdez-Aguilar, L. A., & Avitia-García, E. (2021). Use of different proportions of red and blue LEDs to improve the growth of *Lilium* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 835–847.
- Zambrano-Arteaga, J., Hoyos-Sánchez, C., et al. (2021). Germinación y cultivo in vitro de *Carludovica palmata*. *Revista de Biotecnología Tropical*.
- Tejero, R. (2022). Fotobiología y propagación vegetal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Ku-Muñoz, A. G. (2023). Evaluación del efecto de la luz LED en el crecimiento in vitro de *Carludovica palmata* (palma de jipi). [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche]

Efecto del sustrato en la propagación de estacas de pitahaya

Hermenegildo Cerqueda-Reyes¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández^{2*}, José Cruz Carrillo-Rodríguez³

¹Universidad para el Bienestar Benito Juárez García Huautla. Huautla-Santa Cruz de Juárez, Oaxaca, México. ²Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. ³Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: yortiz@ipn.mx

Recibido: 07/10/25; Aceptado: 02/12/24; Publicado en línea: 20/12/24

RESUMEN

Hylocereus spp. son cactáceas originarias de América, sus frutos se conocen como pitahayas y son plantas de hábito epífita y hemiepífita. En México, la más propagada y cultivada en traspatio, en huertos o de manera comercial es *Hylocereus undatus*. La propagación asexual es común para cactáceas que producen frutos comestibles o para fines de ornato. En este estudio se evaluaron para la propagación de estacas de *H. undatus*, dos tipos de sustratos (arena, fibra de coco y lombricomposta) y dos soluciones nutritivas, bajo un diseño completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento. A los dos meses se observó en las estacas, que las soluciones nutritivas no tuvieron efecto para la longitud y número de raíces, pero sí para el número de brotes. En cuanto al sustrato, la fibra de coco favoreció más la emisión de raíces vigorosas y brotes vegetativos con respecto a los otros dos sustratos.

Palabras clave: *Hylocereus*, cactus trepador, soluciones nutritivas, hidroponía.

ABSTRACT

Hylocereus spp. are cacti native to America, their fruits are known as pitahayas, and they are plants with epiphytic and hemiepiphytic habits. In Mexico, the most widespread and cultivated in backyards, orchards, or commercially is *Hylocereus undatus*. Asexual propagation is common for cacti that produce edible fruits or for ornamental purposes. In this study, two types of substrates (sand and coconut fiber) and two nutrient solutions were evaluated for propagation of *H. undatus* cuttings using a completely randomized design with five replicates per treatment. After two months, nutrient solutions were observed to have no significant effect on the length and number of roots, but they did have an effect on the number of shoots. Regarding the substrate, coconut fiber favored the development of vigorous roots and vegetative shoots more than the other two substrates.

Key words: *Hylocereus*, climbing cactus, nutrient solutions, hydroponics.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de las cactáceas son originarias de América, habitan en las regiones áridas y semiáridas, con sus variadas formas de vida han logrado desarrollarse en diversos ambientes tropicales y templados. Aproximadamente el 7% de las cactáceas existentes, son epífitas, muchas de las cuales se localizan en regiones subtropicales y tropicales (Nobel & Hartsock, 1990), como en el caso de *Hylocereus* spp. (pitahaya). La pitahaya se encuentra en 24 de las 31 entidades federativas de México principalmente en selvas caducifolias y subcaducifolias, caracterizadas como zonas subtropicales (Méráz et al., 2003), siendo *Hylocereus undatus* la más propagada y cultivada, y es la que más ecotipos presenta. *Hylocereus undatus* también se utiliza como portainjerto de varios cactáceas ornamentales de las especies *Zygocactus*, *Epiphyllum* y *Rhipsalis* (Morton, 1987).

La propagación asexual se utiliza para obtener copias (clones) de la planta original y es la más común para cactáceas que producen frutos comestibles o para fines de ornato. A través del tiempo los productores han seleccionado tipos o especies de cactáceas con diversas características (color del fruto, tamaño, precocidad, sabor entre otras) más atractivas. Las ventajas de la propagación asexual es que se conservan las características de las plantas madre, se aprovecha al máximo el material vegetativo porque se pueden utilizar pequeñas fracciones, se acorta el periodo juvenil de la planta y,

en consecuencia, se activa la rápida producción de los frutos (Ortiz & Livera, 1999; Ortiz-Hernández, 1999, 2000). Las plantas enraizadas previamente garantizan un mayor éxito al trasplantar las plantas a su lugar definitivo (Yoldi, 2000, Méraz et al., 2003), recomendándose para ellos diversos tipos de sustrato (Ortiz- Hernández, 1999, 2000). Por otro lado, los sustratos que se utilizan generalmente son materiales sólidos y distintos del suelo in situ, natural, mineral u orgánico, desempeña un papel importante para el soporte de la planta (Abad & Noguera, 1998). El sustrato asegura el mantenimiento del sistema radicular y la estabilidad de la planta, aporta a la planta el agua y los nutrientes necesarios. Por último, la fracción gaseosa asegura las transferencias de O₂ y CO₂ del entorno radicular (Lemaire et al., 2005). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de sustratos con soluciones nutritivas para la propagación de estacas de *H. undatus* a cielo abierto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó a cielo abierto en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, ubicado 93° 38' 30'' latitud oeste y 15° 38' 30'' latitud norte a una altura de 1550 msnm. Se cortaron estacas de pitahaya (*H. undatus*), de 40 cm de tallos de dos años, provenientes de plantas productivas establecidas en campo. Posteriormente se dejaron a la sombra 15 días antes del trasplante como lo recomienda Ortiz-Hernández (1999, 2000). Se llevó a cabo a cielo abierto y bajo malla sombra al 30 %. Los sustratos utilizados fueron: fibra de coco y arena, los cuales se desinfectaron con fungicida-bactericida (estreptomycin + oxitetraciclina, un g/L), suministrado a través del sistema de riego. Se utilizaron bolsas negras de capacidad de 10 litros y los sustratos de arena y fibra de coco. A cada bolsa se le colocó un gotero del sistema de riego. Para el sistema de riego, se utilizó manguera negra del número 40, distribuidores, espadas y tambos de 80 L. Previo al trasplante se aplicó un riego pesado hasta humedecer los sustratos. Se sembraron dos estacas por bolsa de polietileno negro (Figura 1). Se aplicaron dos soluciones nutritivas y con riego por goteo (Cuadro 1 y 2). Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de (Tukey, $\alpha= 0.05$) con el programa estadístico SAS versión 6.

Cuadro 1. Composición del agua de riego, disolución ideal y aportes previstos para preparar la solución nutritiva Steiner.

	Aniones (meq/l)			Cationes (meq/l)		
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Agua de riego	-	0.20	3.55	0.64	3.02	4.55
Disolución ideal	12	1	7	7	9	4
Aportes previstos	12	0.80	3.45	6.36	5.98	-0.55

Cuadro 2. Cantidades de fertilizantes para preparar las soluciones nutritivas.

Fertilizantes solubles	Solución Nutritiva I (concentración baja)	Solución Nutritiva II (concentración alta)
Ca (NO ₃) ₂ (g)	123.90	123.90
K ₂ SO ₄ (g)	52.32	106.00
KH ₂ PO ₄ (g)	61.20	20.40
KNO ₃ (g)	15.16	0.00
H ₂ SO ₄ (ml)	18	18

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x2 con cinco repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: longitud de raíces, número de raíces y brotes por estaca. Las mediciones de las variables se hicieron a los dos meses de iniciado el experimento.



Figura 1. Planta de *H. undatus*; preparación de los sustratos y llenado de bolsas; preparación de estacas, siembra y riego por goteo con y sin soluciones nutritivas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 3 se observan diferencias significativas entre las variables sobresaliendo el efecto de los sustratos. La capacidad de los sustratos para retener la humedad, proporcionar aireación y mantener un equilibrio adecuado de nutrientes promueve el crecimiento saludable y vigoroso de las nuevas plantas (Vadillo & Suni, 2006).

Cuadro 3. Cuadrados medios de raíz y brotes en *H. undatus*.

Fuente de variación	Longitud de raíces	Número de raíces	Número de brotes
Solución nutritiva (SN)	0.06 ns	30.82 ns	6.20*
Sustratos (S)	10.40**	78.02*	5.48*
Interacción SN*	1.86 ns	66.29*	2.14 ns
Media	3.46	13.08	2.25
Coefficiente de variación	30.70	30.89	55.18

ns: no significativa; *significativa, **altamente significativa.

En la comparación de medias de las variables evaluadas (Cuadro 4), se encontraron diferencias significativas para el número de brotes. Martínez et al. (1999) encontraron que la fertilización nitrogenada favorece la emisión de raíces y brotes vigorosos durante la propagación vegetativa de la pitahaya. Vadillo & Suni (2006) mencionan que los sustratos son de relevancia porque mantienen humedad adecuada y pH estable; asimismo, mencionan que sustratos con poca o demasiada retención de humedad afectan el vigor y desarrollo de la planta.

Cuadro 4. Efecto de las soluciones en las estacas de *H. undatus* a los 45 días.

Tratamientos	Longitud de raíces	Número de raíces	Número de brotes
Doble concentración de solución Steiner (concentración alta)	3.53 a	14.67 a	2 a
Solución Steiner (concentración baja)	3.50 a	12.73 a	1 b
Testigo + agua	3.40 a	11.87 a	0 c

Valores con letras iguales en columna son similares entre si según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

En el Cuadro 5 se observa la comparación de medias para el factor sustrato, donde la fibra de coco tuvo mayor efecto para todas las variables (Figura 2, 3), probablemente porque la arena tuvo menor retención de agua. En este estudio la interacción del sustrato con solución nutritiva fue altamente significativa para el número de raíces, pero los sustratos fueron significativos para la longitud y número de raíces y número de brotes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadrados medios de las variables de *H. undatus*.

Fuente de variación	Longitud de raíces	Número de raíces	Número de brotes
Solución nutritiva (SN)	0.06ns	30.82ns	6.20*
Sustratos (S)	10.40**	78.02*	5.48*
Interacción SN*	1.86ns	66.29*	2.14ns
Media	3.46 cm	13.08	2.25
Coefficiente de variación	30.70	30.89	55.18

ns=no significativa; *=significativa; **=altamente significativa.

En el Cuadro 6 se muestra el porcentaje de raíces con diferentes longitudes en las estacas con los sustratos fibra de coco y arena (Figura 2). Solano-Vargas et al. (2023) mencionan que el sustrato de arena y turba con AIB al 98% tuvieron un alto porcentaje de enraizamiento en estacas de café. Vergara-Garces & Caycho-Medranos (2024) encontraron para la pitahaya roja que la combinación de arena más compost generan más brotes (2.14), longitud de brotes (20.83 cm), número de raíces (3.69), longitud de raíces (11.38 cm).

En este caso, las raíces mayores a 8 cm de longitud se obtuvieron con el sustrato fibra de coco y con en la alta o baja concentración de la solución nutritiva. Para raíces de 1 a 3 cm el 100% de raíces emitidas se obtuvo con arena (agua) y arena con la concentración alta de la solución nutritiva. Sin embargo, para la fibra de coco el mejor enraizamiento fue mayor con la fibra de coco más la concentración baja de la solución nutritiva (Cuadro 7, Figura 2, 3).

Cuadro 6. Porcentaje de raíces emitidas por tratamiento.

Tratamiento	1-3 cm	4 -7 cm	>8 cm
Fibra de coco (Testigo)	42.9	38.1	19.0
Arena (Testigo)	100.0	0.0	0.0
Fibra de coco + Concentración baja	22.2	48.1	29.6
Arena +Concentración baja	50.0	50.0	0.0
Fibra de coco + Concentración alta	43.8	18.8	37.5
Arena + Concentración alta	100.0	0.0	0.0



Figura 2. Enraizamiento de estacas con el sustrato de coco en contraste con el sustrato arena.

Cuadro 7. Estacas de *H. undatus* con diferentes sustratos bajo condiciones de hidroponía.

Sustratos	Longitud de raíces (cm)	Número de raíces	Número de brotes
Fibra de coco	4.4 a	15.7 a	1.33 a
Arena	3.2 b	12.3 ab	1.0 b
Lombricomposta	2.8 b	11.3 b	0.66 b

Valores con letras iguales en columna son similares entre si según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Vargas-Santiago et al. (2003) menciona que emplear solamente tierra nativa para enraizar estacas de pitahaya, las raíces emergidas no son vigorosas y tienden a elongarse. En cambio, cuando se utiliza tierra nativa con zeolita, las raíces tienen mayor vigor y son más cortas. Sin embargo, cuando combinaron tierra nativa más estiércol, las raíces fueron más vigorosas y mayor emisión de brotes como también lo señalan Martínez et al. (1999), probablemente debido a la mayor capacidad de retención de humedad del sustrato, lo cual también pudo haber sucedido en este caso al emplear la fibra de coco.

CONCLUSIÓN

Las soluciones nutritivas no tuvieron efecto en el número y longitud de raíces por estaca, pero si para el número de brotes. En cambio, el sustrato de fibra de coco produjo mayor enraizamiento y emisión de brotes vegetativos de las estacas con respecto a los sustratos arena y lombricomposta. El uso de soluciones nutritivas con el sustrato de fibra de coco permitió obtener en dos meses estacas con más brotes vigorosos y abundantes raíces para ser trasplantadas al lugar definitivo, el cual se recomienda sea durante la época de temporal sino se cuenta con riego.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por todas las facilidades y apoyo brindado para realizar esta investigación.



Figura 3. Efecto del sustrato y soluciones nutritivas en estacas de *H. undatus*.

REFERENCIAS

- Abad, B. M., & Noguera, M. P. (1998). *Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación*. En C. Cadahia L. (Ed.), *Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales* (pp. 288–289). Mundi-Prensa.
- Lemaire, F. (2005). *Cultivos en macetas y contenedores: Principios agronómicos y aplicaciones*. Mundi-Prensa.
- Martínez, G. G., López, S. V. M., & Ortiz Hernández, Y. D. (1999). Propagación de estacas de pitaya orejona (*Hylocereus undatus*). En J. R. Aguirre R. & J. A. Reyes A. (Eds.), *Memorias del 8º Congreso Nacional y 6º Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal* (pp. 132–133). San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. ISBN 968-7674-64-4.
- Meráz, A. M. R., Gómez, C. A. M., & Schwentesius, R. (2003). Pitahaya de México: Producción y comercialización en el contexto internacional. En C. A. Flores V. (Ed.), *Pitayas y pitahayas* (pp. 97–121). CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo.
- Morton, J. F. (1987). *Strawberry pear*. En *Fruits of warm climates* (pp. 347–348). Creative Resources Systems, Inc.
- Nobel, P. S., & Hartsock, T. L. (1983). Relationships between photosynthetically active radiation, nocturnal acid accumulation, and CO₂ uptake for a crassulacean acid metabolism plant, *Opuntia ficus-indica*. *Plant Physiology*, 71(1), 71–75.
- Ortiz Hernández, Y. D. (2000). *Hacia el conocimiento y conservación de la pitahaya (Hylocereus spp.)*. IPN-SIBEJ-CONACYT-FMCN.
- Ortiz-Hernández, Y. D. (1999). *Pitahaya: Un nuevo cultivo para México*. Editorial Limusa.
- Ortiz-Hernández, Y. D., & Livera, M. M. (1999). La pitahaya (*Hylocereus spp.*) en la agrobiodiversidad. En Uriel et al. (Eds.), *Agrobiodiversidad campesina* (pp. 205–209). México.
- Solano-Vargas, J. J., Sanchez-Santillan, T., Arévalo López, L. A., & Morales Rojas, E. (2023). Efecto de sustratos y enraizadores en la propagación vegetativa de *Coffea arabica* var. típica en microtúneles. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2), e2627.
- Vargas-Santiago, G., Ortiz-Hernández, Y. D., & Alcántar-González, G. E. (2003). Propagación vegetativa de *Hylocereus undatus* y su relación con el AIB y sustrato. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 48(3), 111–117.
- Vergara-Garcés, R., & Caycho-Medranos, N. (2024). Efecto de tres dosis de bioestimulante con dos tipos de sustrato en la propagación asexual de estacas de pitahaya roja (*Hylocereus hybridum*) bajo condiciones de invernadero. *Revista de Investigación Aporte Santiaguino en Ingeniería e Innovación*, 17(1), 1–12.
- Yoldi, M. (2000). Producción y comercialización de pitahayas en México. *Claridades Agropecuarias*, 14, 10–44.

Germinación de semillas de tres especies de *Hylocereus*

Hermenegildo Cerqueda-Reyes¹, Yolanda Donají Ortiz-Hernández^{2*}, José Cruz Carrillo-Rodríguez³

¹Universidad para el Bienestar Benito Juárez García Huautla. Huautla-Santa Cruz de Juárez, Oaxaca, México. ²Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. ³Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia: yortiz@ipn.mx

Recibido: 07/10/25; Aceptado: 02/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Las especies *Hylocereus* son cactus trepadores que crecen en los bosques tropicales y subtropicales de México. Sus frutos se conocen como pitahayas y su propagación es por semillas y estacas. La germinación de semillas puede variar entre especies y por el ambiente. En esta investigación, se evaluó la germinación de semillas de tres especies: *H. undatus*, *H. monacanthus* y *H. purpusii*. Se extrajeron semillas de 15 frutos maduros de cada especie, y se hizo una muestra combinada, las cuales fueron almacenadas en frascos de color ámbar a temperatura ambiente. Bajo un diseño completamente al azar, cada 15 días se pusieron a germinar 100 semillas en cajas Petri, con tres repeticiones de cada una de las especies en cámaras de crecimiento. A los siete meses la germinación disminuyó gradualmente en *H. undatus* del 92 al 67% y *H. monacanthus* del 96 al 69%; mientras que en *H. purpusii* a los seis meses fue del 20% llegando a ser nula al séptimo mes. Se concluye que las semillas de la pitahaya tienden a perder la viabilidad a través del tiempo, probablemente debido a la temperatura y a la pérdida de humedad durante su almacenamiento.

Palabras clave: Cactácea trepadora, pitahaya, propagación, conservación.

ABSTRACT

Hylocereus spp. are climbing cacti that grow in the tropical and subtropical rainforests of Mexico. Their fruits are known as pitahayas, and they are propagated by seeds and cuttings. Seed germination can vary between species and depending on the environment. In this research, seed germination of three species was evaluated: *H. undatus*, *H. monacanthus*, and *H. purpusii*. Seeds were extracted from 15 ripe fruits of each species, and a combined sample was made, which were stored in amber flasks at room temperature. Under a completely randomized design, 100 seeds were germinated every 15 days in Petri dishes, with three replicates of each species in growth chambers. After seven months, germination gradually decreased in *H. undatus* from 92% to 67% and *H. monacanthus* from 96% to 69%. While in *H. purpusii*, the percentage was 20% at six months, reaching zero at the seventh month. It is concluded that pitahaya seeds tend to lose viability over time, probably due to temperature during storage.

Key words: Climbing cactus, pitahaya, propagation, conservation.

INTRODUCCIÓN

Las cactáceas son fuente de diversos productos alimenticios, industriales, medicinales entre otros. La propagación de las cactáceas puede por semilla, este tipo de propagación proporciona mayor variabilidad genética, que le confiere características diversas que pueden ser aprovechables (Hartman & Kester, 2003). Las semillas de las cactáceas presentan variaciones en forma, tamaño, estructura y color en la testa, en las características del embrión y de los tejidos almacenadores de sustancias nutritivas (Ayala et al., 2004; Godínez et al., 2008). Algunas cactáceas requieren un manejo especial para su germinación y en sus primeras etapas de crecimiento, como en la biznaga, porque su crecimiento es muy lento y requieren de plantas nodrizas que les proporciona sombra y humedad. Otras especies de cactáceas de grandes semillas necesitan de la estratificación y del frío porque sus testas son muy gruesas (León, 2004; Sánchez et al., 2006; Navarro & Deméneghi, 2007). En diferentes cactáceas se menciona que la germinación de las semillas tiene alta correlación con la temperatura, como en *Stenocereus queretaroensis* la cual ocurre entre los 20 y 30°C (Barrera y Nobel, 2003), en *Echinopsis leucantha* a los 27°C alcanzando el 50% de germinación entre los 9 y 11 días

(Méndez & Pérez, 2008). Mientras que en *Mammillaria pectinifera* la escarificación no favorece la germinación y alcanza el 95% de la germinación solamente ante la presencia de agua sin ningún otro tratamiento (Navarro & Deméneghi, 2007). De acuerdo con lo anterior el objetivo de esta investigación fue evaluar la germinación de tres especies de pitahaya *H. undatus*, *H. monacanthus* y *H. purpusii* en cámaras de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el laboratorio y campo experimental del CIIDIR, IPN- Oaxaca, ubicado en el Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, en la región de los Valles Centrales a en 93° 38' 30'' latitud oeste y 15° 38' 30'' latitud norte y a una altura de 1550 msnm. Se seleccionaron frutos maduros de tres especies de pitahaya: *H. undatus*, *H. monacanthus* y *H. purpusii* (Figura 1) las cuales difieren en cuanto a su tamaño y color de fruto (Cuadro 1). Previa a la selección de los frutos, durante la floración se realizó polinización manual para las especies autoincompatibles para tener frutos en evaluación.



Figura 1. Frutos de tres especies de pitahayas.

Cuadro 1. Características del fruto de las tres especies de *Hylocereus*, cosechadas en Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

Nombre científico	<i>H. undatus</i>	<i>H. monacanthus</i>	<i>H. purpusii</i>
Nombre común	Pitahaya blanca o pitajaya blanca	Pitahaya roja o pitahaya espinuda	Pitahaya solferina o pitahayita dulce
Compatibilidad	Autocompatible	Autoincompatible	Autoincompatible
Color de la cáscara	Rosa (fucsia)	Rojo	Rojo
Color de la pulpa	Blanca	Roja	Solferino
Número de escamas foliáceas	23	49	17
Ancho de escamas (cm)	2.5	2	3.6
Longitud de escamas (cm)	2	1.8	2.9
°Brix	8.9	12.3	13.3
Peso fresco de la pulpa (g)	149	598	135
Peso de la cáscara (g)	58	200	36
Peso seco de las semillas (g)	7.93	7.80	1.60
Longitud del fruto (cm)	8.9	10.3	7.9
Grosor de la cáscara (cm)	0.4	0.5	0.2
Peso total del fruto (g)	207	802	172
Número de semillas	4960	2808	1253

Datos promedio de frutos maduros por especie (n=15).

Se eligieron 15 frutos maduros de cada especie: *H. undatus*, *H. monacanthus* y *H. purpusii*, a los cuales se les quitó la cáscara y extrajo la parte comestible (pulpas con semillas). La parte comestible

se colocó en una bolsa de polietileno, y se procedió a machacarla suavemente, dejándola reposar dentro de la bolsa de polietileno durante 24 horas para lograr una mejor separación entre la pulpa y las semillas. Posteriormente, a través de cedazos y lavados con agua corriente se eliminó la pulpa hasta obtener las semillas, y mediante flotación se eliminaron las semillas inmaduras o vanas. Finalmente, las semillas se enjuagaron con agua destilada sin dejar residuos de la pulpa y se colocaron sobre una malla de tela colocadas sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua y se dejaron secar bajo sombra en un lugar ventilado, posteriormente se guardaron las semillas en frascos de vidrio de color ámbar en un lugar fresco y seco.

En cajas Petri se colocaron 100 semillas de cada especie para su germinación y se colocaron en cámaras de crecimiento Biotronette Mark III, Lab. Instrument.s Inc. II., EU. La temperatura de estas cámaras fluctuó durante el día de 23 a 30°C y durante la noche de 10 a 15°C, con 12 h de luz fluorescente. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones de cada especie. Diariamente se contabilizó el número de semillas germinadas por un lapso de 15 días. Cada mes se repitió el mismo procedimiento con las semillas almacenadas. Se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de (Tukey, $\alpha = 0.05$) con el programa estadístico SAS versión 6, y con el paquete Excel se realizaron las gráficas. La altura de las plántulas se midió con un vernier digital partiendo de la base del cuello radical a la parte terminal del ápice superior (Figura 2).

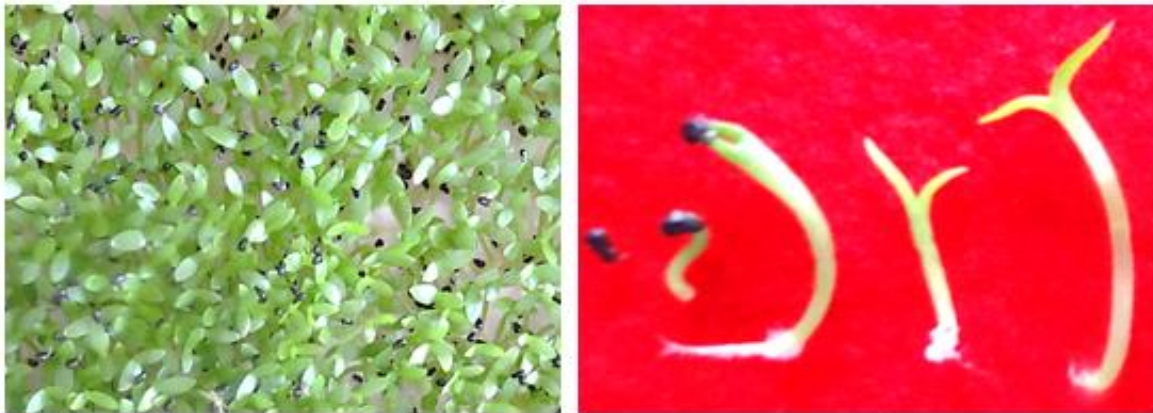


Figura 2. Germinación de semillas y desarrollo de la plántula de *Hylocereus*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de la varianza se observaron diferencias altamente significativas entre el tiempo de almacenamiento (TA) y las especies (E); así como, en la interacción del tiempo de almacenamiento con las especies (TA*E) (Cuadro 2).

Cuadros 2. Cuadros medios del tiempo de almacenamiento y las especies de pitahayas.

Fuente de variación	Cuadrado medio del error
Tiempo de almacenamiento (TA)	294.34**
Especies (E)	2781.01**
Interacción TA*E	66.79**

Altamente significativo $\alpha = 0.05$.

La germinación de la semillas de pitahaya no requirió de tratamientos de pregerminativos, como se señalan para otras cactáceas: *Mammillaria pectinifera* (Navarro & Deméneghi, 2007) o *Ferocactus robustus* (Navarro & González, 2007), o el uso de plantas nodrizas como en *Pterocereus gaumerino* (Méndez et al., 2006), *Cephalocereus chrysacanthus*, *Cephalocereus hoppenstedtii*, *Ferocactus latispinus*, *stenocereus stellatus* y *Wilcoxia viperina* (Álvarez et al., 1997), *Opuntia ficus indica*,

Pilosocereus moritzianus, *Stenocereus griseus*, *Cereus deficiens* y *Cereus hexagonus* (Aubeterre et al., 2006), *Stenocereus gummosus* (León & Domínguez, 1991), probablemente porque la mayoría de éstas especies son de regiones áridas e *Hylocereus* proviene de climas subtropicales a tropicales.

En el Cuadro 3 se observa que estadísticamente sobresalen el primer y segundo mes, con un rango de 86.22 a 79.54% de germinación con respecto a los demás meses, disminuyendo este porcentaje a través del tiempo. A los siete días del primer mes *H. undatus* alcanzó el 92% de germinación, pero en el octavo mes a los 14 días sólo se alcanzó un 69%. En *H. monacanthus* a los siete días la germinación fue del 96%, descendiendo paulatinamente como en el caso anterior, pero fue hasta 16 días después que alcanzó el 67% de germinación (Figura 3). Estos porcentajes de germinación en la etapa inicial son similares a los obtenidos en pitahaya por Castillo & Cáliz de Dios (1997) y Ortiz-Hernández (1999 a,b; 2000), donde obtuvieron el 95% durante los primeros 15 días. En cambio, en *H. purpusii* a los diez días alcanzó el 71% de germinación, disminuyendo rápidamente hasta el 20% en el sexto mes y para el séptimo y octavo mes la germinación fue nula. Probablemente bajo las condiciones empleadas las especies de *Hylocereus* tienden a perder la viabilidad de la semilla en forma gradual antes de un año (Figura 3). Al respecto, Flores (2005) menciona que las semillas de cactáceas tienen buena viabilidad durante un año y pueden seguir germinando 2 o 3 años más con un porcentaje reducido de éxito, en nuestro caso en las tres especies fue disminuyendo su poder germinativo antes de un año.

Cuadro 3. Almacenamiento de semillas de pitahaya

Tiempo (meses)	Porcentaje de germinación
1	86.22 a
2	79.54 ab
3	76.22 b
4	63.76 c
5	61.54 c
6	57.54 c

Porcentaje con letras iguales en columna son similares entre si según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

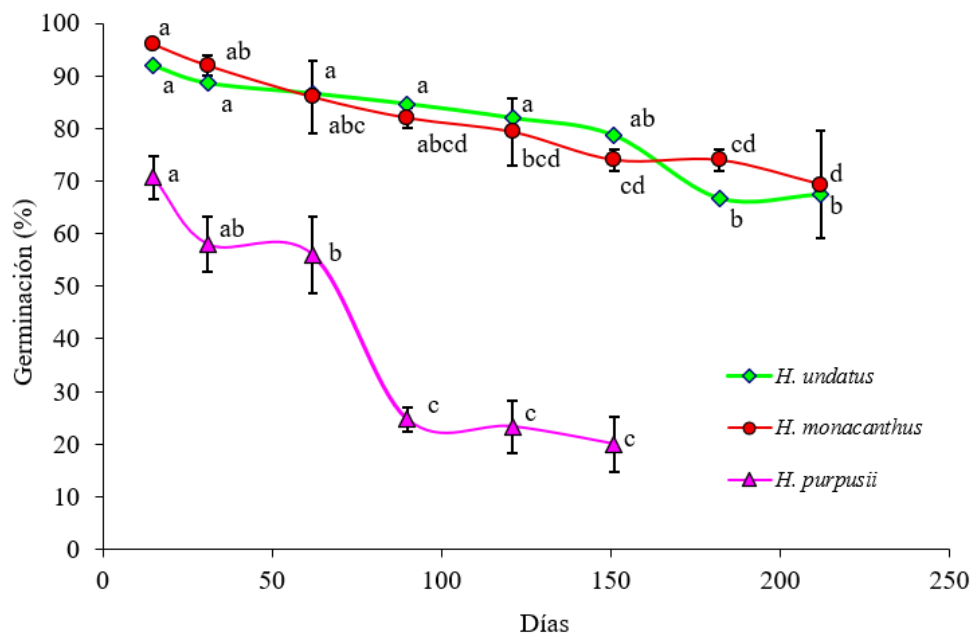


Figura 3. Germinación de semillas de pitahaya.

Pitahaya	Ecuación	R ²	Tasa anual de deterioro (%)
<i>H. undatus</i>	$y = -0.1276x + 94.619$	0.92	46
<i>H. monacanthus</i>	$y = -0.1286x + 95.47$	0.96	46
<i>H. purpusii</i>	$y = -23.344x + 137.75$	0.87	100

Valores con letras iguales son similares entre sí, Tukey ($\alpha = 0.05$).

En el primer mes, *H. purpusii* alcanzó un mayor crecimiento de plántulas (0.0314, R² 0.889) en un 49.69% con respecto a *H. monacanthus* (0.0158, R²=0.927) y mayor a 59.87% a *H. undatus*, y comparando *H. monacanthus* con *H. undatus* esta fue mayor en un 20.26% a *H. monacanthus*. Al séptimo mes, *H. purpusii* alcanzó una tasa de crecimiento (0.018, R² = 0.9548) superior en un 15.56% con respecto a *H. undatus* (0.0152 y R²=0.9192) y 33.88% mayor a *H. monacanthus*. Comparando *H. undatus* con *H. monacanthus* ésta fue mayor en un 21.72% (Figura 4).

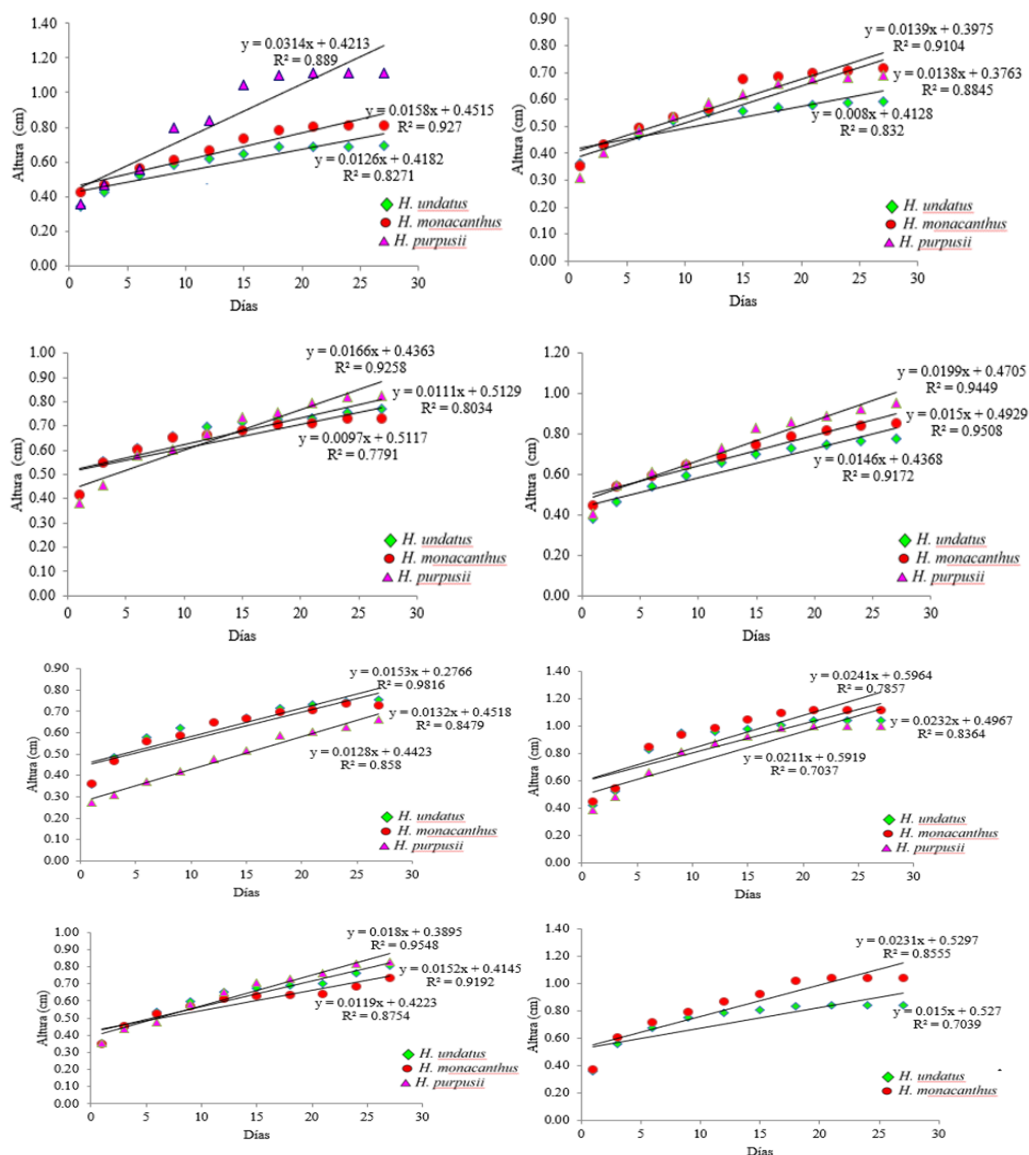


Figura 4. Crecimiento de plántulas por mes de las tres especies de pitahayas.

CONCLUSIÓN

La germinación de las semillas de *H. undatus* y *H. monacanthus* durante los ocho meses evaluados el porcentaje de germinación de germinación fue del 92 al 67% y 96 al 69% respectivamente. Se recomienda emplear temperaturas <30°C para el almacenamiento de semillas, principalmente para *H. purpusii*, porque bajo las condiciones de temperatura en las que se evaluó se afectó su poder germinativo, inclusive al séptimo mes llegó a ser nula, siendo su tasa de deterioro del 100% mientras que para *H. undatus* y *H. monacanthus* fue del 46%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por todas las facilidades y apoyo brindado para realizar esta investigación.

REFERENCIAS

- Álvarez, A. G. M., & Montaña, C. (1997). Germinación y supervivencia de cinco especies de cactáceas del Valle de Tehuacán: Implicaciones para su conservación. *Acta Botánica Mexicana*, 40, 43–58.
- Aubeterre, R., Piñero, Z. R., García, E., & Figarella, A. M. (2006). Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de cinco especies de cactáceas (*Opuntia ficus-indica*, *Pilocereus moritzianus*, *Stenocereus griseus*, *Cereus deficiens* y *Cereus hexagonus*). *Simpósio-Taller: Experiencias en agroforestería ejecutadas o en proceso por el INIA*, 13–17.
- Ayala, C. G., Terrazas, T., López, M. L., & Trejo, C. (2004). Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia*, 29, 692–697.
- Barrera, E., & Nobel, P. S. (2003). Physiological ecology of germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *Science*, 53, 297–306.
- Castillo, M. R., & Cáliz de Dios, H. (1997). Las pitahayas: Un recurso subaprovechado. *Ciencia y Desarrollo*, 136, 52–57.
- Flores, J., & Arredondo, E. (2005). Comparative seed germination in species of *Turbinicarpus*: An endangered cacti genus. *Natural Areas Journal*, 25, 183–187.
- Godínez, A. G., Jiménez, M., Mendoza, M., Pérez, F., Roldán, P., Ríos, C. L., & Lira, R. (2008). Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79, 393–403.
- Hartman, T. H., & Kester, E. D. (2003). *Plant propagation: Principles and practices*. Prentice-Hall, Inc.
- León, J. (2004). *Propagación de cactáceas a partir de semillas y esquejes*. Investigación documental. Biología, México, 18 p.
- León, L. J. L., & Domínguez, C. R. (1991). Evaluación de la reproducción de semilla de la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*) en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana*, 14, 75–87.
- Méndez, E., & Pérez, G. S. B. (2008). Germinación de *Echinopsis leucantha* (Cactaceae): Efectos de temperatura y concentraciones de calcio. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*, 40(2), 91–96.
- Méndez, M., Dorantes, A., Dzib, G., Argáez, J., & Durán, R. (2006). Germinación y establecimiento de plántulas de *Pterocereus gaumeri*, una cactácea columnar, rara y endémica de Yucatán, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 79, 33–41.
- Navarro, M. C., & Deméneghi, A. P. (2007). Germinación de semillas y efecto de las hormonas en el crecimiento de *Mammillaria pectinifera*. *Zonas Áridas*, 11, 217–226.
- Navarro, M. C., & González, E. M. (2007). Efecto de la escarificación de semillas en la germinación y crecimiento de *Ferocactus robustus* (Pfeiff.) Britton & Rose (Cactaceae). *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, Puebla, México, 195–205.
- Ortiz-Hernández, Y. D. (1999a). *Pitahaya: Un nuevo cultivo para México*. Editorial Limusa.
- Ortiz-Hernández, Y. D., & Livera, M. M. (1999b). La pitahaya (*Hylocereus spp.*) en la agrodiversidad. En Uriel et al. (Eds.), *Agrodiversidad campesina* (pp. 205–209). México.
- Ortiz-Hernández, Y. D. (2000). *Hacia el conocimiento y conservación de la pitahaya (Hylocereus spp.)*. IPN-SIBEX-CONACYT-FMCN.
- Sánchez, D., Arends, E., Villarreal, A., & Cegarra, A. (2006). Fenología y caracterización de semillas y plántulas de la especie *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Sprengel) Schumann. *Plantula*, 4(1), 49–54.

Sánchez-Salas, J., Flores, J., & Martínez-García, E. (2006). Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma*. *Interciencia*, 31(5), 371–375.

Aislamiento de microorganismos del suelo con capacidad antagónica y entomopatógena en San Vicente, Baja California

Salvador Elizarrarás-López¹, Salvador Ordaz-Silva², Jorge Luis Delgadillo-Ángeles², José Guadalupe Pedro-Méndez^{2*}, Imelda Virginia López-Sánchez², Nancy Alonso-Hernandez³, Laura Dennisse Carrasco-Peña¹, Carlos Granados-Echegoyen³

¹Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México. ²Centro de Investigación y Estudios Superiores en Microbiología Aplicada, México. ³SECIHTI-Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Unidad Oaxaca, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: salvadorelizarraras@uabc.edu.mx

Recibido: 20/08/25; Aceptado: 02/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

El suelo es un reservorio dinámico de microorganismos que cumplen funciones esenciales en la fertilidad, la degradación de materia orgánica y el control natural de plagas agrícolas. En este estudio se realizó el aislamiento y la caracterización morfológica de microorganismos del suelo con capacidad antagónica y entomopatógena en la región de San Vicente, Baja California, México. Se colectaron ocho muestras de suelo a una profundidad de 30 cm, en sitios representativos de zonas semiáridas con abundante hojarasca y vegetación nativa. Los aislamientos se realizaron mediante bioensayos con larvas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) y cultivos en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) y medio cerebro-corazón. Se identificaron hongos entomopatógenos de los géneros *Beauveria* y *Metarhizium*, nematodos entomopatógenos y bacterias del género *Bacillus*. Las pruebas de antagonismo in vitro frente a los hongos fitopatógenos *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia* sp. y *Fusarium* sp. mostraron que la cepa M7E de *Bacillus* presentó una inhibición del 50% contra *B. cinerea*. Los resultados evidencian la presencia de microorganismos nativos con potencial de uso en programas de manejo biológico de plagas agrícolas, lo cual representa una alternativa viable y ecológicamente sustentable frente al uso de pesticidas químicos.

Palabras clave: *Beauveria*, *Metarhizium*, *Bacillus*, antagonismo, entomopatógenos, suelo agrícola.

ABSTRACT

Soil is a dynamic reservoir of microorganisms that play essential roles in fertility, organic matter decomposition, and natural pest control. This study reports the isolation and morphological characterization of soil microorganisms with antagonistic and entomopathogenic capacity in San Vicente, Baja California, Mexico. Eight soil samples were collected at a 30 cm depth in semi-arid zones with abundant litter and native vegetation. The isolations were performed through bioassays with *Tenebrio molitor* larvae and culturing on Potato Dextrose Agar (PDA) and brain-heart infusion media. Entomopathogenic fungi from the genera *Beauveria* and *Metarhizium*, entomopathogenic nematodes, and bacteria of the genus *Bacillus* were identified. In vitro antagonism tests against *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia* sp., and *Fusarium* sp. revealed that *Bacillus* strain M7E exhibited 50% inhibition against *B. cinerea*. These findings demonstrate the presence of native microorganisms with potential use in biological pest management programs, representing a viable and ecologically sustainable alternative to chemical pesticides.

Key words: *Beauveria*, *Metarhizium*, *Bacillus*, antagonism, entomopathogens, soil microbiota.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un sistema biológico complejo donde interactúan diversos organismos que regulan procesos esenciales como la mineralización, la formación de humus, el reciclaje de nutrientes y la supresión natural de patógenos (Hu & Yin, 2024). Entre estos organismos, los hongos, bacterias y nematodos entomopatógenos constituyen actores fundamentales en la regulación de poblaciones de insectos fitófagos, aportando un equilibrio ecológico que reduce la dependencia del control químico.

La agricultura moderna enfrenta un doble desafío: mantener la productividad y disminuir el impacto ambiental causado por el uso de plaguicidas sintéticos. La aplicación indiscriminada de estos

productos ha generado resistencia en múltiples especies de plagas y ha afectado la biota edáfica benéfica. Frente a ello, los agentes microbianos nativos del suelo representan una alternativa sostenible y localmente adaptada para el control biológico de insectos y enfermedades agrícolas (Villalobos, 1992). Los hongos entomopatógenos, particularmente *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, son ampliamente reconocidos por su capacidad de infectar insectos a través del tegumento, invadir su hemocelo y causar su muerte mediante la producción de enzimas hidrolíticas y toxinas (Ferron, 1978; Hajek & Leger, 1994). Estos microorganismos han sido utilizados en programas de manejo integrado de plagas (MIP) en cultivos de maíz, algodón, café, caña de azúcar y hortalizas.

Por otro lado, las bacterias del género *Bacillus* se caracterizan por su capacidad para producir endosporas resistentes y metabolitos secundarios con actividad antibiótica, antifúngica y promotora del crecimiento vegetal (Benítez et al., 2004). Su uso como agentes de biocontrol se ha extendido frente a fitopatógenos como *Fusarium* spp. y *Botrytis* spp., mediante mecanismos de antagonismo, competencia por nutrientes y antibiosis (Cook & Baker, 1983). La presente investigación tuvo como objetivo aislar e identificar microorganismos del suelo con capacidad antagonica y entomopatógena en San Vicente, Baja California, y determinar su potencial para el control biológico de plagas agrícolas, bajo condiciones locales semiáridas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la región de San Vicente, Baja California, México (31°16'N, 116°02'O), a una altitud promedio de 190 m s.n.m. El clima es semiárido, con temperatura media anual de 17 °C y precipitaciones menores a 300 mm. La vegetación predominante está compuesta por cactáceas, mezquites, arbustos xerófilos y hojarasca, que generan un microambiente favorable para la diversidad microbiana del suelo.

Se recolectaron ocho muestras de suelo a una profundidad de 30 cm en áreas sin manejo químico reciente, utilizando una barrena esterilizada. Cada muestra fue colocada en bolsas plásticas rotuladas y trasladada al laboratorio de microbiología para su procesamiento. Las coordenadas de los puntos de muestreo se registraron mediante GPS (altitud: 185–226 m).

Bioensayos con *Tenebrio molitor*. Para detectar microorganismos entomopatógenos, se colocaron 50 g de cada muestra de suelo en recipientes plásticos, humedecidos con agua destilada y expuestos a 10 larvas de *T. molitor*. Los recipientes se mantuvieron a temperatura ambiente (25–28 °C) y humedad relativa de 80%. La mortalidad larvaria se registró cada 24 h durante una semana.

Aislamiento e identificación de hongos. Las larvas infectadas se transfirieron a medios de cultivo PDA estériles, utilizando la técnica de estría con asa metálica desinfectada. Las cajas Petri se incubaron a 28 ± 3 °C por 4–6 días. Los aislados se identificaron morfológicamente según la coloración del micelio, la forma de las conidias y la disposición de los conidióforos, comparando con claves taxonómicas de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* (Lecuona, 1996).

Aislamiento de bacterias. Las bacterias se aislaron mediante diluciones seriadas (1×10^{-8}) a partir de 1 g de suelo en agua destilada estéril. Se sembraron en medio cerebro-corazón y agar bacteriológico, incubándose a 28 ± 3 °C durante 72 h. Se seleccionaron las colonias Gram positivas de morfología típica de *Bacillus* y se purificaron por resiembra.

Prueba de antagonismo. Las cepas bacterianas purificadas se enfrentaron a los hongos fitopatógenos *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia* sp. y *Fusarium* sp. en placas de Petri con medio PDA. Se colocó un disco de micelio del hongo en un extremo y una estría de la bacteria en el opuesto. Las placas se incubaron por 7 días y se midió el crecimiento radial del hongo hacia la bacteria. El porcentaje de inhibición (GI) se calculó con la fórmula de Skidmore & Dickinson (1976): $GI = (Kr - r1) / Kr \times 100$; donde Kr es el crecimiento radial del testigo y r1 el crecimiento en presencia del antagonista.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad microbiana observada. Las ocho muestras de suelo mostraron presencia de microorganismos con actividad entomopatógena. Se identificaron hongos de los géneros *Beauveria* y *Metarhizium* y nematodos entomopatógenos asociados. Los aislamientos se distribuyeron de la siguiente manera: seis muestras con *Beauveria bassiana*, una con *Metarhizium anisopliae* y todas con nematodos simbióticos. Los síntomas en las larvas incluyeron parálisis, melanización, rigidez del cuerpo y posterior cubrimiento por micelio blanco o verdoso. Las larvas infectadas con *B. bassiana* presentaron micelio algodonoso blanco, mientras que las infectadas con *M. anisopliae* mostraron micelio verde oliva característico (Figura 1A, 1B). Los nematodos entomopatógenos, observados mediante estereoscopio, invadieron las larvas por aberturas naturales, mostrando signos de hemocelo degradado y tejidos licuados (Figura 1C).

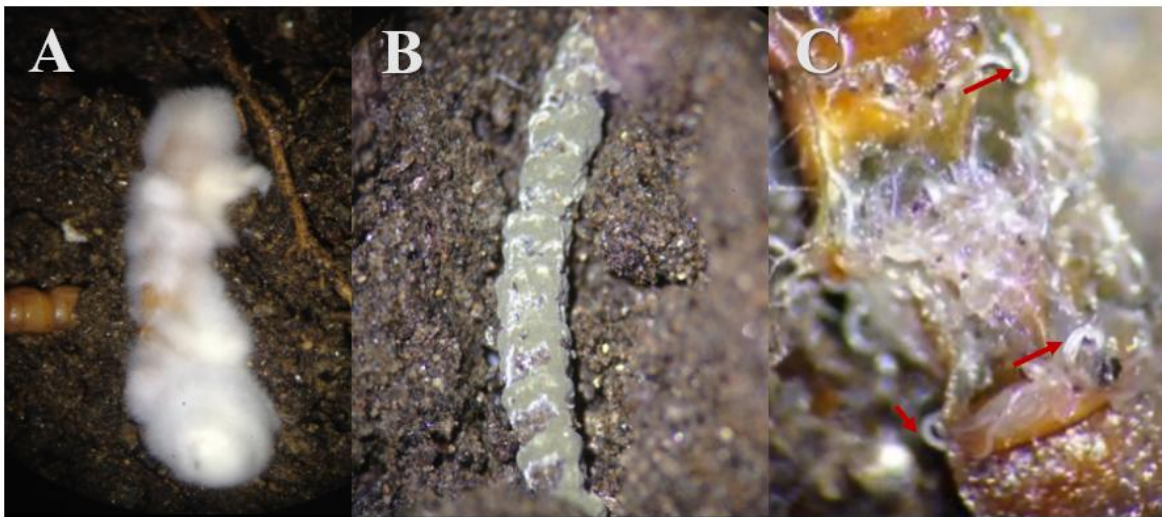


Figura 1. Larva de *Tenebrio* infectada completamente por *Beauveria bassiana*, B) Larva de *Tenebrio* infectada por *Metarhizium*, C) Nematodos entomopatógenos invadiendo larva de *Tenebrio*.

Pruebas de antagonismo bacteriano. De las bacterias aisladas, las cepas M7E, M8E y M2C mostraron actividad antifúngica variable frente a *Botrytis cinerea*. La cepa M7E presentó un 50% de inhibición radial, mientras que las otras cepas no superaron el 25%. Ninguna mostró efecto frente a *Fusarium* ni *Sclerotinia*. El crecimiento de *Bacillus* M7E produjo halos claros de inhibición visibles a las 72 h, indicando liberación de metabolitos antibióticos o enzimas hidrolíticas con efecto fungistático (Figura 2, 3). Este resultado coincide con lo reportado por Reinoso-Pozo et al. (2006) y Rodas-Junco et al. (2009), quienes demostraron la capacidad de *Bacillus* spp. para producir quitinasas y proteasas con acción inhibitoria sobre patógenos.

Implicaciones ecológicas y aplicadas. La coexistencia de *Beauveria*, *Metarhizium*, nematodos y *Bacillus* en un mismo entorno confirma la riqueza microbiana del suelo y su potencial para desarrollar formulaciones biocontroladoras combinadas, donde se aprovechen los distintos mecanismos de acción (parasitismo, antibiosis y competencia). Estos hallazgos fortalecen la hipótesis de que los suelos nativos, no expuestos a manejo intensivo, constituyen reservorios naturales de microorganismos con alto potencial de adaptación y efectividad local, lo cual es esencial para el diseño de bioinoculantes autóctonos.

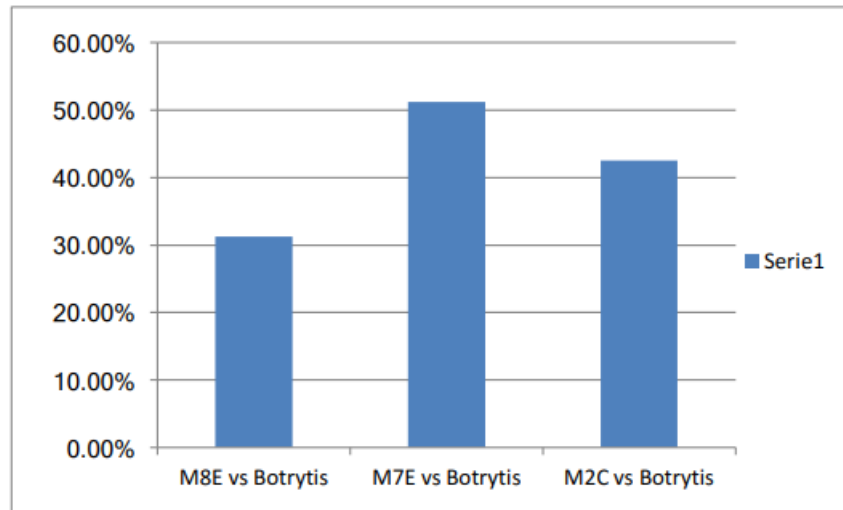


Figura 2. Porcentaje de inhibición de las cepas vs hongo patógeno.

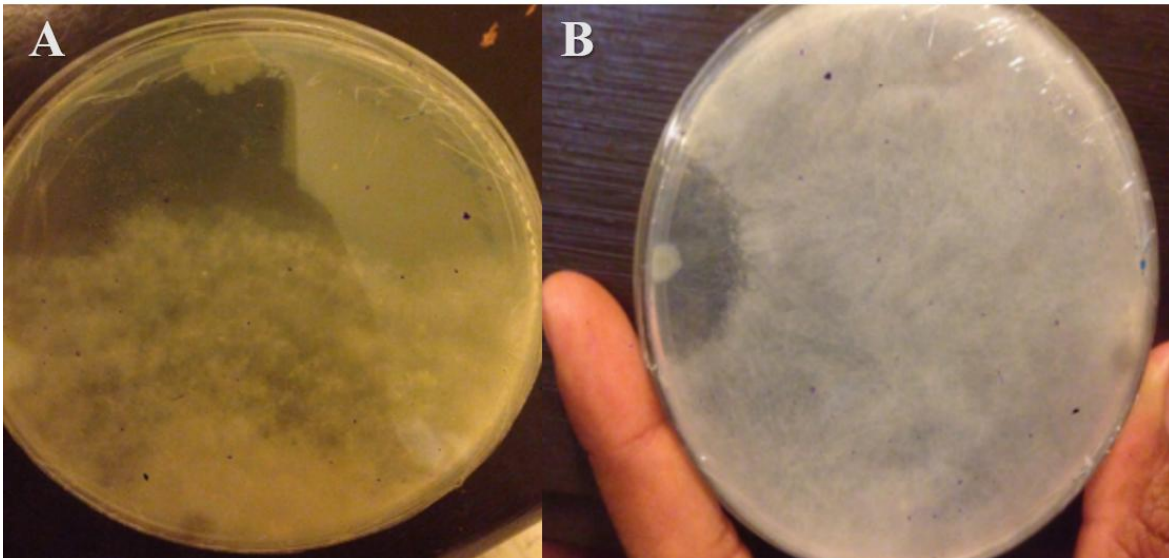


Figura 3. Antagonismo de Bacteria vs *Botrytis cinerea*.

CONCLUSIÓN

Los suelos semiáridos de San Vicente, Baja California, albergan una diversidad significativa de microorganismos entomopatógenos y antagonistas. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* se establecen como los principales agentes entomopatógenos nativos de la región. Las bacterias del género *Bacillus*, particularmente la cepa M7E, presentaron una notable inhibición frente a *Botrytis cinerea*, lo que sugiere su potencial como biocontrolador de hongos fitopatógenos. Los resultados sientan las bases para el desarrollo de bioensayos de campo orientados al uso combinado de hongos, bacterias y nematodos nativos en programas de manejo biológico de plagas.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento al Dr. Salvador Ordaz Silva por su valiosa asesoría y acompañamiento académico, al M.B.C. Jorge Luis Delgadillo Ángeles por su apoyo técnico en los procesos de aislamiento microbiano, y al M.C. José Guadalupe Pedro Méndez por su colaboración en

los bioensayos. Se agradece a la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín (UABC) por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Benítez, T., Rincón, A. M., Limón, M. C., & Codón, A. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, 7, 249–260.
- Cook, R. J., & Baker, R. (1983). *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. APS Press.
- Ferron, P. (1978). Biological control of insect pests by entomopathogenic fungi. *Annual Review of Entomology*, 23, 409–442.
- Hajek, A. E., & St. Leger, R. J. (1994). Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annual Review of Entomology*, 39, 293–322.
- Hu, P., Ma, Y., & Yin, Y. (2024). The mechanisms and application prospects of soil microorganisms in soil health. *Geographical Research Bulletin*, 3, 606-624.
- Lecuona, R. E. (1996). *Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga*. Talleres Gráficos Mariano.
- Reinoso-Pozo, Y., Casadesús-Romero, L., García-Suárez, A., Gutiérrez-Pérez, J., & Álvarez-Rivera, V. (2006). Isolation and identification of *Bacillus* spp. antagonistic to *Pectobacterium carotovorum*. *Fitosanidad*, 10(3), 187–191.
- Rodas-Junco, B. A., Quero-Bautista, M., Magaña-Sevilla, H. F., & Reyes-Ramírez, A. (2009). Native *Bacillus* strains with chitinolytic and proteolytic activity isolated from tropical soils. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(1), 107–113.
- Skidmore, A. M. y Dickinson, C. H. (1976) Colony interactions and hyphal interference between *Septoria nodorum* and phylloplane fungi. *Transactions of the British Mycological Society*, 66(1), 57-64.
- Villalobos, F. (1992). Control microbiano de plagas agrícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 15, 87–95.

Etnobotánica del gigantón (*Tithonia diversifolia* L.) en comunidades nahuas de Zongolica, Veracruz, México

Dulce María Hernández-Tepole¹, Ricardo Serna-Lagunes², César Sotelo-Leyva³, Emmanuel de Jesús Ramírez-Rivera¹, Carlos Granados-Echegoyen⁴, Rogelio Limón-Rivera¹, Gregorio Hernández-Salinas^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica – Maestría en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, Zongolica 95005, Veracruz, México. ²Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. ³Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero, Guerrero, México. ⁴SECIHTI-Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: gregorio_18_18@live.com.mx

Recibido: 16/10/25; Aceptado: 16/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

Los estudios etnobotánicos permiten revalorizar los conocimientos tradicionales sobre las plantas; sin embargo, estos saberes se están perdiendo debido a diversos factores. Por ello, el objetivo del presente estudio fue documentar el conocimiento etnobotánico del gigantón (*Tithonia diversifolia*) en dos comunidades nahuas de Zongolica, Veracruz, México. El estudio se realizó mediante la técnica de la entrevista por el método no probabilístico bola de nieve. Se lograron entrevistar 67 personas. Se diseñó un cuestionario semi-estructurado que constó de variables socio-demográficas, ecológicas y usos, el cual fue validado mediante un piloteo, después se ajustó y se aplicó. Los datos recolectados fueron capturados en el programa de Excel® posteriormente se hicieron los estadísticos descriptivos y el análisis de frecuencias. Del total de los entrevistados, el 54% fueron mujeres y el 46% hombres, con edades que oscilaron entre los 18 a 88 años. Se documentaron múltiples usos tradicionales que se le asigna a *T. diversifolia*, siendo el más frecuente el medicinal. Así, se reportaron usos relacionados con la presión arterial, alergias y dolor de riñón. Además, se reconoció su uso en la medicina tradicional como infusión, aplicación directa de la planta fresca sobre la piel. Los informantes mencionaron que la planta es utilizada como remedio para tratamiento dermatológico como la comezón, salpullido, varicela y granos. En menor medida, se identificaron usos forrajeros (para chivos, borregos y conejos), alimenticios (para aves de traspatio) y ornamentales. Los entrevistados mencionaron que la planta de *T. diversifolia* crece principalmente en zonas de terrenos inclinados, siguiéndole los terrenos planos, partes húmedas, ya sea en la milpa o bien junto con plantas catalogadas como maleza, en zonas perturbadas, laderas, caminos y bordes de parcelas, y florece especialmente durante la temporada de lluvias. Las comunidades nahuas de la Sierra de Zongolica reflejan un vasto conocimiento sobre *T. diversifolia* que debe ser revalorizado y a su vez permita la conservación y aprovechamiento de esta planta nativa de México.

Palabras clave: Conocimiento tradicional, medicinal, plantas nativas, saberes locales, usos tradicionales.

ABSTRACT

Ethnobotanical studies make it possible to revalue traditional knowledge about plants; however, this knowledge is gradually being lost due to various factors. Therefore, the aim of the present study was to document the ethnobotanical knowledge of gigantón (*Tithonia diversifolia*) in two Nahua communities of Zongolica, Veracruz, Mexico. The study was carried out through interviews using the non-probabilistic snowball sampling method. A total of 67 individuals were interviewed. A semi-structured questionnaire was designed, consisting of socio-demographic, ecological, and use-related variables; it was validated through a pilot test, subsequently adjusted, and then applied. The data collected were entered into Excel®, and descriptive statistics and frequency analyses were performed. Of all interviewees, 54% were women and 46% were men, with ages ranging from 18 to 88 years. Multiple traditional uses of *T. diversifolia* were documented, with medicinal use being the most frequent. Reported uses included treatments for high blood pressure, allergies, and kidney pain. In traditional medicine, the plant is used as an infusion or applied directly as fresh plant material on the skin. Informants mentioned that the plant is used as a remedy for dermatological conditions such as itching, rash, chickenpox, and skin eruptions. To a lesser extent, fodder uses (for goats, sheep, and rabbits), food uses (for backyard poultry), and ornamental uses were identified. Interviewees

indicated that *T. diversifolia* grows primarily on sloping land, followed by flat areas and humid zones, whether in milpa plots or alongside plants classified as weeds, in disturbed areas, hillsides, roadsides, and field borders. The species flowers mainly during the rainy season. The Nahuatl communities of the Sierra de Zongolica possess extensive knowledge about *T. diversifolia*, which should be revalued as it contributes to the conservation and sustainable use of this native plant of Mexico.

Key words: Traditional knowledge, medicinal uses, native plants, local knowledge, traditional uses.

INTRODUCCIÓN

La etnobotánica ha permitido documentar y validar científicamente estos saberes ancestrales o saber nativo, evidenciando el potencial de muchas especies vegetales en la conservación de la biodiversidad y el desarrollo de alternativas sustentables para hacer frente a fenómenos adversos como el cambio climático, la inseguridad alimentaria, la pérdida de biodiversidad, entre otros (Vaca & Reyes-Hernández, 2021). El conocimiento tradicional sobre el uso de las plantas ha sido transmitido de generación en generación en diversas comunidades rurales del mundo, desempeñando un papel clave en la medicina, la alimentación y la agricultura (Moshi et al., 2017). No obstante, en el contexto de un mundo cada vez más globalizado, el conocimiento tradicional enfrenta un proceso acelerado de erosión. Esta pérdida impacta directamente en la biodiversidad, ya que muchos recursos genéticos dejan de aprovecharse debido a la expansión de la agricultura moderna, el incremento en el consumo de alimentos procesados, la predominancia de la medicina convencional, entre otros factores.

Lo anterior queda demostrado que es elemental el estudio etnobotánico, así, en las comunidades nahuatl de Veracruz han empleado a la *Calea urticifolia* en el tratamiento de infecciones gastrointestinales, y estudios han confirmado su actividad antimicrobiana. De igual manera, la *Lippia graveolens* ha sido utilizado por grupos popolucas como repelente natural de insectos, respaldado por investigaciones sobre su efecto insecticida contra plagas agrícolas. Asimismo, *Eryngium foetidum*, común en la región de la Huasteca, ha sido empleada para aliviar enfermedades respiratorias y recientemente se ha demostrado su actividad antifúngica (Bautista, 1995, Bautista-Hernández et al., 2021, Cano-Asseleih, 2024). La evidencia científica anterior denotó que varias plantas han sido usadas desde tiempos prehispánicos, por ejemplo, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, conocida como gigantón, las comunidades rurales en América Latina la han utilizado con fines medicinales y agrícolas (Tagne et al., 2018). Además, en diversos países del mundo, se ha reportado su aplicación de esta planta como biofertilizante y repelente de insectos en cultivos hortícolas. Otros estudios han evidenciado que los extractos de *T. diversifolia* poseen actividad biológica contra algunas plagas agrícolas (Devi et al., 2022), lo que representa una brecha de conocimiento relevante. En México, su uso se ha documentado en la medicina tradicional para el tratamiento de afecciones dermatológicas, fiebre y trastornos digestivos, particularmente en Veracruz (Santos-Gally et al., 2020). Por tanto, el objetivo del presente estudio fue registrar el conocimiento etnobotánico del gigantón (*T. diversifolia*) en dos comunidades nahuatl de Zongolica, Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio etnobotánico se desarrolló en las comunidades de Acontla y Axalpa, Zongolica, Veracruz, México, en donde aún se localiza a *T. diversifolia* (Figura 1). El municipio de Zongolica se encuentra en una región montañosa con altitudes de 100 a 2,000 m. Su clima es semicálido húmedo (45%), con temperaturas de 14°C a 26°C y una precipitación anual que va de 2400 a 3,100 mm, lo que propicia una diversidad de ecosistemas de bosques y selvas. La población mayoritariamente es indígena hablando el idioma principal el náhuatl. Su economía se basa en la agricultura, destacando el cultivo de maíz, café y frijol, además de la ganadería de bovinos y aves de corral (SEFIPLAN, 2023).

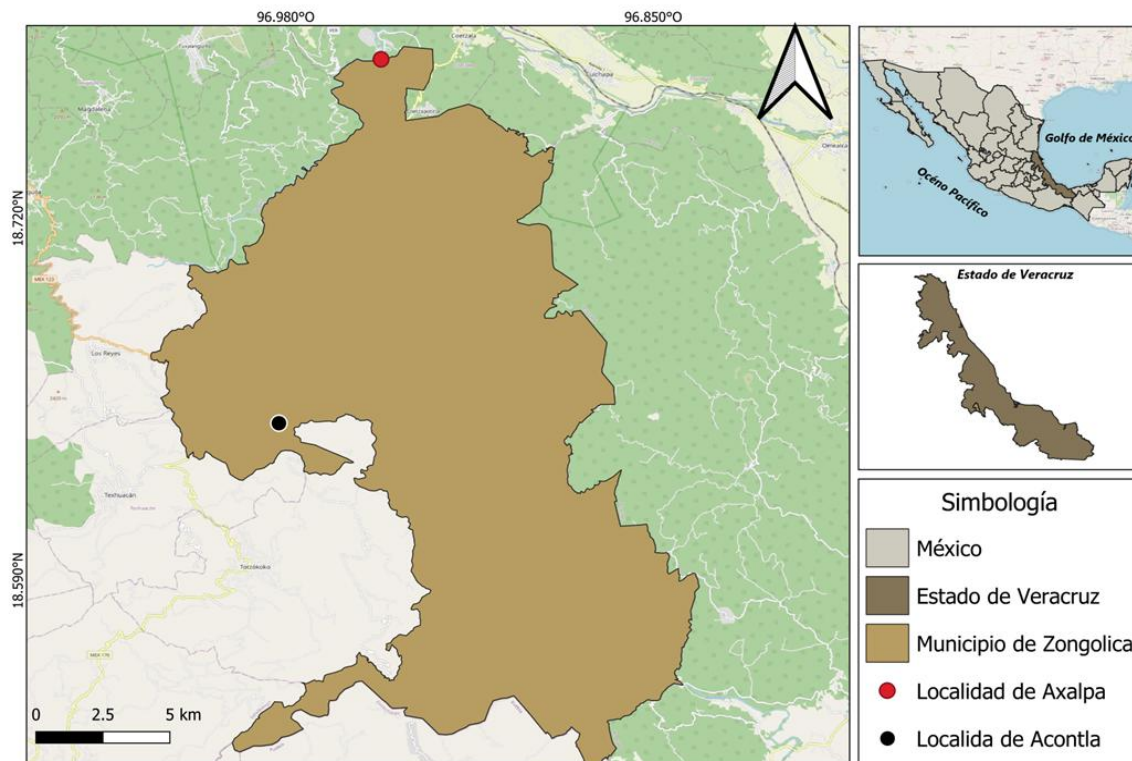


Figura 1. Ubicación geográfica de Acontla y Axalapa en Zongolica, Veracruz.

Para recabar información sobre aspectos sociodemográficos, ecológicos, nombres comunes y en náhuatl y usos tradicionales de *T. diversifolia* se diseñó un cuestionario. Previo a ello, el instrumento fue piloteado a 30 personas elegidas al azar (Casas et al., 2003); posteriormente, se adecuó el cuestionario y se aplicó en los domicilios de los entrevistados. La técnica usada fue la de entrevista semi-estructurada. Para el reconocimiento fácil de la especie se mostraron a los entrevistados ejemplares como se muestra en la Figura 2.

La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico denominado “bola de nieve”, el cual es útil para estudios en los que se requiere identificar individuos con conocimientos específicos dentro de una comunidad (Hernández-González, 2021). El proceso inició con informantes clave, identificadas como conocedoras del uso de plantas medicinales. Posteriormente, estas personas recomendaron a otros posibles participantes con experiencia similar, hasta encontrar el punto de saturación de la información que se buscaba en las personas entrevistadas (Kumar, 2011). A través de este método, se logró entrevistar a un total de 67 personas en las comunidades de Acontla y Axalpa.

Los datos obtenidos del cuestionario se procesaron inicialmente en hojas de cálculo Excel® para su organización y posterior análisis. Se aplicó estadística descriptiva para el tratamiento de variables sociodemográficas y el análisis de frecuencia para las demás. Finalmente, se aplicó un análisis de redes semánticas para los usos utilizando el software UCINET v.6 (Bogartii et al., 2002).



Figura 2. Ejemplar mostrado a las personas entrevistadas que conocían a la planta de *T. diversifolia*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los participantes. Se entrevistó a un total de 67 personas en las comunidades de Acontla y Axalpa, en el municipio de Zongolica, Veracruz. Del total de los entrevistados, el 70 % sí hablan el idioma náhuatl. Estos datos permitieron contextualizar el conocimiento local como parte de una herencia cultural ligada al uso cotidiano de las plantas presentes en su entorno. Del total, el 54% fueron mujeres y el 46% hombres, con edades que oscilaron entre los 18 a 88 años. El 37% de los informantes entrevistados cuenta con educación primaria y el 9% con el nivel universitario (Figura 3). Se ha documentado que el nivel de educación influye positivamente al acceso de información formal que luego se trasmite a los hijos o familiares. En un estudio de Canales et al. (2006) sobre el conocimiento tradicional de plantas medicinales en Puebla, México, también se entrevistaron a pocas personas (60) en donde 45 y 15 eran mujeres y hombres, respectivamente.

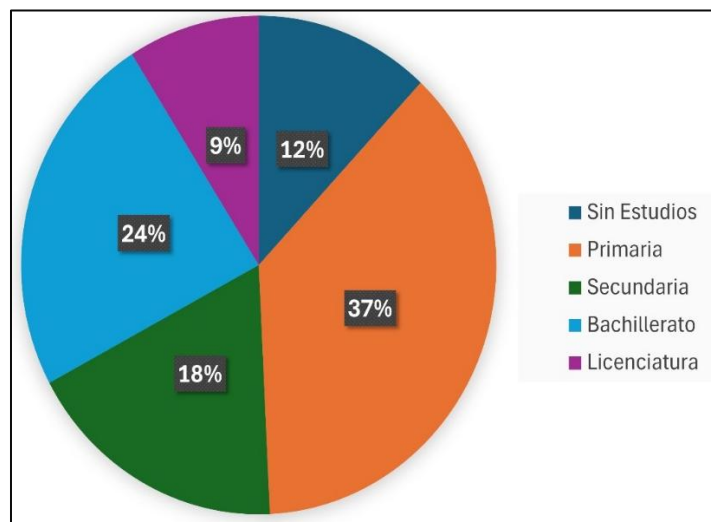


Figura 3. Escolaridad de los entrevistados en Acontla y Axalpa, Zongolica.

El 45% de los informantes se dedica a la ocupación ama de casa, en tanto que, 27% a las actividades agropecuarias, principalmente al sistema milpa y el cuidado de animales menores como borregos (Figura 4). Al respecto, Canales et al. (2006) documentaron que las mujeres conocen más plantas medicinales debido a su trabajo intelectual.

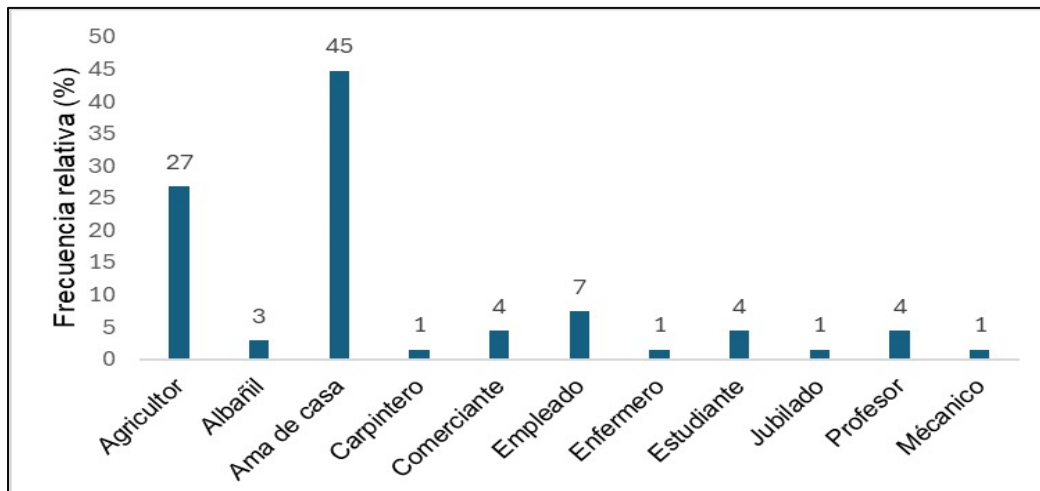


Figura 4. Ocupación de los entrevistados en Acontla y Axalpa, Zongolica.

Usos tradicionales de *T. diversifolia*. Se documentaron múltiples usos tradicionales de *T. diversifolia*, siendo el más frecuente el medicinal. Así, se reportaron usos relacionados con la presión arterial, alergias y dolor de riñón. Además, se reconoció su aplicación en la medicina tradicional como té, cataplasma o aplicación directa de la planta fresca. Los informantes mencionaron que la planta es utilizada como remedio para afecciones dermatológicas como la comezón, salpullido, varicela y granos. En menor medida, se identificaron usos forrajeros para alimentar a chivos, borregos, conejos, aves de traspatio, y religioso para adornar altares en el Día de Muertos, y como cerca viva en su potrero o milpa. Además de sus usos medicinales, *T. diversifolia* ha sido empleada en la agricultura como forraje para animales debido a su alto valor nutricional y manejo de cultivo nulo (Mejía-Díaz et al., 2017).

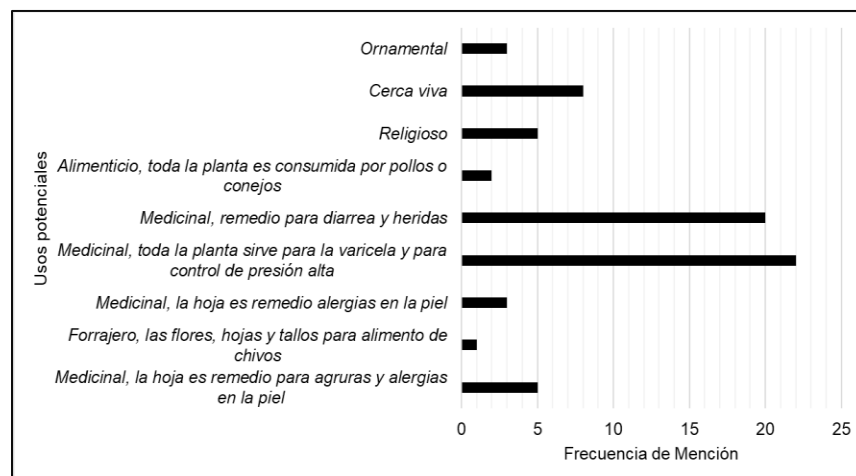


Figura 5. Usos tradicionales de *T. diversifolia* en Acontla y Axalpa, Zongolica.

Nombres locales y en náhuatl de la especie. Los participantes reconocieron ampliamente a *T. diversifolia* en el paisaje local y la identificaron por sus nombres comunes siendo el más frecuente de menciones "gigantón", después le siguen "Falso girasol" y "Tepechixia (Gigantón)" y entre otros nombres en náhuatl (Figura 6).

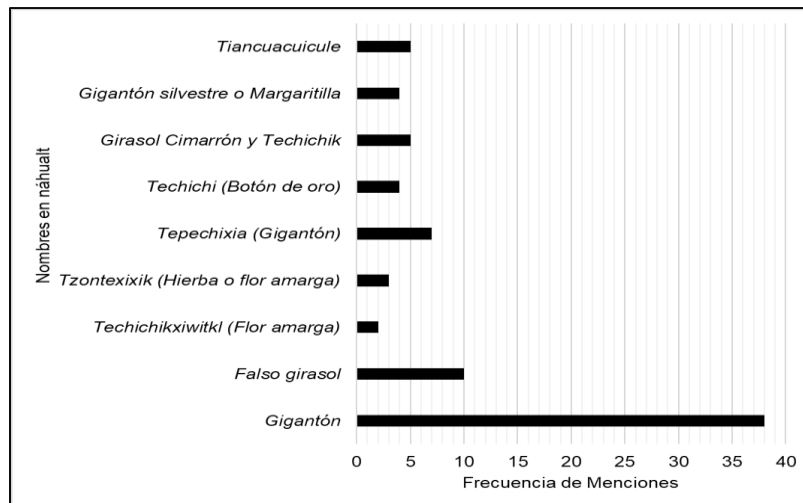


Figura 6. Nombres comunes y en Náhuatl asignados por Acontla y Axalpa, Zongolica.

Los entrevistados mencionaron que la planta de *T. diversifolia* crece principalmente en zonas de terrenos inclinados (25 menciones), siguiéndole los terrenos planos, partes húmedas, ya sea en la milpa o bien junto con plantas catalogadas como maleza, en zonas perturbadas, laderas, caminos y bordes de parcelas, especialmente durante la temporada de lluvias (Figura 7). Este conocimiento ecológico muestra cómo las comunidades identifican, manejan y aprovechan esta especie en función de su abundancia y accesibilidad, considerándola una planta que no requiere de manejo. Esta capacidad de adaptarse a diferentes entornos ha permitido que *T. diversifolia* se distribuya en diversas regiones del mundo, convirtiéndose en una planta invasora en algunos casos, especialmente en África y Asia (Lalremruata et al., 2025).

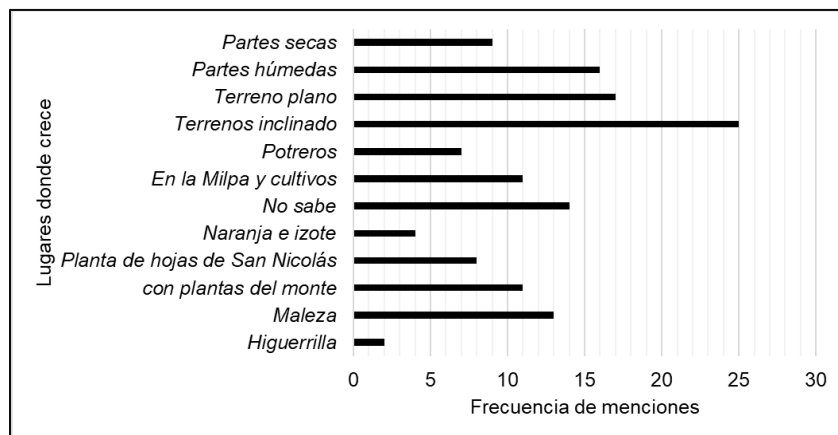


Figura7. Hábitat de *T. diversifolia* en Acontla y Axalpa, Zongolica.

La Figura 8 muestra que el nodo “Medicinal, toda la planta sirve para la varicela y para control de presión alta” presenta el mayor grado de conexión, convirtiéndose en el núcleo semántico principal de la red. Esto indica un consenso entre las dos localidades de Zongolica en torno al uso terapéutico

integral de la planta. Le siguen “Medicinal, remedio para diarrea y heridas” y “Medicinal, la hoja es remedio para agruras y alergias en la piel”, lo que evidencia una diversificación interna del conocimiento tradicional respecto al uso medicinal. Estos hallazgos son corroborados por Tagne et al. (2018), quienes que todos los órganos de *T. diversifolia* son ampliamente usados por los pueblos indígenas para tratar enfermedades.

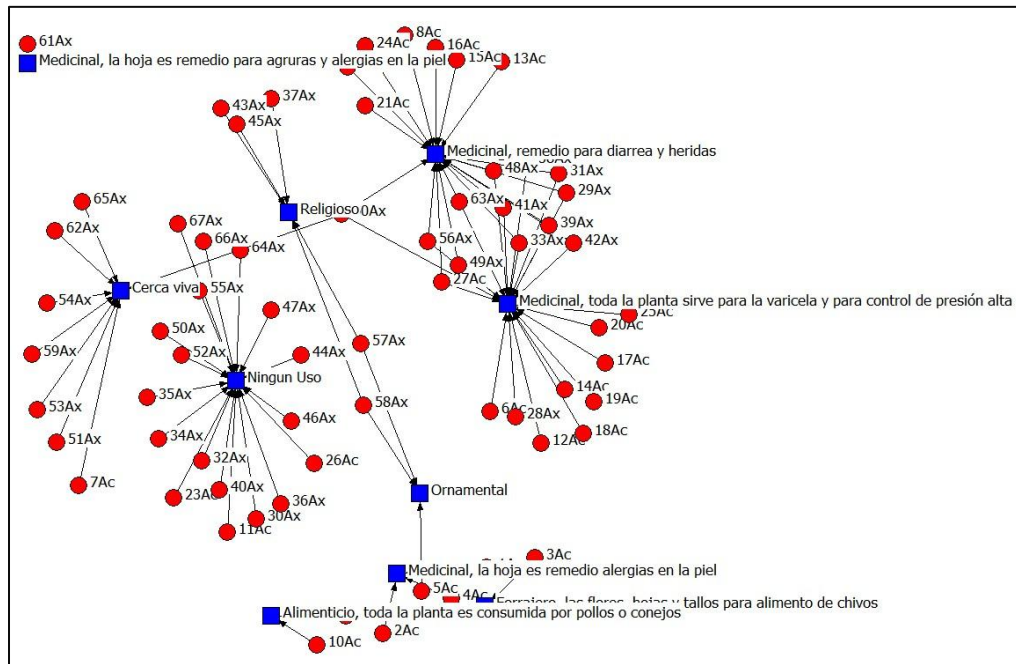


Figura 8. Análisis de redes aplicado a los usos del gigantón en las dos localidades de Zongolica.

CONCLUSIÓN

El estudio etnobotánico de *Tithonia diversifolia* en las comunidades de Acontla y Axalpa, municipio de Zongolica, Veracruz, permitió documentar y valorar el conocimiento tradicional que las comunidades indígenas poseen sobre esta especie. Los resultados obtenidos evidencian que el gigantón ocupa un lugar relevante dentro del sistema de saberes campesinos de la Sierra de Zongolica, al ser empleado principalmente con fines medicinales, entre otros. La mayoría de los informantes, en su mayoría hablantes del náhuatl, identifican la planta por su nombre común “gigantón” o “tepechixia”, y reconocen su presencia en zonas perturbadas, orillas de caminos, parcelas y laderas, lo cual refleja una comprensión empírica sobre su ecología y adaptación a diversos ambientes. Este conocimiento intergeneracional se mantiene vigente debido a la transmisión oral y a la práctica cotidiana en el manejo de recursos vegetales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todas las personas de las localidades de Acontla y Axalpa, Zongolica por haber proporcionado información valiosa para la realización de este estudio. Al Biólogo Francisco Madariaga Ceceña del Herbario de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero por haber clasificado taxonómicamente a la especie.

REFERENCIAS

- Bautista, G. (1995). Investigación química bibliográfica de plantas medicinales utilizadas en medicina tradicional de la comunidad de Chinampa de Gorostiza, Veracruz. Monografía. Facultad de Química Farmacéutica Biológica. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, 1-318.

- Bautista-Hernández, I., Aguilar, C. N., Martínez-Ávila, G. C., Torres-León, C., Iliina, A., Flores-Gallegos, A. C., ... & Chávez-González, M. L. (2021). Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth) as source of bioactive compounds: A review. *Molecules*, 26(17), 5156.
- Borgatti, S.P., Everett, M.G., & Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Casas, A.J., Repullo-Labrador J.R., & Donado-Campos J. (2003). La encuesta como técnica de investigación: Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (II). *Atención Primaria*, 31(9), pp: 592-600.
- Cano-Asseleih, L. M. (2024). *Flora medicinal de Veracruz: inventario etnobotánico*. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, Mexico. Disponible en: <https://libros.uv.mx/index.php/UV/catalog/book/QC028>.
- Canales, M. M., Hernández D. T., Caballero N. J., Romo De Vivar R. A., Durán D. A., & Lira S. R. (2006). Analisis cuantitativo del conocimiento tradicional de las plantas medicinales en San Rafael, Cotaxtla, Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Puebla, México. *Acta Botanica Mexicana*, 75: 21-43.
- Devi, T. B., Raina, V., & Rajashekar, Y. (2022). A novel biofumigant from *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray for control of stored grain insect pests. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 184, 105116.
- Hernández González, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). <https://revmgi.sld.cu/index.php/mgi/article/view/1442>.
- Kumar, R. (2011). *Research Methodology: A step by step guide for beginners*. 3 er Edition. India, 366 p.
- Lalremruata, B. C., Vanlalhluna, P. C., & Singh, G. (2025). Tagitinin C-A potential anticancer agent from *Tithonia diversifolia*: A Comprehensive Review. *South African Journal of Botany*, 177, 472-486.
- Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 289-302.
- Moshi, A. P., & Matoju, I. (2017). The status of research on and application of biopesticides in Tanzania. *Review. Crop Protection*, 92, 16-28.
- Santos-Gally, R., Muñoz, M., & Franco, G. (2020). Fruit heteromorphism and germination success in the perennial shrub *Tithonia diversifolia* (Asteraceae). *Flora*, 271, 151686.
- Secretaría de Finanzas y Planeación (SEFIPLAN). (2023). Cuadernillos municipales de Zongolica. 13p.
- Tagne, A. M., Marino, F., & Cosentino, M. (2018). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray as a medicinal plant: A comprehensive review of its ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacotoxicology and clinical relevance. *Journal of Ethnopharmacology*, 220, 94-116.
- Vaca, P. L. N., & Reyes-Hernández, H. (2021). Conocimiento tradicional y preservación de la agrobiodiversidad, los casos de la Trinidad, en México y Kokonuco, en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24 (45).

Diagnóstico participativo de productores y comerciantes en mercados locales de los Valles Centrales de Oaxaca: hacia una transición agroecológica y una economía circular comunitaria

Nancy Alonso-Hernández^{1*}, Carlos Granados-Echegoyen¹, Rafael Pérez-Pacheco², Baldomero H. Zárate-Nicolás², José Abimael Campos-Ruiz¹

¹SECIHTI-Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. ²Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: nalonsoh@ipn.mx

Recibido: 16/10/25; Aceptado: 16/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

El presente trabajo expone los resultados de un diagnóstico participativo piloto realizado en mercados municipales de los Valles Centrales de Oaxaca, México, una región caracterizada por su alta riqueza biocultural y ambiental, pero también por condiciones de marginación rural. El estudio tuvo como objetivo identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de productores y comerciantes locales, con el fin de diseñar estrategias de capacitación y organización orientadas hacia la transición agroecológica y el fortalecimiento de una economía circular comunitaria. A través de encuestas y entrevistas semiestructuradas, se analizaron aspectos sociodemográficos, productivos y organizativos, complementados con un análisis FODA. Los resultados evidencian la centralidad de las mujeres en la economía local, el interés generalizado en la formación agroecológica, y la falta de estructuras cooperativas y técnicas que faciliten la innovación rural. Se discuten estos hallazgos a la luz de experiencias internacionales en Nepal, Myanmar y América Latina, destacando la relevancia de las redes de conocimiento, los sistemas de innovación agrícola y la agroecología como movimiento social. El estudio concluye que los mercados locales constituyen espacios estratégicos para impulsar procesos de transformación productiva, sustentable y equitativa en Oaxaca.

Palabras clave: Diagnóstico participativo, mercados locales, economía circular, innovación rural, Oaxaca.

ABSTRACT

This work presents the results of a participatory pilot diagnosis carried out in municipal markets of the Central Valleys of Oaxaca, Mexico—a region characterized by high biocultural and environmental wealth, but also by rural marginalization conditions. The study aimed to identify the strengths, weaknesses, and opportunities of local producers and merchants in order to design training and organizational strategies oriented toward an agroecological transition and the strengthening of a community-based circular economy. Through surveys and semi-structured interviews, sociodemographic, productive, and organizational aspects were analyzed, complemented with a SWOT analysis. The results reveal the central role of women in the local economy, a widespread interest in agroecological training, and the lack of cooperative and technical structures that facilitate rural innovation. These findings are discussed in light of international experiences in Nepal, Myanmar, and Latin America, highlighting the relevance of knowledge networks, agricultural innovation systems, and agroecology as a social movement. The study concludes that local markets constitute strategic spaces to promote productive, sustainable, and equitable transformation processes in Oaxaca.

Key words: Participatory diagnosis, local markets, circular economy, rural innovation, Oaxaca.

INTRODUCCIÓN

El estado de Oaxaca es uno de los territorios más diversos y complejos de México, tanto por su riqueza natural y cultural como por las desigualdades sociales y económicas que lo caracterizan. La región de los Valles Centrales representa un mosaico agrícola en el que convergen prácticas tradicionales, mercados locales y una fuerte herencia indígena y campesina, que han sostenido la seguridad alimentaria durante siglos a pesar de condiciones adversas. En este contexto, el presente estudio surge

como una respuesta al reto de articular conocimiento local, innovación técnica y organización comunitaria, a fin de enfrentar los problemas de degradación ambiental, pérdida de fertilidad del suelo, escasez de agua y dependencia de agroquímicos que afectan a las comunidades rurales oaxaqueñas (Santini et al., 2022; Yasir et al., 2025).

La pertinencia de este diagnóstico se enmarca en un escenario global de crisis interconectadas: pobreza, inseguridad alimentaria, cambio climático y pérdida de biodiversidad. Tal como señalan Nimmo et al. (2023), la agroecología ha emergido como un marco transdisciplinario que combina ciencia, práctica y movimiento social para impulsar la sostenibilidad alimentaria y la conservación de la agrobiodiversidad. En regiones como Oaxaca, este enfoque cobra especial relevancia, ya que las comunidades locales, al igual que las de otras zonas rurales del mundo, mantienen sistemas agrícolas tradicionales que contribuyen al abastecimiento de alimentos frescos a los mercados locales y, al mismo tiempo, conservan variedades nativas y prácticas de manejo sustentable.

Experiencias comparables en Nepal (GC & Hall, 2020) y Myanmar (Herens et al., 2018) muestran que los pequeños productores enfrentan limitaciones similares: falta de acceso a créditos, escasa asistencia técnica, migración de la población joven y baja rentabilidad de la agricultura. Sin embargo, estos estudios también destacan el potencial de los diagnósticos participativos para identificar estrategias locales de adaptación y promover una agricultura más resiliente. Este diagnóstico se alinea con las tendencias internacionales en la investigación agroecológica y el fortalecimiento de sistemas de innovación y conocimiento agrícola (Milardo, 2025). Además, responde a la necesidad de generar información que sirva como base para formular políticas públicas que integren las dimensiones ecológicas, sociales y económicas de la producción rural (Bellamy & Ioris, 2017; Terán-Samaniego et al., 2025).

En este sentido, el presente trabajo constituye un diagnóstico piloto desarrollado en mercados de Zaachila, Zimatlán, Ocotlán, Cuilapam y Xoxocotlán, cuyo propósito fue identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de comerciantes y productores, con el fin de planificar estrategias de capacitación, fortalecer la organización social y fomentar prácticas agroecológicas y de economía circular en los Valles Centrales de Oaxaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló bajo un enfoque de investigación-acción participativa, orientado a construir conocimiento con la comunidad y no únicamente sobre ella, de acuerdo con las recomendaciones de Nimmo et al. (2023). Se aplicaron más de 200 encuestas y entrevistas semiestructuradas a comerciantes y productores locales, con el apoyo de jóvenes voluntarios y personal técnico de la comunidad. Las entrevistas se realizaron en lengua española y, cuando fue necesario, con apoyo de traductores al zapoteco, lo cual permitió captar percepciones más precisas sobre las prácticas productivas, el uso de recursos naturales, la organización comunitaria y los desafíos cotidianos del comercio en mercados tradicionales.

El cuestionario contempló variables sociodemográficas (edad, sexo, escolaridad, tamaño del hogar), productivas (tipo de cultivo, fuente de agua, uso de agroquímicos, prácticas agroecológicas), organizativas (pertenencia a cooperativas o grupos) y económicas (canales de comercialización, valor agregado). Se incluyeron también preguntas abiertas sobre el interés en recibir capacitación o en formar asociaciones. La información recolectada se sistematizó en hojas de cálculo y se procesó mediante análisis descriptivo y categorización cualitativa, con el objetivo de identificar patrones y contrastes entre comunidades (Miroro et al., 2023; Degefu et al., 2024).

El análisis cualitativo se apoyó en la construcción de un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), que permitió integrar la percepción de los participantes con los factores socioambientales del territorio. Este enfoque ha sido utilizado ampliamente en estudios de diagnóstico

rural participativo y se considera una herramienta eficaz para orientar procesos de intervención comunitaria (GC & Hall, 2020; Terán-Samaniego et al., 2025; Hamzehpour et al., 2025).



Figura 1. Encuestas y entrevistas llevadas a cabo en día de mercado en determinadas localidades de los Valles Centrales de Oaxaca. A) Ocotlán, B) Zimatlán de Álvarez, C) Cuilapam de Guerrero, D) Villa de Zaachila.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados reflejan la realidad social y productiva de las comunidades de los Valles Centrales. La mayoría de las personas encuestadas fueron mujeres (74.5 %), lo que confirma su papel central en la economía local y en la preservación de la cultura alimentaria oaxaqueña. La edad promedio de los participantes se ubicó entre 35 y 55 años, y la mayoría se dedicaba al comercio (45 %), mientras que un 29 % combinaba actividades agrícolas y comerciales. Los cultivos más frecuentes fueron calabaza, chile, frijol, maíz, jitomate, zanahoria y plantas medicinales, productos que constituyen la base del consumo local (Figura 2).

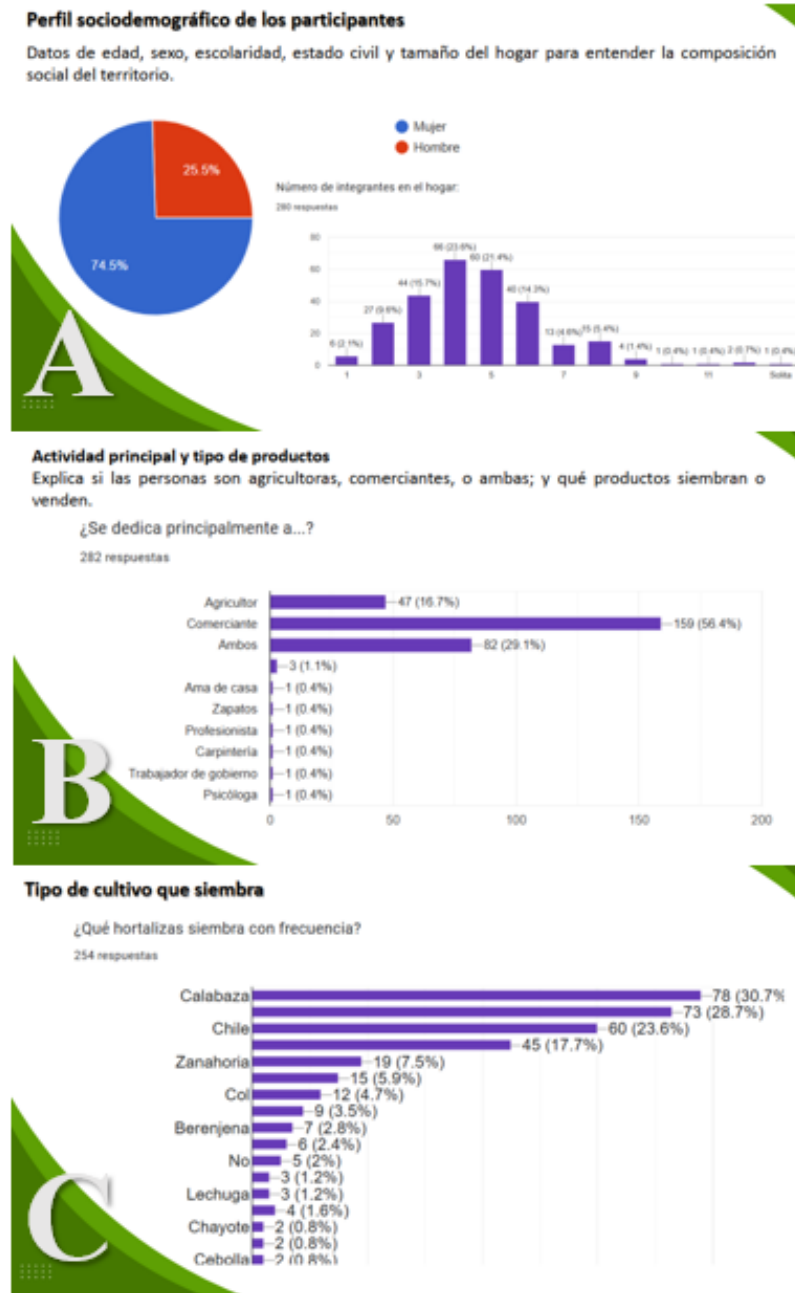


Figura 2. Variables sociodemográficas y agronómicas de los cuestionarios semiestructurados.

El acceso al agua para riego es limitado: el 64.6 % depende de pozos, el 27.6 % de lluvias y solo una minoría cuenta con sistemas de riego eficientes. Más de la mitad de los encuestados (53 %) identificó plagas recurrentes y el 62 % reconoció el uso de agroquímicos como práctica habitual, aunque expresaron preocupación por sus efectos en la salud y en el ambiente. Apenas el 17 % de los participantes reportó el uso de prácticas agroecológicas como compostaje o rotación de cultivos. Respecto a la fertilidad del suelo, el 62 % consideró sus parcelas fértiles, pero el 90 % no ha realizado análisis de suelo o agua, lo que refleja una carencia de conocimiento técnico y acompañamiento institucional (Figura 3).

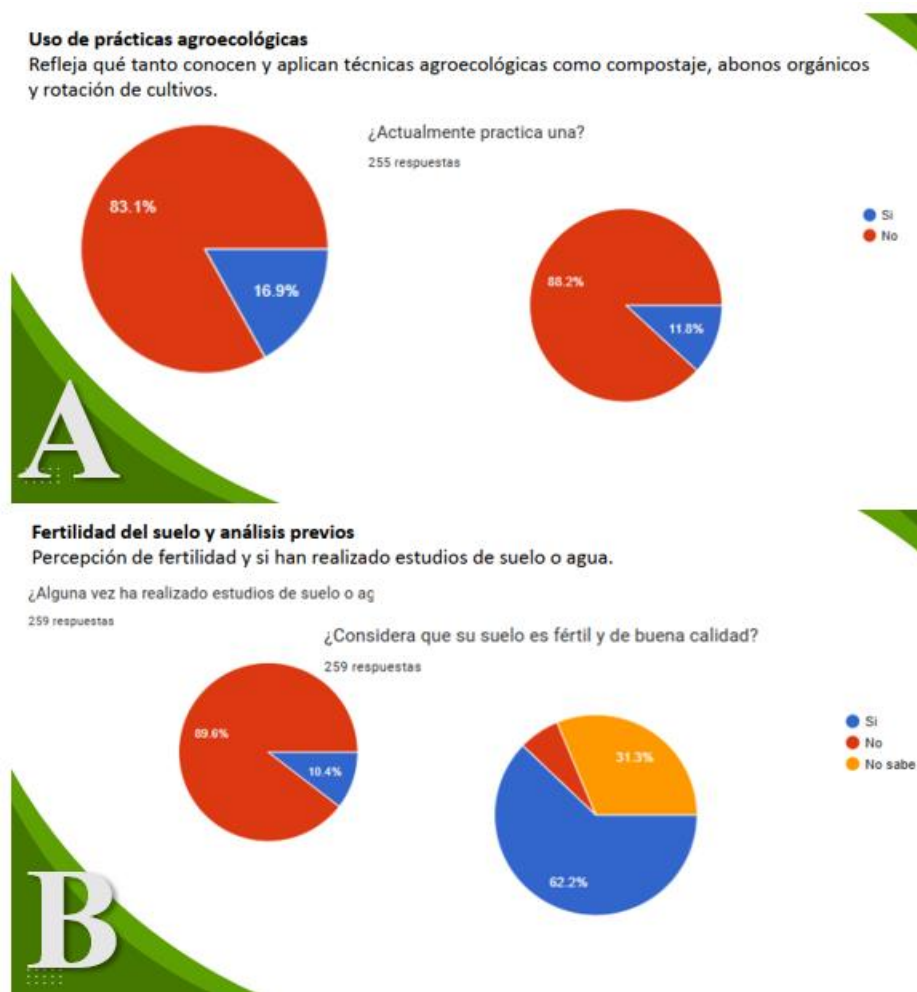


Figura 3. Conocimiento agroecológico y de fertilidad de suelos de los cuestionarios semiestructurados.

En términos organizativos, el 91 % no pertenece a ninguna cooperativa o asociación, aunque el 73 % manifestó disposición para integrarse a grupos productivos, especialmente liderados por mujeres. En materia de comercialización, el 74 % vende sus productos en el propio mercado local y el 43 % ofrece productos de su propia producción. Del total, el 85 % de los encuestados expresó interés en recibir capacitación para transformar sus productos, desarrollar conservas, harinas o salsas, y generar valor agregado. Estos datos coinciden con estudios internacionales que destacan la falta de capacitación técnica continua como una de las principales barreras para la sostenibilidad de la pequeña agricultura (Herens et al., 2018; Milardo, 2025).

El diagnóstico participativo revela un entramado complejo de saberes, recursos y aspiraciones locales que conforman el núcleo de la vida económica y social en los Valles Centrales de Oaxaca. Las fortalezas más significativas incluyen el conocimiento tradicional sobre los cultivos, la diversidad agrícola, las redes comunitarias de apoyo, el liderazgo femenino y el interés en mejorar las prácticas productivas. Estas características representan un capital social invaluable que, si se acompaña de estrategias de capacitación adecuadas, puede convertirse en el motor de una transición agroecológica local (Nimmo et al., 2023; Bellamy & Ioris, 2017).

La comparación con casos como el de Nepal y Myanmar (GC & Hall, 2020; Herens et al., 2018) permite observar similitudes en los factores estructurales que frenan la consolidación de economías rurales sostenibles: dependencia de agroquímicos, falta de acceso al agua, escasa organización formal y migración de la población joven. No obstante, también muestra que, cuando las comunidades reciben apoyo técnico contextualizado y fomentan la cooperación local, los procesos de cambio pueden ser sostenibles y replicables. En el caso de Oaxaca, los mercados tradicionales pueden convertirse en espacios de aprendizaje y demostración para difundir prácticas agroecológicas, aprovechando su función social como nodos de intercambio económico y cultural.

Asimismo, la incorporación de la economía circular y el aprovechamiento de residuos agrícolas representan una oportunidad para fortalecer la sostenibilidad. Experiencias de otros países latinoamericanos muestran que la gestión local de residuos y la transformación de productos con identidad cultural pueden generar empleo, reducir desperdicios y fortalecer las cadenas cortas de valor (Terán-Samaniego et al., 2025). La aplicación de los sistemas de conocimiento e innovación agrícola (AKIS) recomendados por Milardo (2025) también puede potenciar la articulación entre instituciones, productores y mercados, promoviendo un flujo constante de saberes prácticos y científicos que sustenten la innovación rural.

Este diagnóstico pone de manifiesto la importancia de integrar los principios de la agroecología política (Bellamy & Ioris, 2017), entendida no solo como un conjunto de prácticas sostenibles, sino como un movimiento social que busca redistribuir el poder y el conocimiento en los territorios rurales. En este sentido, la formación de grupos de mujeres, cooperativas locales y redes intermunicipales puede ser un paso fundamental hacia una economía solidaria y una producción responsable en Oaxaca.

CONCLUSIÓN

El diagnóstico participativo de los Valles Centrales de Oaxaca demuestra que las comunidades rurales poseen un potencial extraordinario para avanzar hacia una transición agroecológica si se fortalecen los procesos de organización, capacitación y gestión sostenible de recursos. Las bases para el desarrollo local se sustentan en el conocimiento organizacional y ecológico, la implementación de prácticas agroecológicas, la economía circular y la transformación de productos con identidad territorial. El trabajo colaborativo entre productores, comerciantes, técnicos e instituciones académicas permitirá consolidar una visión territorial sostenible que reduzca la dependencia de insumos externos, mejore la calidad del suelo y del agua, y eleve los ingresos familiares. Este diagnóstico piloto constituye, por tanto, un modelo replicable para otras regiones de México que buscan integrar sostenibilidad, equidad y resiliencia en sus mercados locales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto SIP-IPN por el financiamiento y acompañamiento técnico brindado en el desarrollo de este diagnóstico participativo, así como al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN Oaxaca) por su apoyo logístico y académico. Se reconoce también la colaboración de los productores y comerciantes de los mercados municipales de Zaachila, Zimatlán, Ocotlán, Cuilapam y Xoxocotlán, cuya participación voluntaria fue esencial para la realización de este estudio. Asimismo, se extiende un

agradecimiento a los equipos de trabajo y estudiantes participantes de las líneas de investigación de Protección y Producción Vegetal, por su compromiso con la investigación aplicada y la formación agroecológica en la región.

REFERENCIAS

- Bellamy, A., & Ioris, A. A. R. (2017). Addressing the knowledge gaps in agroecology and identifying guiding principles for transforming conventional agri-food systems. *Sustainability*, 9(3), 330.
- Degefu, S., Demelash, M., & Tsegae, T. (2024). Determinants of smallholder wheat farmers' participation in cluster farming in Lemu-Bilbilo and Hetosa Districts of Arsi Zone, Ethiopia. *Discover Agriculture*, 2(1), 93.
- GC, R. K., & Hall, R. P. (2020). The commercialization of smallholder farming—A case study from the rural western middle hills of Nepal. *Agriculture*, 10(5), 143.
- Hamzehpour, F., Ranjbarian, B., Fathi, S., & Ansari, A. (2025). The Strategic SWOT Analysis to Use Social Marketing in the Design of the Research Development Model of Islamic Azad University. *The International Journal of Humanities*, 26(3), 1-21.
- Herens, M., Gabrielli, M., Peters, B., Brouwers, J., & Bosch, D. (2018). Farmers' adaptive strategies in balancing commercial farming and consumption of nutritious foods: Case study of Myanmar. *Sustainability*, 10(12), 4721.
- Milardo, R. (2025). The role of knowledge and innovation in organic farming systems: A systematic literature review. *Sustainability*, 17(14), 6563.
- Miroro, O. O., Anyona, D. N., Nyamongo, I., Bukachi, S. A., Chemuliti, J., Waweru, K., & Kiganane, L. (2023). Determinants of smallholder farmers' membership in co-operative societies: evidence from rural Kenya. *International Journal of Social Economics*, 50(2), 165-179.
- Nimmo, E. R., Nelson, E., Gómez-Tovar, L., Morejón-García, M., Spring, A., Lacerda, A. E. B., & Blay-Palmer, A. (2023). Building an agroecology knowledge network for agrobiodiversity conservation. *Conservation*, 3(4), 491–508.
- Terán-Samaniego, K., Robles-Parra, J. M., Vargas-Arispuro, I., Martínez-Téllez, M. Á., Garza-Lagler, M. C., & Espinoza-López, P. C. (2025). Agroecology and sustainable agriculture: Conc.
- Yasir, M., Hossain, A., & Pratap-Singh, A. (2025). Pesticide degradation: Impacts on soil fertility and nutrient cycling. *Environments*, 12(8), 272.
- Santini, N. S., Cuervo-Robayo, A. P., & Adame, M. F. (2022). Agricultural land degradation in Mexico. In *Impact of Agriculture on Soil Degradation I: Perspectives from Africa, Asia, America and Oceania* (pp. 301-323). Cham: Springer International Publishing.

Efectividad biológica de productos para el control del nematodo agallador bajo condiciones de invernadero

Saúl Morales-Martínez¹, Ixtlali Esmeralda Vázquez-De la Cruz¹, Imelda V. López-Sánchez¹, Gerardo Montelongo Ruíz-Gerardo², Julio Cesar Chacón-Hernández³, Salvador Ordaz-Silva^{1*}, José G. Pedro-Méndez¹

¹Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California. Baja California, México. ²Departamento de Operación de la Reserva de la Biósfera del Cielo, Dirección de Recursos Naturales y Manejo de Áreas Naturales Protegidas. Tamaulipas, México. ³Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tamaulipas, México. *Autor para la correspondencia: lopezi13@uabc.edu.mx ; salvador.ordaz.silva@uabc.edu.mx

Recibido: 16/10/25; Aceptado: 16/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

El género *Meloidogyne* constituye uno de los problemas fitosanitarios más importantes para muchos cultivos a nivel mundial, incluido el tomate, dañando severamente al sistema radicular y causando lesiones conocidas comúnmente como agallas. El control de las infestaciones de nematodos en invernadero y campo abierto se realiza principalmente con compuestos químicos, ocasionando un efecto negativo en el ecosistema en la salud humana por la presencia de residuos químicos en los frutos y la resistencia a dichos plaguicidas. El objetivo de esta investigación fue evaluar la efectividad de productos nematocidas de origen biológico y botánico, para el control de *Meloidogyne* sp. La severidad de los tratamientos se evaluó con base al índice de nodulación de la escala de infección radical propuesta por Taylor y Sasser (1983). El nivel de daño en las plantas fue significativamente diferente entre los tratamientos evaluados. Cuando se aplicó el tratamiento 1 (extracto botánico más *Azospirillum brasilense*) se observaron con mayor frecuencia plantas con un daño moderado, mientras que en el tratamiento 3 (biológico más *Azospirillum brasilense*) un daño severo y con el tratamiento 4 (biológico a base de *Paecilomyces lilacinus*) un daño moderadamente severo. Tanto en el número de plantas muertas como vivas no se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

Palabras clave: Nematodos, extractos, nivel de daño.

ABSTRACT

The genus *Meloidogyne* constitutes one of the most important phytosanitary problems for many crops worldwide, including tomato, severely damaging the root system and causing lesions commonly known as galls. The control of nematode infestations in greenhouses and open fields is mainly carried out with chemical compounds, causing a negative effect on the ecosystem and human health due to the presence of chemical residues in the fruits and resistance to these pesticides. The objective of this research was to evaluate the effectiveness of nematocidal products of biological and botanical origin, for the control of *Meloidogyne* sp. The severity of the treatments was evaluated based on the nodulation index of the root infection scale proposed by Taylor and Sasser (1983). The level of plant damage was significantly different between the treatments evaluated. Treatment 1 (botanical extract plus *Azospirillum brasilense*) showed moderate damage more frequently, while treatment 3 (biological extract plus *Azospirillum brasilense*) showed severe damage, and treatment 4 (biological extract based on *Paecilomyces lilacinus*) showed moderately severe damage. No significant differences were observed between treatments in the number of dead and live plants. Keywords: nematodes, extracts, damage level.

Key words: Nematodes, extracts, damage threshold.

INTRODUCCIÓN

Los nematodos agalladores, del género *Meloidogyne* son considerados como una de las principales plagas en hortalizas y diversos cultivos de importancia económica a nivel mundial (Martínez-Gallardo et al., 2019). Son organismos microscópicos que parasitan y se desarrollan en las raíces de las plantas, el establecimiento de estos organismos en los cultivos da como resultado la privación de nutrientes, atrofia de crecimiento, clorosis y marchitamiento, ocasionando un bajo rendimiento de

producción agrícola (Tapia et al., 2022). Entre las muchas plantas y cultivos que atacan se encuentran las cucurbitáceas, quenopodiáceas y solanáceas, en estas últimas, incluido el tomate o jitomate.

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más producidas y consumidas a nivel mundial. Según datos estadísticos de 2022, China liderea en la producción de este cultivo con 68.3 millones de toneladas, el segundo y tercer lugar lo ocupan India y Turquía, respectivamente (FAO, 2024). A nivel nacional, Sinaloa ocupa el primer lugar en superficie cultivada con 13,403.48 ha, lo que representa un 26.76% del total, el segundo y tercer puesto lo ocupan Michoacán y San Luis Potosí con 7,709.79 y 3208 ha, respectivamente; Baja California se encuentra ubicado en el lugar número 18 con 640.47 ha cultivadas (SIAP, 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en un invernadero de mediana tecnología ubicado en la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín en el km 180.2 de la carretera transpeninsular, Ensenada, Baja California, México en un módulo de 250 m² infestado con *Meloidogyne* sp.

Para llevar a cabo el presente estudio se utilizó planta de tomate Saladette. Se evaluaron tres productos comerciales que fueron: Extracto botánico (extracto de *Larrea tridentata* adicionado con extractos acuosos de neem y crisantemo), un promotor de crecimiento (a base de *Azospirillum brasilense*) y un producto biológico a base de *Paecilomyces lilacinus*; con estos productos se realizaron los siguientes tratamientos: T1: Extracto botánico + *Azospirillum brasilense*; T2: Extracto botánico; T3: Biológico + *Azospirillum brasilense*; T4: Biológico; T5: Testigo + *Azospirillum brasilense*; T6: Testigo. Los productos evaluados fueron proporcionados por la empresa NS Orgánicos, mientras que la plántula de tomate fue donada por la empresa Baja Plants sede San Quintín, Baja California. Para medir el porcentaje de agallamiento se seleccionaron nueve plantas de cada tratamiento, es decir, tres plantas por cada repetición. El índice de agallamiento (IG), se evaluó de acuerdo la escala propuesta por Taylor y Sasser (1983) (Figura 1), donde: 0= 0 agallas, 1= 1-2 agallas, 2= 3-10 agallas, 3=11-30 agallas, 4= 31-100 agallas y 5= más de 100 agallas.

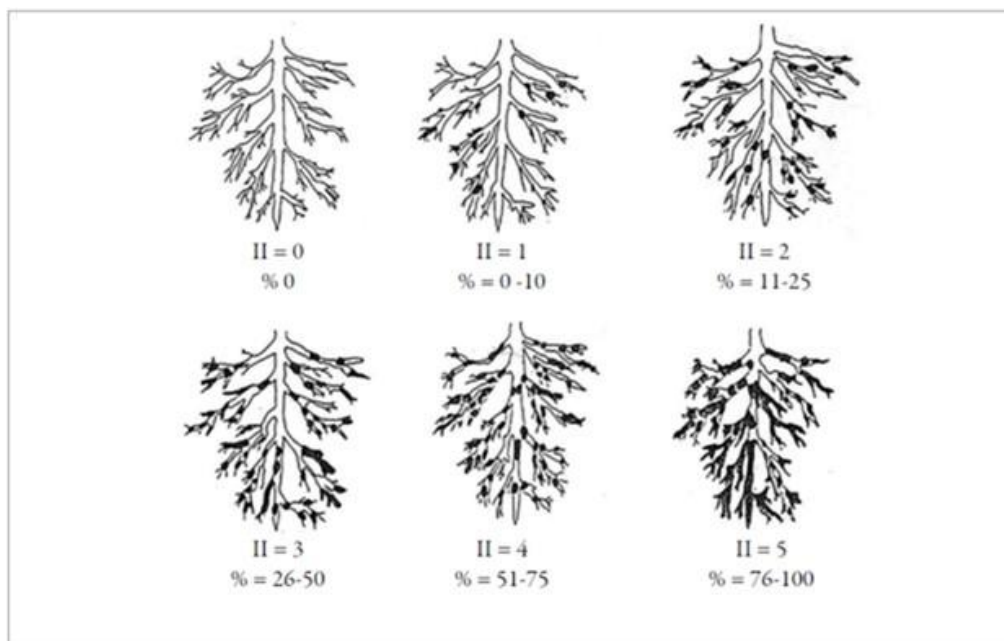


Figura 1. Escala cuantitativa de infección radical (Taylor y Sasser, 1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectividad biológica de los nematocidas evaluados. Los niveles de infestación observados en base al porcentaje de agallamiento de acuerdo a la escala utilizada para este fin (Cuadro 1), nos muestra que el nivel de daño en las plantas fue significativamente diferente entre los tratamientos ($\chi^2= 37.256$ gl = 20, $p = 0.00815$). Cuando se aplicó el tratamiento 1 se observaron con mayor frecuencia plantas con un daño moderado, mientras que en el tratamiento 3 se observó un daño severo y con el tratamiento 4 un daño moderadamente severo.

Cuadro 1. Niveles de agallamiento observados en plantas de tomate Saladette.

Tratamientos	Nivel de Daño					Total
	Ligero	Moderado	Severo	Moderadamente Severo	Muy Severo	
1	2	4	2	0	1	9
2	1	1	2	2	3	9
3	0	0	7	1	1	9
4	0	0	0	5	4	9
5	1	1	4	2	1	9
6	0	0	3	3	3	9
Total	4	6	18	13	13	54

Como puede observarse, el mayor número de plantas con daño se presentó en la escala de severo con 18 de las 54 plantas muestreadas, lo que equivale a un 33.3%, donde el tratamiento a base de Biológico + *Azospirillum brasilense* tuvo el dato más alto con un total de siete plantas. Hablando en términos de la severidad de la enfermedad, el tratamiento a base del Extracto botánico + *Azospirillum brasilense* (T1) fue el que mejor funcionó dado que los niveles de agallamiento estuvieron en los niveles más bajos, es decir, con dos, cuatro y dos plantas para ligero, moderado y severo, respectivamente; el tratamiento a base del biológico (T4) fue el que menos funcionó dado que el agallamiento se ubicó en los niveles más altos, es decir, moderadamente severo y muy severo.

Ordaz et al. (2024) mencionan en un estudio que el uso de *Pseudomonas fluorescens* presentó los mejores resultados para la variable altura de planta en tomate bajo la presencia de nematodos, lo que indica un mejor control de este patógeno. Por su parte Mahomoud et al (2020), encontraron que cultivos filtrados de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Paecilomyces lilacinus* inhibieron la eclosión de huevos de *Meloidogyne incognita*, aunque en este trabajo no se realizaron pruebas sobre huevos, se observa también una disminución en el porcentaje de agallamiento, lo cual va de la mano con la cantidad de masas de huevos en el suelo para la formación de agallas

CONCLUSIÓN

El exceso indiscriminado de plaguicidas, y en este caso de nematocidas incrementa la resistencia de estos organismos hacia su uso, motivo por el cual, el empleo de productos biológicos y bioracionales va tomando importancia dentro de un manejo integrado de nematodos en los diversos cultivos, tales como el uso de bacterias, hongos, nematodos y extractos vegetales de diversas especies de plantas. El presente trabajo nos da la pauta para la realización de estudios posteriores con el empleo de los productos evaluados y otros nematocidas debido a la disponibilidad de poblaciones de nematodos en el invernadero de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín por permitir el uso de sus instalaciones, así como a las empresas Baja Plants y NS Orgánicos por la donación de la planta y productos para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- FAO. 2024, Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, Accessed on Nov 18, 2025
- Mahomoud, M. A.; Wafaa, M. A. El-Nagdi and Dalia E. M. Lotfy. 2020. Evaluation of the fungal activity of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces lilacinus* as biocontrol agents against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on cowpea. *Bulletin of the National Research Centre*: 44:112
- Ordaz, S. S.; Esparza R. I.; Chacón H. J. C.; Delgadillo Á. J. L.; Pedro M. J. G.; Dávila M. M. D. Evaluación de nematicidas sobre el parámetro de altura de planta en tomate saladette. En *Producción agrícola sustentable: estrategias biotecnológicas para el fortalecimiento de la seguridad alimentaria*. 138-143
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (24 de noviembre de 2024) Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) [Servicio web]. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>
- Tapia-Vázquez I., Montoya-Martínez A. C., De Los Santos-Villalobos S., Ek-Ramos M. J., Montesinos-Matías R., Martínez-Anaya C. 2022. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: biology, current control strategies, and perspectives. *World J Microbiol Biotechnol*. Jan 6;38(2):26.

Colonización micorrízica en raíces de *Alamania punicea* Lex. creciendo en diferentes forofitos

Evelyn Abril Carlos-Fernández¹, Demetria Mondragón-Chaparro^{2*}, Gustavo Ramiro Hernández-Álvarez², Delia A. Cuevas-Aguirre¹

¹Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO) Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. ²Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. *Autor para la correspondencia: dmondragon@ipn.mx

Recibido: 02/12/25; Aceptado: 16/12/25; Publicado en línea: 18/12/25

RESUMEN

La mayoría de las orquídeas epífitas establecen asociaciones micorrízicas que les permiten complementar sus requerimientos hídricos y nutrimentales. No obstante, dicha asociación puede variar según la especie del árbol hospedero (forófito). Existen pocos estudios que documenten cómo la identidad del forófito influye en la interacción orquídea-micorriza. En el presente estudio se evaluó el grado de colonización micorrízica en raíces de *Alamania punicea*, orquídea endémica de México y única especie de su género, creciendo sobre dos especies de encino. Durante septiembre de 2023 se recolectaron segmentos radicales de diez individuos de *A. punicea* establecidos sobre *Quercus rugosa* y de otros diez creciendo sobre *Q. martinezii*. En laboratorio, los cortes de raíz fueron teñidos con azul de tripano y analizados mediante el programa ImageJ para cuantificar el número de células teñidas y calcular el porcentaje de colonización micorrízica. Se aplicó una prueba U de Mann-Whitney ($p < 0.05$) para evaluar posibles diferencias entre los grupos. Se obtuvieron porcentajes de colonización más altos en raíces de *A. punicea* asociadas a *Q. rugosa* (35.00 ± 9.77 %) que en aquellas sobre *Q. martinezii* (32.40 ± 19.14 %). Los resultados sugieren que la especie de forófito influye en la interacción orquídea-micorriza, afectando el grado de colonización fúngica en las raíces de *A. punicea*. Esta variación podría estar relacionada con diferencias en el comportamiento demográfico de la orquídea; sin embargo, se requieren estudios experimentales adicionales para determinar las causas de dicha variación y sus posibles implicaciones ecológicas.

Palabras clave: Forofito, orquídea epífita, hongos micorrízicos.

ABSTRACT

Most epiphytic orchids form mycorrhizal associations that allow them to supplement their water and nutritional requirements. However, this association may be modified by the species of the host tree (phorophyte) on which they grow. There are few studies documenting the variation in the orchid-mycorrhiza interaction due to the host tree. In this study, we documented the degree of root colonization in *Alamania punicea* (an orchid endemic to Mexico and the only species in its genus) growing on two oak species. During September 2023, root segments were collected from 10 individuals of *A. punicea* growing on *Quercus rugosa* and 10 on *Q. martinezii*. In the laboratory, root sections were made and stained with trypan blue. The number of stained cells was counted using the ImageJ software to determine the number of colonized cells and calculate the percentage of colonization. A Mann-Whitney U test ($p < 0.05$) was performed to evaluate potential differences. We obtained higher colonization percentages in roots of *Alamania* growing on *Q. rugosa* ($35.00 \pm 9.77\%$) than on *Q. martinezii* ($32.40 \pm 19.14\%$). Our study shows that the phorophyte species influences the orchid-mycorrhiza interaction by affecting the percentage of root colonization by mycorrhizal fungi, which in turn appears to be affecting the demographic behavior of the orchid. However, further experiments are needed to establish the causes of the variation in the colonization rate, as well as the demographic effect that this might cause.

Key words: Phorophyte, epiphytic orchid, mycorrhizal fungi.

INTRODUCCIÓN

El 70% de las orquídeas crecen de manera epífita, por lo que requieren de un árbol “hospedero” o “forofito” para su desarrollo, los cuales las proveen de un microambiente con características

particulares, gracias a sus atributos físicos (rugosidad, fisuras de la corteza, posición de las ramas, transparencia de la copa, etc.) y químicas (pH, compuestos alopáticos, etc.) (Callaway et al., 2002; Einzmann et al., 2014; Rasmussen et al., 2015). El dosel se caracteriza por una baja disponibilidad de agua y nutrientes (Benzing, 2008), por lo que las orquídeas epífitas frecuentemente mantienen simbiosis con hongos micorrízicos, esenciales para la germinación y para incrementar la captura de recursos en etapas maduras. La micorrización en epífitas es más específica que en terrestres, ya que las comunidades fúngicas en el dosel pueden estar más limitadas (Sathiyadash et al., 2012; Mawinei & Paramitha, 2024).

Esta asociación orquídea-hongo puede verse afectada por las características del forofito. Por ejemplo, Pellitier et al. (2019) mencionan que las cortezas de diferentes forofitos actúan como un filtro que moldea las comunidades fúngicas, debido a variaciones en contenidos bioquímicos (taninos, suberinas y pH) que pueden afectarlas. Pecoraro et al. (2021) reportan que la diversidad de hongos es impulsada por las características de la corteza, lo que a su vez influye en la preferencia de forofitos por las orquídeas. Las cortezas más rugosas presentaron una mayor riqueza fúngica que las lisas, y las comunidades de hongos de la corteza fueron significativamente similares a las de las raíces de las orquídeas.

Además de las características de la corteza, la caducifoliedad del forofito es otro factor que influye en los hongos micorrízicos. La pérdida foliar genera variaciones de temperatura en el micrositio (Ramírez-Martínez et al., 2022), y como menciona Izuddin et al. (2019), altas temperaturas promueven la desecación del sustrato, lo que dificulta el desarrollo micelial. Por otra parte, la riqueza fúngica es mayor en micrositios como las horquillas de las ramas, donde se acumula humus y la exposición a la lluvia y la deposición de esporas es alta. Esta observación concuerda con los hallazgos de Sathiyadash et al. (2012), quienes afirman que la abundancia micorrízica está determinada por el contenido de humedad y la materia orgánica, hallándose una mayor colonización en las raíces en contacto directo con este sustrato acumulado. Mientras los primeros reportes de colonización en orquídeas epífitas eran menores al 1% (Hadley & Williamson, 1972), estudios recientes han reportado hasta un 38% a 79%, de colonización en raíces adultas en contacto materia orgánica, sugiriendo que el contacto con materia acumulada y un micrositio adecuado, proporciona un mayor porcentaje (Jiménez-Peña et al., 2018; García-Sánchez et al., 2024).

Esta variación en la colonización podría afectar el comportamiento demográfico de las orquídeas en diferentes hospederos. Ramírez-Martínez et al. (2018) reportaron mayores tasas de crecimiento, supervivencia y fecundidad en *Oncidium brachyandrum* Lindl. y *Alamania punicea* creciendo sobre *Quercus rugosa* que sobre *Q. martinezii*, lo que atribuyeron parcialmente a las características de la corteza y fenología foliar. Posteriormente, Hernández-Alvarez (2021) estableció un mayor porcentaje de colonización micorrízica en raíces de *O. brachyandrum* creciendo sobre *Q. rugosa* en el mismo sitio de estudio. Esto sugiere que una mayor colonización, promovida por una mejor disponibilidad de nutrientes y características de la corteza, podría traducirse en mayores tasas de crecimiento. *Alamania punicea* Lex es una especie de orquídea epífita única en su género y endémica de México; cuenta con 3 a 6 cm de alto incluyendo la inflorescencia, sus raíces son simples subteretes de 3-4 cm de grosor, pseudobulbos ovoides, sus flores en forma de estrella son de color rojo bermellón y miden 7 a 14 cm (Ramírez-Martínez et al., 2022). Generalmente se encuentra en los troncos y ramas inferiores de los árboles. Su floración ocurre al terminar la estación seca, en abril y principios de marzo. (Ramírez-Martínez & Mondragón-Chaparro, 2020).

Por lo tanto, con el fin de comprobar si existe un mayor porcentaje de colonización en las raíces de *A. punicea* creciendo sobre *Q. rugosa* que pudiera explicar en parte las mayores tasas de crecimiento y supervivencia reportadas, se procedió a determinar el porcentaje de colonización de las raíces de *A. punicea* creciendo sobre *Q. rugosa* y *Q. martinezii*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un bosque de encinares en la comunidad de Tooxi ubicado en el municipio de Yanhuitlán Oaxaca, México localizado a los 96° 35' Oeste y 17° 11' Norte; a una altitud de 2,145 m snm (INEGI, 2010) el clima es subhúmedo con lluvias en verano. Algunos de los árboles que conforman el componente arbóreo son: *Quercus castanea* Née, *Q. rugosa* Née y *Q. martinezii* C.H. Mull (Hernández-Álvarez, 2021).

Durante el mes de septiembre se colectó en 10 árboles de *Quercus rugosa* y 10 de *Q. martinezii*, un tramo de raíz de 6 cm; se eligieron estos forofitos ya que son los que presentan la mayor abundancia de *Alamania punicea* en la zona. La raíz fue colocada en bolsas Ziploc rotuladas, (especie de forofito, número de raíz y fecha) y se transportaron al laboratorio de Epífitas Vasculares CIIDIR-Unidad Oaxaca, donde se conservaron en refrigeración para ser procesadas al día siguiente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los forofitos *Quercus rugosa* y *Q. martinezii* (Ramírez-Martínez 2018, Hernández-Álvarez 2021).

Características	<i>Quercus rugosa</i>	<i>Quercus martinezii</i>
Altura	10 a 30 m	5-20 m
Diámetro	>1 m	20-45 cm
Caducifoliedad	Semi-caducifolia	Deciduo
Corteza	Gruesa y muy fisurada	Gruesa, escamosa y fisurada

Tinción de raíces. Se utilizó la técnica de tinción con azul de tripano de Barrow & Aaltonen (2004), modificada por Hernández-Álvarez (2021) en el Laboratorio de Epífitas Vasculares del CIIDIR-Unidad Oaxaca. Primeramente, se lavaron las raíces con agua destilada, posteriormente, se realizaron cortes finos transversales a mano alzada con una navaja Gillet, mismos que se colocaron en microtubos con agua destilada para evitar su deshidratación. Una vez que fueron seleccionados los cortes para realizar la tinción se colocaron en tubos de ensayo, cada tubo etiquetado con el forofito y el número de repetición. A cada tubo se le adicionó 3 ml de KOH al 10%. Enseguida se les aplicó calor en un horno de microondas 6 s por dos veces, después del paso anterior los cortes fueron lavados dos veces con agua corriente, al terminar el lavado se le agregó agua oxigenada a cada tubo y se les volvió aplicar calor con un horno de microondas durante 6 segundos por dos veces, enseguida se retiró el agua oxigenada, se lavaron con agua corriente y se les colocó HCl al 10% durante 5 minutos. Después de dicho tiempo se retiró el HCl y se les colocó el azul de tripano al 0.05% en glicerol y ácido láctico durante 3 minutos.

Una vez teñidos los cortes fueron montados en portaobjetos y fijados con una solución 1:1:1 de glicerina, agua destilada y alcohol de 96°. Los cortes se observaron en un microscopio estereoscópico (marca Baytronix) y un microscopio óptico de la marca (marca Baytronix) y se tomaron fotografías con una cámara del teléfono móvil, para después ser procesadas en el programa imagenJ, donde se contabilizaron de forma manual las células teñidas que son las que están colonizadas con pelotones, donde solo se tomaron en cuenta las células dentro del córtex.

Análisis estadísticos. Para establecer si existían diferencias estadísticamente significativas en los porcentajes de colonización de las raíces de individuos de *A. punicea* creciendo sobre *Q. rugosa* vs aquellos creciendo sobre *Q. martinezii*, se aplicó una prueba de U-Mann-Whitney, ya que los datos no cumplían con el supuesto de normalidad requerida por la prueba de Shapiro-Wilk aun después de que transformaron con la función raíz cuadrada del arcoseno mediante el programa SPSS (Khodarahpour 2011; Hernández-Álvarez, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las raíces presentaron colonización en el córtex (Figura 1) sin embargo, la prueba de U-Mann-Whitney mostro diferencias significativas en el porcentaje de colonización ($p < 0.05$), se presentó un mayor porcentaje en individuos de *A. punicea* creciendo sobre *Q. rugosa* ($35.00 \pm 9.77\%$) que en *Q. martinezii* ($32.40 \pm 19.14\%$) (Figura 2). Similar a los porcentajes reportados por Sathiyadash et al. (2012) quienes también documentaron colonización micorrízica en 22 especies de orquídeas epífitas estudiadas, con un rango entre 34 % y 79 % (Figura 2). Como esperábamos, nuestros resultados concuerdan con lo reportado por Hernández-Álvarez (2021) donde existe un mayor porcentaje de colonización de raíces de individuos de *O. brachyandrum* creciendo sobre *Q. rugosa* ($74 \pm 28\%$), que sobre árboles de *Q. martinezii* ($46 \pm 12\%$); y con lo reportado por Ramírez-Martínez (2018).

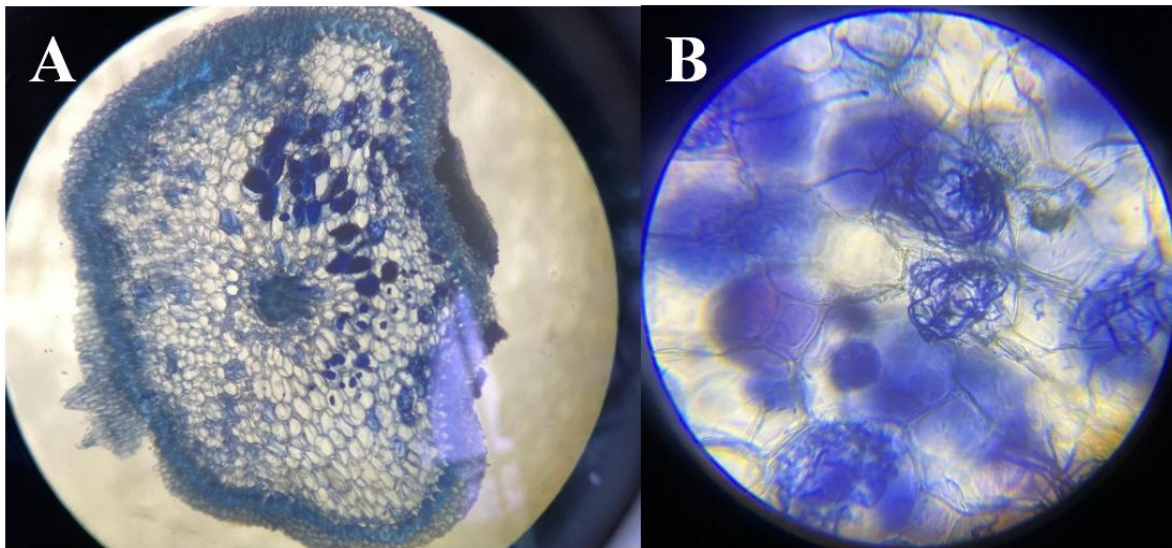


Figura 1. Colonización micorrízica de raíces en *Alamania punicea*, A) Corte trasversal de raíz de *A. punicea* B) Pelotones; observación del enrollamiento hifal 40x.

Esta variación en el grado de colonización de las raíces puede ser el resultado de varios factores, como por ejemplo la comunidad de hongos micorrízicos presentes en los diferentes forofitos, como lo mencionan (Pecoraro et al., 2021) las comunidades fúngicas asociadas a las orquídeas, pueden mostrar una similitud significativa con el hospedero, lo que sugiere que la asociación orquídea-forofito es influenciada por las comunidades fúngicas que existen en la corteza. Por ejemplo, los forofitos *Q. yiwuensis* y *P. weinmannifolia* que albergaban a las orquídeas objetivo presentaban cortezas gruesas y surcadas, así como una mayor abundancia de epífitas. En contraste, los forofitos que no portaban estas orquídeas tenían cortezas significativamente más lisas y con menos epífitas.

La composición de hongos micorrízicos en diferentes árboles hospederos puede estar influida por las propiedades físicas y químicas de sus cortezas. Según Pellitier et al. (2019), factores como el pH y el contenido de compuestos fenólicos en la corteza pueden afectar a estas comunidades fúngicas. No obstante, en nuestra área de estudio, Hernández-Álvarez (2021) no encontró diferencias significativas en el pH ni en la concentración de compuestos alelopáticos (ácido gálico y catequinas) entre *Q. rugosa* y *Q. martinezii* que expliquen la variación en la colonización de *A. punicea*.

Por lo anterior, es posible que otras variables estén influyendo en la formación de microambientes más favorables. Por ejemplo, la corteza de *Q. rugosa* (gruesa y muy fisurada) en comparación con la de *Q. martinezii* (escamosa y menos fisurada), junto con su diferencia en caducifoliedad *Q. rugosa* es semicaducifolio, mientras que *Q. martinezii* es deciduo, podrían promover condiciones de mayor humedad en *Q. rugosa*. Esto, a su vez, favorecería el desarrollo micelial y una mayor colonización

micorrízica, tal como han observado Izuddin et al. (2019) y Pecoraro et al. (2021), quienes destacan que un micrositio adecuado puede mejorar el establecimiento de los hongos y explicar la preferencia de las orquídeas por ciertos forofitos.

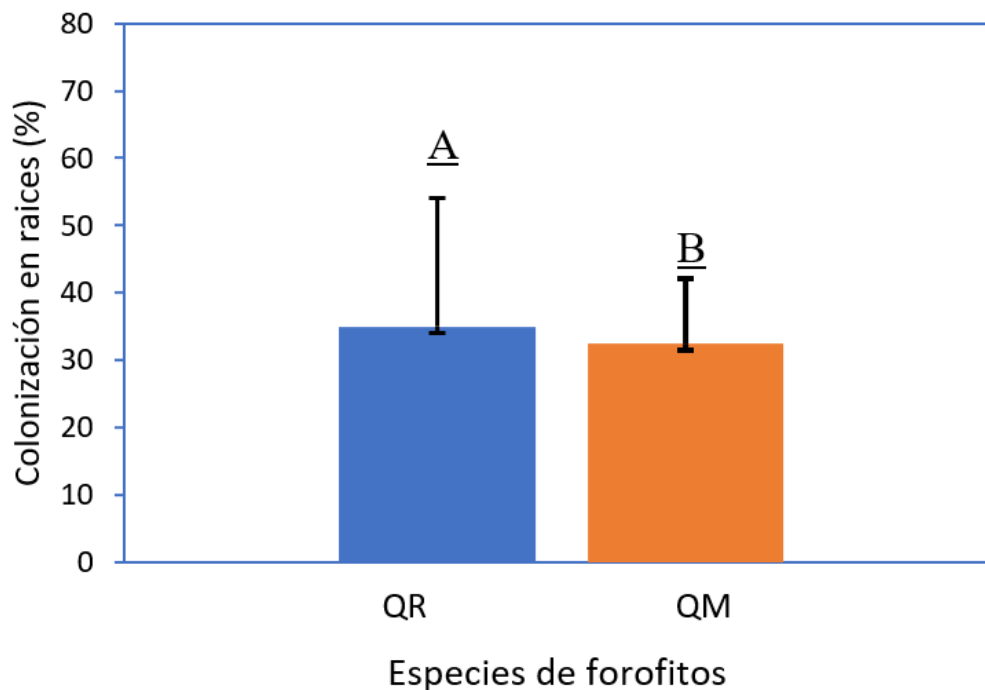


Figura 2. Porcentaje de colonización en raíces de individuos de *Alamania punicea* creciendo sobre diferentes forofitos QR (*Q. rugosa*), QM (*Q. martinezii*). Las letras mayúsculas representan las diferencias estadísticas entre la colonización de las raíces ($p < 0.05$).

CONCLUSIÓN

En conclusión, nuestros resultados confirman que la colonización por hongos micorrízicos es mayor en *A. punicea* creciendo sobre *Q. rugosa*, lo cual probablemente se relaciona con un mejor crecimiento y supervivencia de la orquídea. Esta diferencia parece deberse a las características de la corteza de este forofito (más gruesa y rugosa), que crea un microambiente favorable para los hongos. Estos hallazgos son importantes dado que existen pocos estudios sobre colonización micorrízica en orquídeas epífitas y los factores que las afectan. Por ello, se necesitan más investigaciones que identifiquen las causas específicas de esta variación y cómo influye directamente en el éxito de las orquídeas en su hábitat natural.

REFERENCIAS

- Benzing, D. H. (2008). *Vascular Epiphytes: General Biology and Related Biota*. Cambridge University Press.
- Barrow, J. R., & Aaltonen, R. (2004). A staining method for systemic endophytic fungi in plants. *Emerging Concepts in Plant Health Management, Research Signpost, Kerala, India*, 61-67.
- Callaway, R. M., Reinhart, K. O., Moore, G. W., Moore, D. J., & Pennings, S. C. (2002). Epiphyte host preferences and host traits: Mechanisms for species-specific interactions. *Oecologia*, 132(2), 221-230.
- Einmann, H. J. R., Beyschlag, J., Hofhansl, F., Wanek, W., & Zotz, G. (2014). Host tree phenology affects vascular epiphytes at the physiological, demographic and community level. *AoB PLANTS*, 7, plu073.

- García-Sánchez, C., Perez-Moreno, J., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., & Cetina-Alcalá, V. M. (2024). Distribución de la colonización micorrízica en las raíces de la orquídea Neotropical *Laelia furfuracea* Lindl. *Caldasia*, 46(2), 339-349.
- Hadley, G., & Williamson, B. (1972). Features of mycorrhizal infection in some Malayan orchids. *New Phytologist*, 71(6)
- Hernández-Álvarez, G. R. (2021). Efecto del forofito sobre la germinación de *Alamania punicea* y *Oncidium brachyandrum*. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Santo Domingo Yanhuítlán, Oaxaca. Clave geoestadística 20523.
- Izuddin, M., Srivathsan, A., Lee, A. E., Yam, T. W., & Webb, E. L. (2019). Availability of orchid mycorrhizal fungi on roadside trees in a tropical urban landscape. *Scientific Reports*, 9(1).
- Jiménez-Peña, N., Sandoval-Villa, M., Volke-Haller, V. H., Pedraza-Santos, M. E., Fernández-Herrera, E., Jiménez-Peña, N., Sandoval-Villa, M., Volke-Haller, V. H., Pedraza-Santos, M. E., & Fernández-Herrera, E. (2018). Colonización micorrízica de *Laelia autumnalis* (La Llave & Lex.) Lindl. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(15), 547-553.
- Khodarahmpour, Z. (2011). Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. *African Journal of Biotechnology*, 11(2), 298-304.
- Mawinei, N., & Paramitha, Q. (2024). Comparative Anatomy of Roots and Leaves in Epiphytic and Terrestrial Orchids: Insights into Adaptations and Ecological Strategies. *Law and Economics*, 18(2), 73-85.
- Pecoraro, L., Rasmussen, H. N., Gomes, S. I. F., Wang, X., Merckx, V. S. F. T., Cai, L., & Rasmussen, F. N. (2021). Fungal diversity driven by bark features affects phorophyte preference in epiphytic orchids from southern China. *Scientific Reports*, 11(1), 11287.
- Pellitier, P. T., Zak, D. R., & Salley, S. O. (2019). Environmental filtering structures fungal endophyte communities in tree bark. *Molecular Ecology*, 28(23).
- Ramírez-Martínez, A., & Mondragón-Chaparro, D. (2020). La fenología de bromelias y orquídeas epífitas en un bosque de encino estacional. *Desde el Herbario CICY*, 12, 1-5.
- Ramírez-Martínez, A., Ticktin, T., & Mondragon, D. (2022). Host tree species effects on long-term persistence of epiphytic orchid populations. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10.
- Ramírez-Martínez, A. (2018). Host tree effect on demography and phenology of epiphytic species Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional.
- Rasmussen, H. N., Dixon, K. W., Jersáková, J., & Těšitelová, T. (2015). Germination and seedling establishment in orchids: A complex of requirements. *Annals of Botany*, 116(3), 391-402.
- Sathiyadash, K., Muthukumar, T., Uma, E., & Pandey, R. R. (2012). Mycorrhizal association and morphology in orchids. *Journal of Plant Interactions*, 7(3), 238-247.



CIDIR
OAXACA



2025
Vol. 9, No. 9
CCCTO

