



Revista Mexicana de Agroecosistemas

Oaxaca, Volumen XI, Número I, 2024

Vol. II Núm. I. Enero – Junio, 2024 ISSN: 2007-9559



Fotografía: *Agave americana* var. *oaxacensis*,
San Agustín Amatengo, Ejutla de Crespo, Oaxaca.



REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol. II(1), 2024 es un órgano de difusión científica que se publica semestralmente desde 2014 por el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca; publica resultados de investigaciones científicas originales e inéditas, con enfoque hacia la productividad agrícola, pecuaria, forestal, servicios ecosistémicos y de aprovechamiento y conservación de recursos naturales; también del área social ligada a ese enfoque. La revista está incluida en el listado del *Open Journal System (OJS)*, que incluye *DOI* por artículo (Cross Ref) y en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (*latindex*).

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-060211581800-203 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor y vigentes al 2024.

Responsable de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, MC. Arely Concepción Ramírez Aragón y MC. Alfonso Aurelio Bautista Avendaño. Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/index>, rmae@voaxaca.tecnm.mx, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 30 de junio de 2024.

Para su publicación, los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución; las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del equipo editorial.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, sin previa autorización del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

Este número contiene como “**artículos científicos**” estudios sobre micorrizas en el cultivo de maíz y la pudrición seca en agave; “**notas técnicas**” acerca de cultivo *in vitro* de hongo, control de hongos en pino y sistemas de producción apícola. En los “**artículos de revisión (review)**” referentes a la biodiversidad de las Islas Marías y el papel del silicio en suelos agrícolas. Finalmente, se incluye el primer “**artículo de difusión**”, que aborda la temática de la producción de árboles de navidad en Oaxaca.



Comité Editorial (DEPI-ITVO)

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz

Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez

Dr. José Raymundo Enríquez del Valle

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco

Dr. Yuri Villegas Aparicio

Dra. Gisela Margarita Santiago Martínez

Dra. Gisela Virginia Campos Angeles

Dra. Martha Patricia Jerez Salas

Dr. Salvador Lozano Trejo

Dr. Gustavo Omar Díaz Zorrilla

Dra. María Isabel Pérez León

M.C. Judith Ruiz Luna

Coordinación editorial

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz

Diseño de portada y administración de página Web

MC. Arely Concepción Ramírez Aragón/MC, Alfonso Aurelio Bautista Avendaño



Política de revisión de manuscritos

Todos los manuscritos se reciben en español e inglés y se someten mediante la plataforma *OJS* de la revista (<https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/index>) con **carta de originalidad** firmada por el autor de correspondencia. Deben ser originales e inéditos, de alta calidad, acordes con las normas editoriales de RMAE y que no se hayan publicado o se vayan a publicar en otra revista.

Las contribuciones pasan a revisión del editor y estilo para el cumplimiento de las normas editoriales; se verifica nivel de plagio mediante Turnitin®, el cual no debe ser mayor a 20 % de coincidencias.

Todas las contribuciones se envían a arbitraje de “pares ciegos” de al menos dos especialistas del área de reconocido prestigio académico y de instituciones diferentes a la de los autores. Los árbitros revisan el documento en formato Word y hacen llenado del “formato de evaluación” (formato pdf), los cuales remiten al Comité Editorial. Cuando el manuscrito es aprobado por los árbitros y editor de RMAE, se envían al autor de correspondencia archivos Word revisados y formatos de evaluación, para que los autores realicen las correcciones pertinentes. El documento corregido por autores se remite al Comité Editorial, el cual extiende “carta de aceptación del manuscrito”.

Previo a la publicación, la RMAE envía al autor de correspondencia y en formato pdf, la “prueba de galeras” y la “carta cesión de derechos”, que debe ser revisada por si existen cambios menores.

ATENTAMENTE

Comité editorial



	Contenido	Pág.
	Artículos científicos	
I	MICORRIZACIÓN DE RAÍCES Y RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.) EN YUCATÁN, MÉXICO / ROOT MYCORRHIZATION AND GRAIN YIELD OF MAIZE (<i>Zea mays</i> L.) IN YUCATAN, MEXICO ¹§María Alma Rangel-Fajardo ^{ID} , ¹ Jorge Ismael Tucuch-Haas ^{ID} , ² Lucero Guadalupe González-Tzacun ^{ID} , ¹ Jhonny Abraham Burgos-Díaz ^{ID} , ³ Noel Orlando Gómez-Montiel ^{ID}	I – 10
2	IDENTIFICACIÓN DE AGENTES CAUSALES DE LA PUDRICIÓN SECA DE <i>Agave potatorum</i> Zucc EN VIVERO / IDENTIFICATION OF CAUSAL AGENTS OF DRY ROT OF <i>Agave potatorum</i> Zucc IN NURSERY §Álvaro Zuriel Bailón-Ortiz ^{ID} , Manuel Jesús Amábilis-Sánchez ^{ID}	II – 20
	Nota técnica	
3	CULTIVO <i>IN VITRO</i> Y TAMIZAJE FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE UN HONGO DEL GÉNERO <i>Myriostoma</i> / IN VITRO CULTURE AND PRELIMINARY PHYTOCHEMICAL SCREENING OF A FUNGUS OF THE <i>Myriostoma</i> GENUS ¹Yesenia Aragón-López ^{ID} , ^{¹§} Alma Dolores Pérez-Santiago ^{ID} , ^² Ricardo Valenzuela-Garza ^{ID} , ^¹ Marco Antonio Sánchez-Medina ^{ID} , ^¹ Iván Antonio García-Montalvo ^{ID}	2I – 28
4	EFECTIVIDAD DE FUNGICIDAS ORGÁNICOS PARA EL CONTROL DE <i>Fusarium</i> EN TRES ESPECIES DE PINO / EFFECTIVENESS OF ORGANIC FUNGICIDES FOR THE CONTROL OF <i>Fusarium</i> IN THREE PINE SPECIES ¹Omar Paz-Aquino ^{ID} , ^{²§} Wenceslao Santiago-García ^{ID} , ^³ Elías Santiago-García ^{ID} , ^⁴ Gerardo Rodríguez-Ortiz ^{ID} , ^⁵ Arturo Félix Hernández-Díaz ^{ID}	29 - 40



Nota técnica

- 5 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN APÍCOLA
DE LA COSTA CHICA DE GUERRERO / CHARACTERIZATION OF
THE BEEKEEPING PRODUCTION SYSTEM OF THE COSTA CHICA
OF GUERRERO

¹José Cámará-Romero , ²Luis Alaniz-Gutiérrez , ³Agustín Rojas-Herrera 
⁴William Cetral-Ix 

49 - 57

- 6 Artículo de revisión
LA DIFÍCIL TAREA DE LA CONSERVACIÓN DE LA
BIODIVERSIDAD: RESERVA DE LA BIOSFERA ISLAS MARÍAS /
THE DIFFICULT TASK OF THE CONSERVATION OF
BIODIVERSITY: ISLAS MARÍAS BIOSPHERE RESERVE

[§]Santana Navarro Olmedo 

50 - 66

- 7 EL PAPEL BIOLÓGICO DEL SILICIO EN CULTIVOS AGRÍCOLAS:
CONTRIBUCIÓN AL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES /
THE BIOLOGICAL ROLE OF SILICON IN AGRICULTURAL CROPS:
CONTRIBUTION TO PEST AND DISEASE CONTROL

¹María Yesenia Ruiz-Aguilar , ¹Luis Alberto Aguirre-Uribe , ²Sonia Noemí
Ramírez-Barrón , ³Yolanda del Carmen Pérez-Luna , ¹Epifanio Castro-del
Ángel , ¹Agustín Hernández-Juárez 

67 - 80

Artículo de difusión

- 8 POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE
ÁRBOLES DE NAVIDAD EN OAXACA / POTENTIAL FOR THE
PRODUCTION AND COMMERCIALIZATION OF CHRISTMAS
TREES IN OAXACA

¹Isabel Esmeralda Bernardino-Pérez , ²Gerardo Rodríguez-Ortiz 

81 - 87



DIRECTORIO

Maestro Ramón Jiménez López- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Jesús Olayo Lortía- Responsable del Despacho de los Asuntos, Competencia de la Dirección de
Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

Dra. Marisa Guadalupe Flores Aguilar- Director (ITVO)

Dr. José Raymundo Enríquez del Valle - Subdirección Académica (ITVO), (jose.ev@voaxaca.tecnm.mx)
Editor Asociado Revista Institucional

Dr. Yuri Villegas Aparicio-Jefe de la DEPI-ITVO, (yuri.va@voaxaca.tecnm.mx)
Editor Asociado Revista Institucional

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz (gerardo.ro@voaxaca.tecnm.mx)
Editor en jefe Revista Institucional DEPI-ITVO

MC. Arely Concepción Ramírez Aragón (arely.ra@voaxaca.tecnm.mx)/MC, Alfonso Aurelio Bautista
Avendaño (alfonso.ba@voaxaca.tecnm.mx) - coordinación de soporte Revista Institucional DEPI-ITVO

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71233

Tel. y Fax: 01(951) 5170444, 5170788

Correo: rmae@voaxaca.tecnm.mx, rmae.itvo@gmail.com

<https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/index>



MICORRIZACIÓN DE RAÍCES Y RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN YUCATÁN, MÉXICO

ROOT MYCORRHIZATION AND GRAIN YIELD OF MAIZE (*Zea mays* L.) IN YUCATAN, MEXICO

^{1*}María Alma Rangel-Fajardo^{ID}, ¹Jorge Ismael Tucuch-Haas^{ID}, ²Lucero Guadalupe González-Tzacun^{ID}, ¹Jhonny Abraham Burgos-Díaz^{ID}, ³Noel Orlando Gómez-Montiel^{ID}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Mococha: Centro de Investigación Regional Sureste. Carr. Mérida – Motul km. 25 C.P 97450, Mococha, Yucatán, México. ²Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Península de Yucatán. Carr. Mérida – Progreso Comisaría Temozón Norte. C.P 97300, Mérida, Yucatán, México. ³INIFAP, Campo Experimental Iguala: Centro Regional de Investigación Regional Pacífico Sur. Carr. Iguala – Tuxpan km 2.5 Col. Centro. C.P 40000, Iguala de la Independencia, Guerrero, México ⁴Autor de correspondencia: (rangel.alma@inifap.gob.mx).

RESUMEN

La producción de maíz en las condiciones de Yucatán se ve limitada por varios factores, bióticos, abióticos, socioeconómicos y culturales, todos confluyen en producciones de bajos rendimientos. Una práctica que se ha adoptado fuertemente es el uso de fertilizantes minerales, lo que se produce en limitantes económicas para adquirirlos y la eficiencia de estos en el rendimiento del cultivo. El objetivo del presente trabajo fue buscar alternativas que mejoren los rendimientos de maíz con base a la fertilización biológica y mineral. Se emplearon 10 genotipos de maíz bajo tres formas de fertilización (micorrizas, minerales y combinación de ambas) en un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones. Se identificó y cuantificó la presencia de estructuras de micorrizas en las raíces durante la madurez fisiológica del cultivo y se estimó el rendimiento del grano. No se encontraron diferencias en rendimiento entre los tipos de fertilización, pero sí entre genotipos sobresaliendo 39X, H-568, 25 X y 32 X, mientras que las estructuras más abundantes fueron las vesículas y los arbúsculos. Se registró diferencias entre el tipo de fertilización y la cantidad de estructuras presentes, donde destacó el tratamiento de micorrizas. El uso de fertilizantes a base de micorrizas contribuyó a mantener el rendimiento.

Palabras clave: arbúsculos, fertilización biológica, fertilización mineral, hifa, vesícula.

ABSTRACT

Corn production in Yucatan conditions is limited by several factors, biotic, abiotic, socioeconomic and cultural, all of them converge in low yield productions. One practice that has been strongly adopted is the use of mineral fertilizers, which results in economic limitations to acquire them and their efficiency in crop yield. The objective of the present work was to look for alternatives to improve corn yields based on biological and mineral fertilization. Ten maize genotypes were used under three forms of fertilization (mycorrhizal, mineral and combination of both) in a split-plot design with three replications. The presence of mycorrhizal structures in the roots during physiological maturity of the crop was identified and quantified, and grain yield was estimated. No differences in yield were found among fertilization types, but differences were found among genotypes, with 39X, H-568, 25 X and 32 X standing out, while the most abundant structures were vesicles and arbuscules. Differences were recorded between the type of fertilization and the amount of structures present, where the mycorrhizal treatment stood out. The use of

mycorrhizal fertilizers contributed to the maintenance of yield.

Index words: arbuscules, biological fertilization, mineral fertilization, hyphae, vesicle.

INTRODUCCIÓN

El maíz es básico en la dieta de los mexicanos y es el principal cultivo en el país. Existen gran cantidad de genotipos mejorados que ofrecen alguna ventaja como rendimiento o resistencia a factores bióticos o abióticos y la respuesta de estos se ve afectada por el manejo y las condiciones del cultivo. En Yucatán, el maíz se cultiva bajo la producción de milpa, especialmente por productores de autosuficiencia. El cultivo se desarrolla en la diversidad de suelos (Borges-Gómez, Escamilla-Bencomo, Soria-Fregoso, 2005), pero son someros y varios autores reportan baja productividad en los sistemas de producción del sistema milpa, debido a un cambio gradual en el manejo de las rotaciones y descansos de las áreas agrícolas, ocasionando que los rendimientos estatales ronden casi a una tonelada por hectárea (Castillo et al., 2020; Uribe & Dzib, 2006). La fertilidad de éstos es baja, particularmente la presencia del fosforo, que, aunque se reportan cantidades altas, en su mayoría no está disponible para el cultivo (Borges-Gómez et al., 2014). Una actividad que se ha tornado primordial para asegurar los rendimientos es la fertilización, sin embargo, más del 80 % de productores realizan esta actividad dependiendo de sus posibilidades económicas (Grageda-Cabrera et al., 2012). En los últimos meses, debido a los acontecimientos internacionales, se han visto afectados tanto la disponibilidad como el costo de los fertilizantes minerales que son empleados en la producción de maíz. Para 2019, el Servicio de Información agrícola y Pecuaria (SIAP) reportó que sólo el 10 % de la superficie sembrada en Yucatán se fertiliza, lo que, junto con las de lluvias erráticas, resulta en bajos rendimientos de los cultivos.

Existen alternativas que son económicas y con un manejo adecuado pueden presentar resultados

de rendimiento similares al uso de fertilizantes minerales (Mora & Leblanc, 2012), los hongos formadores de micorrizas son una opción que favorece la absorción de fósforo e/o iones de baja movilidad, lo que contribuye en una óptima nutrición del cultivo (Bucher, 2007), promoviendo el crecimiento y distribución radical, además Mathur y Jajoo (2020) reportaron una reacción favorable para resistir a los efectos de las altas temperaturas al regular el fotosistema II, regulando la toma externa de agua y contribuyendo a la regulación osmótica y composición de carbohidratos. Otros beneficios es la participación activa en el intercambio de minerales entre el suelo y la rizosfera, manteniendo la fertilidad de los suelos, ya que el hongo obliga a una mayor exploración del suelo (Thangavel & Sridevi, 2015). Las respuestas de mejora, con el uso de micorrizas en la producción bajo estrés por altas temperaturas, han sido reportadas por varios autores que incluyen parámetros como rendimiento, acumulación de masa entre otros (Zhu et al., 2011) además de que en general, el cultivo demanda menor cantidad de fertilizantes minerales; como lo reportan Serralde y Ramírez (2004) y Bi et al. (2003) que observaron que los suelos con bajas concentraciones de fósforo pueden favorecer una buena micorrización; mientras que Rakshit y Bhadoria (2010) reportan aumento en la respuesta de micorrización con la adición de fosforo; caso contrario reportaron Mora y Leblanc (2012) quienes observaron que con el aumento de fosforo la micorrización reducía en las raíces de maíz. Otro beneficio que se ha documentado es la tolerancia a enfermedades promoviendo mejores resultados en los rendimientos (Berdeni et al., 2018; Reyes et al., 2017).

Con las condiciones de suelo y agua presentes en Yucatán, es necesario contar con estrategias que puedan contribuir al aprovechamiento de los nutrientes del suelo, que permita una sinergia positiva con el cultivo y contribuya a hacer frente a los efectos del cambios climáticos, como la presencia errática de las temporadas de lluvia, en este sentido, el uso de micorrizas para la

fertilización pueden ser una opción para satisfacer las necesidades nutrimentales de los cultivos (Cardoso y Kuyper, 2006). Por tal razón, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar la micorrización en raíces de maíz y la respuesta de rendimiento de nueve genotipos sometidos a fertilización mineral, biológica y la combinación de ambas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se estableció en el Sitio Experimental Uxmal, Muna, Yucatán, que se localiza en la antigua carretera Mérida – Campeche ruinas km. 72, en el ciclo (primavera-verano) PV de 2021. Las características del suelo se obtuvieron del análisis realizado por la empresa FERTILAB; suelo de textura franca, 2.6 % de materia orgánica, con pH de 7.56, conductividad eléctrica (CE) de 0.44 dS m⁻¹, capacidad de intercambio catiónico de 19.1 meq/100 g, presencia de nitrógeno en forma de NO₃ de 24.3 ppm; 30.8 ppm de fósforo disponible y 746 ppm de potasio intercambiable. Las necesidades hídricas del cultivo fueron suministradas con riego por goteo. Se mantuvo libre de malezas con aplicaciones de herbicidas (nicosulfuro 1 L ha⁻¹) y el control de plagas con los insecticidas adecuados (spinoterm 100 mL ha⁻¹).

Diseño experimental

El trabajo consistió en el manejo de tres tipos de fertilización (fertilización mineral con la fórmula 40-100-00), aplicación de fertilizante biológico (micorrizas), en este caso se empleó el producto comercial GLUMIX ®, que consiste en una mezcla de esporas de hongos endomicorrízicos (20,000 esporas viables kg⁻¹). Se utilizó la dosis recomendada en la etiqueta de 1 kg ha⁻¹ y un tratamiento de combinación de ambas fertilizaciones.

El experimento se estableció en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Bajo

la ecuación $Y_{ijk} = \mu + A_i + \beta_j + (A\beta)_{ij} + B_k + (AB) + \varepsilon_{ijk}$. Donde: Y_{ijk} = variable dependiente, μ = media general, A_i = parcela grande (tipos de fertilización), β_j = error experimental para parcela grande, B_k = efecto de la parcela chica (genotipos), ε_{ijk} = error experimental. Los tratamientos estuvieron compuestos por tres tipos de fertilización (A_i) distribuidos en las parcelas grandes y 10 genotipos (B_k) de maíz blanco (25X; H-568; VS-558; Sin Blan; H-565; 32X; Sin Ad; 39X; Sin Oco y 6X), todos generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), los genotipos fueron distribuidos en las parcelas chicas que consistían en cuatro surcos de 10 m de largo y 80 cm entre surco.

Micorrización de raíces

Para identificar la colonización de las micorrizas por tipo de fertilización y material evaluado, durante la etapa de llenado de grano (entre R5 y R6), se tomaron tres repeticiones de medio kilogramo de tierra de las plantas dispuestas en los surcos centrales de cada parcela chica dentro de cada parcela grande. Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico hasta procesarlas. Con ayuda de tres cribas marca The W.S. Tyler company (19, 12.5 y 9.5 mm) el suelo de cada muestra fue lavado con agua corriente, se recuperaron todas las raíces presentes con grosor de 1 a 3 mm y se colocaron en tubos con alcohol al 50 % v/v y fueron almacenadas a 4 °C hasta procesarlas.

Para determinar la infección de micorriza en las raíces, éstas fueron procesadas de acuerdo a la metodología propuesta por Phillips y Hayman (1970). Las raíces fueron lavadas con agua corriente hasta eliminar los restos del fijador y tierra que pudiera contener, posteriormente se colocaron en tubos de 5 mL y se cubrieron con KOH al 10 % p/v y llevadas a baño María por 45 min, finalizado el tiempo se enjuagaron con agua corriente y se adicionó H₂O₂ durante 10 min, se realizó un nuevo enjuague con agua destilada. Las

raíces se sumergieron en HCl 0.01N por 5 min, pasado el tiempo se decantó y las muestras se colocaron en colorante azul de tripano al 0.05 % y se colocaron nuevamente en baño María por 60 minutos, y las raíces se colocaron en una solución de glicerol 50 % v/v hasta su observación en el microscopio. Las observaciones de las raíces fueron en un microscopio óptico de luz Motic BA 200. Se tomaron 10 fragmentos de raíz de aproximadamente 1 cm de longitud (Cuba et al., 2020), donde se contabilizaron e identificaron estructuras de hifas, arbúsculos y vesículas.

Rendimiento de grano

El rendimiento se estimó hasta que el grano presentó 16 % de humedad. Las parcelas se cosecharon por separado y se registró el rendimiento, eliminando mazorcas dañadas por pudriciones o sin llenado. El registro del rendimiento fue en kilogramos para un área de 24 m² y se estimó el rendimiento a una hectárea ajustando la humedad a 14 % (Maria-Ramírez, Volke-Haller, & Guevara-Romero, 2017).

Manejo y análisis de datos

Los datos obtenidos fueron analizados para verificar la normalidad y la homogeneidad de

varianzas por medio de las pruebas de Shapiro -Wilk y Bartlett ($\alpha = 0.05$). Las estructuras micorrícicas contabilizadas por centímetro y el rendimiento estimado se analizaron mediante un ANOVA, además de realizar una comparación de medias (Tukey, 0.05) con ayuda del programa estadístico R versión 4.0.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presencia de estructuras de micorrizas no arrojó diferencias entre genotipos para hifas y vesículas, sin embargo, los arbúsculos si presentaron diferencias ($p \leq 0.05$), donde el material 39 X tiene en promedio 9.07 estructuras por centímetro, mientras que en VS-558 solamente se observaron en promedio 3.27 estructuras cm⁻¹. Al revisar la presencia de estructuras dependiendo del tipo de fertilización, se observaron diferencias, para la presencia de vesículas ($p \leq 0.01$) y arbúsculos ($p \leq 0.05$), en el caso de las vesículas, se contabilizaron 42.46 % más estructuras en el tratamiento de fertilización donde sólo se aplicó con micorrizas, que en aquel donde se usó fertilización química y 30.87 % más que en el tratamiento de combinación (Tabla I).

Tabla I. Promedio de estructuras observadas en raíces de maíz y rendimiento estimado.

Genotipo	Estructuras de micorrizas observadas (promedio cm ⁻¹)			Rendimiento (t ha ⁻¹)
	Hifas	Vesículas	Arbúsculos	
39x	7.07±0.9 ^a	17.17±3.5 ^a	9.07±1.2 ^a	4.17±1.10 ^a
6x	6.20±0.6 ^a	21.47±3.5 ^a	5.83±0.8 ^{abc}	3.61±0.62 ^{ab}
H-568	5.93±0.6 ^a	19.23±3.4 ^a	8.37±1.3 ^{ab}	4.31±1.44 ^a
Sin Oco	6.90±0.5 ^a	18.53±3.7 ^a	7.90±1.0 ^{abc}	3.19 ±1.08 ^{ab}
H-565	4.63±0.6 ^a	12.10±3.2 ^a	5.13±0.9 ^{abc}	3.33±1.08 ^{ab}
Sin Blan	4.83±0.5 ^a	17.33±3.1 ^a	4.50±0.7 ^{abc}	2.78±1.61 ^{ab}
25X	5.50±0.8 ^a	11.17±1.9 ^a	4.00±0.8 ^{bc}	4.31±0.63 ^a
32X	5.47±0.5 ^a	13.93±3.1 ^a	5.50±0.8 ^{abc}	4.31±1.34 ^a
VS-558	4.90±0.6 ^a	17.37±3.8 ^a	3.27±0.7 ^c	2.31±0.81 ^b
Sin Ad	4.53±0.6 ^a	14.00±2.8 ^a	8.63±1.8 ^{ab}	2.08 ±1.26 ^b
CV (%)	6.8	14.9	29.0	3.4
Tipo de fertilización				
Micorrizas	6.03±0.45 ^a	21.48±1.8 ^a	8.43±0.7 ^a	3.61±1.20 ^a
Fertilizante químico	5.21±0.33 ^a	12.36±1.3 ^b	4.91±0.4 ^b	3.79±1.54 ^a
Combinación	5.55±0.35 ^a	14.85±1.9 ^b	5.23±0.6 ^b	3.17±1.30 ^a
CV (%)	28.0	18.9	19.0	3.9

Medias con distinta letra en la columna y por parcela son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Se incluye media \pm desviación estándar.

Tabla 2. Grados de libertad, cuadrado medio y significancia resultado del análisis de varianza (ANOVA) de las variables respuesta de genotípos de maíz.

Fuente de variación	Variables respuesta							
	Hifas		Vesículas		Arbúsculos		Rendimiento	
	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM
Fertilización	2	16.97 ^{ns}	2	2222.2 ^{**}	9	132.7 ^{**}	2	3.069 ^{ns}
Genotipo	9	24.97 ^{ns}	9	326.9 ^{ns}	2	307.5 ^{**}	9	6.422 ^{**}
Fertilización×Genotipo	18	44.86 ^{**}	18	506.4 [*]	18	131.9 ^{**}	18	0.947 ^{ns}
Residuales	270	12.42	270	299.2	270	26.3	60	1.397

GL: grados de libertad; CM: cuadrados medios; significancia; * : $p \leq 0.05$; ** : $p \leq 0.01$; ns: no significativo ($p > 0.05$).

La interacción del tipo de fertilizante con el material arrojó diferencias en la cantidad de estructuras presentes en las raíces (**Tabla 2**). La presencia de hifas pudo observarse con mayor frecuencia en el material 39 X cuando la fertilización fue con micorrizas, disminuyendo de manera considerable cuando la fertilización fue química (8.8 hifas cm^{-1} promedio) o combinada (3.6 hifas cm^{-1} en promedio). Para los genotipos 6 X, Sin Oco, H-565 se presentó un ligero aumento en el número de hifas en la fertilización química, superando la fertilización con micorrizas (**Figura 1a**); en el caso de la fertilización combinada los genotipos 6X y H-565 registraron reducciones considerables en el número de hifas observadas, con respecto al de mayor registro para ese tipo de fertilización (39 X), las diferencias fueron de 5.8 y 3.7 respectivamente para cada material.

El número de vesículas no arrojó diferencias, sin embargo, en algunos genotipos fue posible observar un mayor número de vesículas cuando la fertilización fue sólo con micorrizas, tal es el caso de 39 X, H-568, H-565, Sin Blan, 25 X, 32 X, VS- 558 y Sin Ad; mientras 6X y Sin Oco mostraron un mayor número de vesículas con la fertilización química, por otro lado, en la combinación de fertilizaciones solamente los genotipos Sin Oco y 32 X superaron a los otros dos tratamientos (**Figura 1b**).

La cantidad de arbúsculos observados en las raíces de los genotipos evaluados presentaron

diferencias ($p \leq 0.01$), la fertilización con micorrizas favoreció la presencia de estas estructuras principalmente en los genotipos H-568 y 39 X superando a 6 X con 10.9 estructuras observadas por centímetro, cabe mencionar que este material junto con 32 X fueron los únicos que registraron valores superiores en la fertilización química en contraste con los otros dos tratamientos (**Figura 1c**). En cuanto al tratamiento de combinación de fertilización solamente Sin Ad destacó sobre todos los genotipos y tratamientos de fertilización con una diferencia de 13.3 estructuras con respecto al material que registró menor número de arbúsculos y una diferencia de 12.1 entre los tratamientos de fertilización, siendo la fertilización química la de menor número de estructuras observadas.

Aunque varios autores concuerdan en que no existe especificidad de las micorrizas en los cultivos, es decir, todas las micorrizas pueden establecer un proceso de infección en las raíces de las plantas, siempre y cuando se encuentren las condiciones ambientales para que se establezcan (Carrillo-Saucedo et al., 2022; Giovannini et al., 2022; Zulueta-Rodríguez et al., 2020; Grageda-Cabrera et al., 2012). Wright et al. (2005) observaron que la respuesta de infección fue diferente en genotipos de maíces europeos contra genotipos africanos, lo que indica la existencia de diferencias entre la cantidad de infección entre genotipos, de igual forma Chu et al. (2013) observaron un comportamiento diferente entre

genotipos mejorados, lo cual se pudo observar en el presente estudio donde los genotipos con mayor rendimiento (39X, H-568, 25 X y 32 X) también

registraron la mayor cantidad de estructuras micorrizicas.

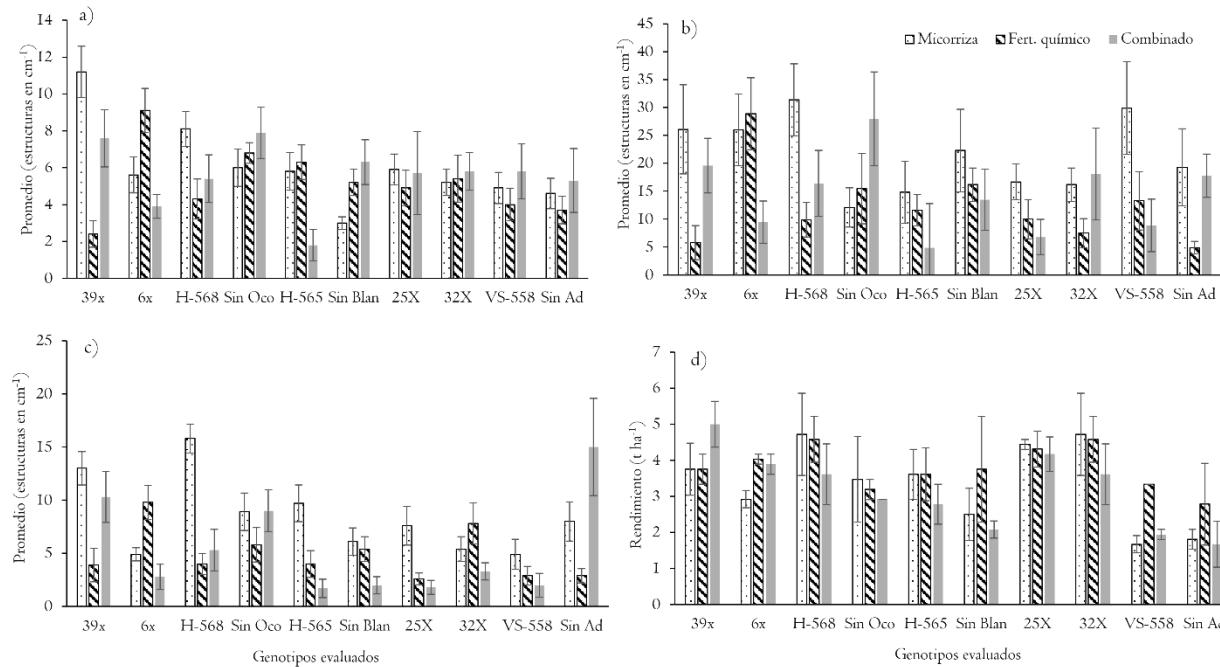


Figura 1. Respuesta de la interacción nueve genotipos de maíz con tres tipos de fertilizante. a) promedio de hifas, b) promedio de vesículas; c) promedio de arbúsculos; d) rendimiento.

El nivel de infección estará determinado por varios factores, como la humedad del suelo, las concentraciones de fósforo disponible, la habilidad genética y fisiológica de la planta y el hongo en establecer la asociación (Carrillo-Saucedo et al., 2022; Giovannini et al., 2022; Grageda-Cabrera et al., 2012). En la mayoría de los trabajos revisados se encontró que la mayor cantidad de estructuras de micorriza se localizan en los tratamientos donde solamente fueron empleadas inoculaciones (Uribe y Dzib, 2006; Pérez-Luna et al., 2012; Mora y Leblanc, 2012), tal como se observa donde en el tratamiento donde sólo se usó micorriza, el cual superó al tratamiento de combinación y a la fertilización química, situación similar reporta Mora y Leblanc, (2012) quienes observaron una mejor respuesta en acumulación de materia seca en plantas de maíz inoculadas con *Glomus*

fasciculatum que el tratamiento con fertilizante químico; en este sentido Fasusi, Amoo y Babalola (2021) observaron diferencias en el porcentaje de colonización de raíces, dependiendo de la micorriza, resaltando la eficiencia de *Rhizophagus irregularis* y aunque en este trabajo se empleó un producto comercial se pudo observar un alto porcentaje de infección en las raíces de plantas que fueron tratadas sólo con micorrizas, reportando diferencias ($p \leq 0.05$) o promedios mayores en los registros de vesículas, arbúsculos e hifas.

De acuerdo con Pérez-Luna et al. (2019) y Moreira et al. (2006) la presencia de las estructuras será diferente, dependiendo de la etapa del cultivo y las condiciones climáticas presentes. El tipo de estructura está relacionado con las características físicas y químicas del suelo y las temperaturas

(Diehl y Fontenla, 2010; Lee et al., 2009). En los resultados se registraron más vesículas y arbúsculos que hifas esto puede deberse al estado fisiológico en el que se encontraba el cultivo evaluado, el cual estaba a punto de concluir y la demanda de nutrientes por parte de la planta había disminuido (Aguilera-Gómez et al., 2007).

Por otro lado, el rendimiento de los genotipos evaluados registró diferencias ($p \leq 0.01$) de 2.23 t ha⁻¹ entre los de mayor rendimiento (39X, H-568, 25 X y 32 X) y los de menor registro (VS-558 y Sin Ad), estos rendimientos pueden responder a las características genéticas de los genotipos, el híbrido H-568 está adaptado para condiciones tropicales y en condiciones óptimas de manejo puede rendir alrededor de 5 t ha⁻¹ (Gómez Montiel et al., 2017) los genotipos 39X, 25 X y 32 X aún son experimentales, mientras que el material de menor rendimiento fue una variedad sintética, en algunos estudios indican que los híbridos tienden a superar en rendimiento a las variedades y unido a esta condición genética. Ya que los rendimientos obtenidos por tipo de fertilización no presentaron diferencias (**Tabla 2**), a pesar de esto la fertilización química superó ligeramente a la fertilización con micorriza y a la combinación (**Tabla 1**).

Al analizar la combinación de los genotipos con cada una de las condiciones de fertilización se observa una respuesta diferente en cada uno. A pesar de no reportar diferencias en la respuesta de rendimiento con el tipo de fertilización, se puede observar que los genotipos evaluados respondieron diferente dependiendo al tipo de fertilización (**Figura 1d**), el material 39 X fue el único que superó a todos cuando la aplicación de fertilizante fue combinada, mientras en el resto el rendimiento entre la fertilización química o con micorriza era similar, salvo los genotipos para Sin Blan, VS-558 y Sin Ad, en los cuales el rendimiento se redujo considerablemente sin registrar diferencias.

Los resultados de rendimiento obtenidos concuerdan con lo obtenido por Cabrales et al. (2016) así como Uribe y Dzib (2006) quienes

tampoco encontraron diferencias estadísticas en los rendimientos con los tratamientos empleados en sus trabajos, sin embargo, sí se observa un ligero incremento de rendimiento en los genotipos que fueron inoculados. En el presente trabajo, aunque no fue el caso de todos los genotipos, se puede resaltar H-568, Sin Oco, 25 X y 32X con ligeros aumentos de rendimiento que van de 140, 280, 130 y 140 kg respectivamente. Otros autores confirman un comportamiento favorable de la planta y raíces de maíz inoculada con micorriza, aun cultivada bajo condiciones de suelos infériles (Fasusi et al., 2021; Bi et al., 2003). La respuesta de rendimiento pueden diferir entre los genotipos evaluados, como en este caso, algunos autores indican que esto dependerá del tipo de micorriza que se esté inoculando, las concentraciones de fósforo disponible y la afinidad del cultivo con el tipo de micorriza (Chu et al., 2013). En el manejo del suelo donde se lleve a cabo el cultivo, dependerá del éxito de la micorrización, tal como lo observaron Pérez-Luna et al. (2012) quienes indican que los suelos manejados con coberturas y uso de micorrizas favorece la asociación del cultivo con el hongo.

CONCLUSIONES

El mayor promedio de estructuras de micorrizas fue obtenido en raíces de plantas fertilizadas solamente con micorrizas, por lo que se dio una buena simbiosis que permitió mantener los rendimientos igual que los tratamientos donde se involucró fertilizante mineral. Aunque no se registraron diferencias en los rendimientos dependientes de la fertilización, estos rendimientos fueron similares y hubo respuesta diferente en los genotipos evaluados, por lo que se considera que el uso de micorrizas como fertilización es una opción viable para productores de escasos recursos ya que no afecta negativamente los rendimientos, además de ser una fuente accesible, económica y sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Al INIFAP por el financiamiento del proyecto SIGI: 10295635543. Mejoramiento genético y registro de variedades de maíz para el trópico bajo de México y sus nichos ecológicos.

Se agradece el apoyo de los señores Diodoro Morales Couoh, Víctor Gabriel Várguez Herrera e Hilario Díaz Fuentes, por su apoyo en las actividades de campo.

REFERENCIAS

- Aguilera-Gómez, L., Portugal, V. O., Arriaga, R. y Contreras, A. R. (2007). Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 300–306.
<https://www.redalyc.org/pdf/104/10414307.pdf>
- Berdeni, D., Cotton, T. E. A., Daniell, T. J., Bidartondo, M. I., Cameron, D. D. & Evans, K. L. (2018). The effects of arbuscular mycorrhizal fungal colonisation on nutrient status, growth, productivity, and canker resistance of apple (*Malus pumila*). *Frontiers in Microbiology*, 9 (JUL).
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01461>
- Bi, Y. L., Li, X. L., Christie, P., Hu, Z. Q. & Wong, M. H. (2003). Growth and nutrient uptake of arbuscular mycorrhizal maize in different depths of soil overlying coal fly ash. *Chemosphere*, 50(6), 863–869.
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00231-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00231-X)
- Borges-Gómez, L., Escamilla-Bencomo, A. & Soria-Fregoso, M. (2005). Potassium in Soils of Yucatán. *Terra Latinoamericana*, 23, 437–445.
- Borges-Gómez, L., Moo-Kaui, C., Ruíz-Novelo, J., Osalde-Balam, M., González-Valencia, C., Yam-Chimal, C. & Can-Puc, F. (2014). Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: Características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia*, 48(4), 347–359.
- Bucher, M. (2007). Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. *New Phytologist*, 173(1), 11–26.
- <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01935.x>
- Cabralles H.E.M., Toro, M. & Lopez, D. (2016). Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. *Temas Agrarios*, 21(2), 21–31.
<https://doi.org/10.21897/rtav21i2.898>
- Cardoso, I. M. and Kuyper, T. W. (2006). Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116(1–2), 72–84.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.011>
- Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S. & Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mexicana*, 129.
<https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Castillo, E., Marín, E. E., López-Tolentino, G., Chi, J. A. & Muñoz-Osorio, G. A. (2020). Perspectivas del sistema milpa en Yucatán. *Bioagrociencias*, 14(2), 13–22.
[DOI:10.56369/BAC.3912](https://doi.org/10.56369/BAC.3912)
- Chu, Q., Wang, X., Yang, Y., Chen, F., Zhang, F. & Feng, G. (2013). Mycorrhizal responsiveness of maize (*Zea mays* L.) genotypes as related to releasing date and available P content in soil. *Mycorrhiza*, 23(6), 497–505.
<https://doi.org/10.1007/s00572-013-0492-0>
- Cuba, M. N. A., Santillán, S. M. T., Hurtado, G. P., Ordinola, S. A. P. & Mainegra, A. B. (2020). Caracterización de la colonización por micorrizas en *Retrophyllum rospigliossi* (Pilger) en el bosque Huamantanga, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 535–549.
- Diehl, P. and Fontenla, S. B. (2010). Arbuscular mycorrhizal infection in two morphological root types of *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch. *Revista Argentina de Microbiología*, 42(2), 133–137.
- Fasusi, O. A., Amoo, A. E. & Babalola, O. O. (2021). Propagation and characterization of viable arbuscular mycorrhizal fungal spores within maize plant (*Zea mays* L.). *Journal of*

- the Science of Food and Agriculture, 101(14), 5834–5841.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.11235>
- Giovannini, L., Sbrana, C., Giovannetti, M., Avio, L., Lanubile, A., Marocco, A. & Turrini, A. (2022). Diverse mycorrhizal maize inbred lines differentially modulate mycelial traits and the expression of plant and fungal phosphate transporters. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25834-7>
- Gómez M. N. O., Cantú-Almaguer, M. Á., Vázquez-Carrillo, M. G., Hernández-Galeno, C. del Á., Espinosa-Calderón, A., Sierra-Macías, M., Coutiño-Estrada, B. de J., Aragón-Cuevas, F. & Trujillo-Campos, A. (2017). Híbrido de maíz H-568: nueva opción para áreas de alta productividad del trópico bajo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1213–1218. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.121>
- Grageda-Cabrera, O., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J. & Vera-Nuñez, A.J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 1261–1274.
- Lee, K. J., Lee, K. H., Tamolang-castillo, E. & Budi, S. W. (2009). Biodiversity—spore density and root colonization of Arbuscular Mycorrhizal fungi at Expressway Cut-slopes in Korea. *Journal of Korean Fores Society*, 98(5), 539–547.
- Maria-Ramírez, A., Volke-Haller, V. H. & Guevara-Romero, M. L. (2017). Yield estimation of native corn varieties in the State of Tlaxcala. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 13(1), 8–14.
- Mathur, S. and Jajoo, A. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi protects maize plants from high temperature stress by regulating photosystem II heterogeneity. *Industrial Crops and Products*, 143, 111934. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111934>
- Mora, A. N. y Leblanc, H. (2012). Evaluación del uso de micorrizas arbusculares para disminuir la aplicación de fertilizantes fosforados en el cultivo del maíz. *Tierra Tropical*, 8(2), 245–255. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1345.2002>
- Moreira, M., Baretta, D., Siu, M. T. and Cardoso, E. J. B. N. (2006). Spore density and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi in preserved or disturbed *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. ecosystems. *Scientia Agricola*, 63(4), 380–385. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162006000400009>
- Pérez-Luna, Y. del C., Álvarez-Gutiérrez, P. E., González Mendoza, D. y Mendez-Trujillo, V. (2019). Evaluación de la presencia de hongos micorrízico arbusculares en un bosque de pino-encino en Chiapas, México. *IDESIA*, 37(1), 67–73. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292019005000401>
- Pérez-Luna, Y. del C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J. M., Gómez-Álvarez, R. & Cuevas, L. (2012). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Botánica*, 69(1), 46–56. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432012000100006>
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158–161. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- Rakshit, A. and Bhadoria, P. (2010). Role of VAM on growth and phosphorus nutrition of maize with low soluble phosphate fertilization. *Acta Agronómica*, 59(1), 119–123.
- Reyes T.A., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G. y López-Pérez, L. (2017). Micorrización en *Capsicum annuum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 857. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.260>

- Serralde, A. M. y Ramírez, M. M. (2004). Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 31–40. https://doi.org/10.21930/rcta.vol5_num1_art:22
- Thangavel, P. and Sridevi, G. (2015). Environmental sustainability: Role of green technologies. In *Environmental Sustainability: Role of Green Technologies*. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2056-5>
- Uribe, G. y Dzib, R. (2006). Micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*), *Azospirillum brasiliense* y Brassinoesteroide en la producción de maíz en suelo luvisol. *Agricultura Técnica en México* 32(1), 67–76.
- Wright, D. P., Scholes, J. D., Read, D. J. & Rolfe, S. A. (2005). European and African maize cultivars differ in their physiological and molecular responses to mycorrhizal infection. *New Phytologist*, 167(3), 881–896. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01472.x>
- Zhu, X. C., Song, F.B., Liu, S.Q., & Liu, T.D. (2011). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on photosynthesis and water status of maize under high temperature stress. *Plant and Soil*, 346(1), 189–199. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0809-8>
- Zulueta-Rodríguez, R., Gómez-Merino, F. C., Alemán-Chávez, I., del Carmen Núñez-Camargo, M. & Lara-Capistrán, L. (2020). Maize yield response to bio-inoculation and chemical fertilization reduction under field conditions. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 597–612. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.656>

IDENTIFICACIÓN DE AGENTES CAUSALES DE LA PUDRICIÓN SECA DE *Agave potatorum* Zucc EN VIVERO

IDENTIFICATION OF CAUSAL AGENTS OF DRY ROT OF *Agave potatorum* Zucc IN NURSERY

Álvaro Zuriel Bailón-Ortiz^{ID}, Manuel Jesús Amábilis-Sánchez^{ID}

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán 71230, Oaxaca, México. [§]Autor de correspondencia: (abarlon2300@alumno.ipn.mx).

RESUMEN

Actualmente no se han identificado los agentes causales asociados a la pudrición seca de *Agave potatorum* Zucc en la etapa de vivero. En diversas especies de *Agave* se han identificado cepas de hongos de los géneros *Fusarium*, *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Phoma*, *Botryodiplodia*, *Cercospora*, *Aspergillus* y la bacteria *Dickeya chrysanthemi* causando diversas enfermedades. Debido a la importancia de la especie en el estado de Oaxaca y su alta demanda, el objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico fitosanitario de la pudrición seca de *A. potatorum* en la etapa de vivero en el distrito de Sola de Vega, e identificar los principales daños y los agentes causales asociados con bases morfológicas. Se midió incidencia, severidad y mortalidad de las plantas, se aislaron los agentes causales y se purificaron por el método de cultivos monospóricos. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y pruebas de medias (Duncan, $\alpha = 0.05$). La incidencia fue semejante en los viveros diagnosticados; sin embargo, la severidad y mortalidad tuvieron valores más altos en el vivero ubicado en Santa María Sola, los menores valores de mortalidad se encontraron en la comunidad de Quialela. Se aislaron cinco cepas asociadas a la enfermedad de las cuales tres presentaron características morfológicas del género *Fusarium* y dos del género *Alternaria*. La cepa 2 CRCH perteneciente al género *Fusarium* tuvo mayor presencia en los tejidos radicales y del tallo de las plantas enfermas y la cepa 4 CRCH tuvo mayor presencia en los daños foliares.

Palabras clave: *Alternaria*, *Fusarium*, incidencia, maguey mezcalero, mortalidad, severidad.

ABSTRACT

Currently, the causal agents associated with dry rot of *Agave potatorum* Zucc at the nursery stage have not been identified. Fungal strains of the genera *Fusarium*, *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Phoma*, *Botryodiplodia*, *Cercospora*, *Aspergillus* and the bacterium *Dickeya chrysanthemi* have been identified in various species of *Agave* causing various diseases. Due to the importance of the species in the state of Oaxaca and its high demand, the objective of the present work was to carry out a phytosanitary diagnosis of dry rot of *A. potatorum* at the nursery stage in the district of Sola de Vega, and to identify the main damages and the causal agents associated with morphological bases. Incidence, severity and mortality of the plants were measured, and the causal agents were isolated and purified by the monosporic culture method. Data were analyzed by analysis of variance and mean tests (Duncan, $\alpha = 0.05$). Incidence was similar in the diagnosed nurseries; however, severity and mortality had higher values in the nursery located in Santa María Sola, the lowest mortality values were found in the community of Quialela. Five strains associated with the disease were isolated, three of which showed morphological characteristics of the genus *Fusarium* and two of the genus *Alternaria*. Strain 2 CRCH belonging to the genus *Fusarium* had a greater presence in root and stem tissues of

diseased plants and strain 4 CRCH had a greater presence in foliar damage.

Index words: *Alternaria*, *Fusarium*, incidence, maguey mezcalero, mortality, severity.

INTRODUCCIÓN

El género *Agave* es endémico de América y cuenta con alrededor de 210 especies en el mundo; México es el país con mayor riqueza de especies debido a que dentro de su territorio se encuentran alrededor de 159, de las cuales 129 son endémicas (Giraldo-Cañas, 2020; García-Mendoza, Franco-Martínez y Sandoval-Gutiérrez, 2019). El estado de Oaxaca cuenta con alrededor de 61 especies y 15 de ellas son endémicas (García-Mendoza y Meave, 2011).

Las especies del género *Agave* cuentan con una gran importancia en la vida humana, ya que desde tiempos inmemorables se han usado como alimento, material para construcción, fibras, medicina tradicional, cercas vivas y en la elaboración de bebidas fermentadas y destiladas (Corona-Romero, Coronado-Juárez y Madrigal-Gómez 2022; Hernández-Castro et al., 2021; Delgado-Lemus, Casas & Téllez, 2014), y actualmente se reportan alrededor de 70 formas de uso identificadas. Se estima que, de las especies existentes en el país, entre 50 y 53 son utilizadas en la elaboración de mezcal (Corona-Romero et al. 2022; Delgado-Lemus et al. 2014), procedentes ya sea de poblaciones silvestres o cultivadas (Corona-Romero et al., 2022). El estado de Oaxaca se considera el principal productor de mezcal a nivel nacional, aportando el 91.31 % del volumen total nacional y *A. potatorum* ocupa el segundo lugar en importancia (COMERCAM, 2023).

El cultivo de agave puede ser afectado por diversas plagas (Cuevas-López et al., 2023; Bailón-Ortiz, Segura-Ledezma y Figueroa-Castro, 2021) y enfermedades que causan reducción en el rendimiento final y, en consecuencia, una pérdida económica (López-Bautista et al., 2020; Cruz-

Magalhães et al., 2017; Trinidad-Cruz et al., 2017; Jiménez-Díaz, 2017; Farr et al., 2006).

Se han identificado diversas enfermedades en *Agave* spp., que provocan pérdidas económicas; Farr et al. (2006) indican que un complejo de especies del género *Colletotrichum* es el agente causal de la antracnosis o manchas foliares en *Agave* spp. Cruz-Magalhães et al. (2017) mencionan una podredumbre del tallo de *A. sisalana* que es causada por un complejo de especies del género *Aspergillus*. Kumar-Gautam (2013) reportó la presencia de *Alternaria alternata* causando manchas foliares en *A. americana*. En *A. tequilana* Weber var. *azul* se reportan *Fusarium oxysporum* y *F. solani* causando marchitez de la planta (López-Bautista et al., 2020; Trinidad-Cruz et al., 2017; Ramírez-Ramírez et al., 2017; Ávila-Miranda et al., 2010). Duque-Bautista et al. (2017) encontraron a *Cladosporium herbarum* causando daños foliares en *A. angustifolia*.

Cabrera-Huerta et al. (2019) reportan que *Dickeya chrysanthemi* es el agente causal de la marchitez bacteriana en *Agave cupreata*. Ceballos-Álvarez et al. (2022) y Coria-Contreras et al. (2019) reportan que *Cercospora agavicola* es el agente causal de la mancha gris en hojas de *A. tequilana*. Cruz-Luna, Vásquez-López y Martínez-Gutiérrez (2022) reportan cinco especies de *Fusarium* causando pudrición de cogollo en *A. convallis*. Recientemente, Ceballos-Álvarez et al. (2022) encontraron hongos de los géneros *Alternaria*, *Cercospora*, *Phoma*, *Rhizoctonia* y *Botryodiplodia* causando daños foliares en *A. tequilana* Weber var. *azul*. Para el estado de Oaxaca tan solo, Martínez-Martínez (2017) reportó en plantas de *A. potatorum* de campo la presencia de *F. solani* causando pudrición de plantas y *C. sansevieriae* causando antracnosis.

Para el estado de Oaxaca, no se encontraron registros documentados de investigaciones indicando enfermedades que atacan a plántulas de *A. potatorum* en su etapa de vivero, por lo tanto, se desconocen si los agentes causales son los mismos que atacan en plantaciones establecidas;

por lo anterior y debido a la importancia de la especie en el estado, el objetivo de este estudio fue realizar un diagnóstico fitosanitario de la pudrición seca de *A. potatorum*, en la región Sierra Sur en el estado de Oaxaca, que es la zona central de su distribución, así como la identificación morfológica de los agentes causales asociados y su frecuencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se recorrieron viveros en donde se produce *A. potatorum*, en las localidades de Quialela ubicada en el municipio de San Francisco Sola, así como en El Lazo, La Soledad y La Purísima ubicadas en el municipio de San Miguel Sola, y uno en el municipio de Santa María Sola. El estudio se llevó a cabo de octubre de 2019 a enero de 2021. Se seleccionó un vivero por cada localidad de estudio.

Diagnóstico fitosanitario

Se realizó un primer recorrido en cinco viveros con el objetivo de proponer una escala diagramática para evaluar la severidad de la enfermedad, con base en los daños visuales que presentaban las plantas (Coria-Contreras et al., 2019; Rivera-Zabala et al. 2017; Ávila-Miranda et al., 2010), la escala se elaboró con base en las escalas propuestas por Ávila-Miranda et al. (2010) y Jiménez-González et al. (2017). En la segunda visita a los viveros, se distribuyeron ocho puntos de 10 plantas al azar en donde se midió la incidencia, severidad y mortalidad (Julca-Otiniano et al., 2019; Ávila-Miranda et al., 2010).

Material vegetal

Las plantas diagnosticadas fueron de *A. potatorum* de un año producidas de forma sexual. Se colectaron 40 plantas con síntomas característicos de la pudrición seca, se colocaron en bolsas de cartón y se llevaron al Laboratorio de Fitopatología del Centro Regional Universitario Centro Occidente de la Universidad Autónoma Chapingo ubicado en Morelia, Michoacán en donde fueron procesadas para su análisis.

Aislamiento de agentes causales

Se preparó un medio de cultivo general con papadextrosa-agar en dosis de etiqueta 39 g L⁻¹, se esterilizó en autoclave; para luego ser depositado en cajas Petri en condiciones estériles bajo campana de flujo laminar. Las plantas se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 2 % por tres minutos, se pasaron por dos vasos diferentes con agua destilada estéril, y se secaron sobre toallas de papel estéril. Los aislamientos se realizaron de forma directa cortando trozos de 1 cm de diámetro de hoja, raíz y piña de cada planta, y colocando cuatro trozos por caja Petri que contenía el medio de cultivo (Monroy-Castro y Lizarazo-Forero, 2010). Se les dejó crecer por cinco días a una temperatura promedio de 25±1 °C. Las colonias que crecieron se purificaron en medio general Papa-dextrosa-agar y se separaron por raíz, piña y hoja, permitiéndoles crecer por 5 días a 25±1 °C.

Las cepas de hongos se purificaron con la técnica de cultivos monospóricos, para lo cual se trajeron discos de 1 cm de diámetro por cepa que se introdujeron en tubos de ensayo con 10 mL de agua destilada estéril, a estas preparaciones de esto se les aplicó 15 segundos de agitación en un agitador IKA Vortex 2. De la mezcla de cada cepa se tomó 1 mL, y se pusieron 4 gotas en cajas Petri con medio agua agar (29 g L⁻¹). Después se extrajo una espora germinada de cada caja Petri, las cuales se llevaron a una caja Petri nueva con medio de cultivo agua-agar, en donde se les dejó crecer por cinco días más a 25± 1 °C (Cañedo y Ames, 2004).

Identificación y presencia de agentes causales

Las cepas se identificaron a nivel de género con las claves taxonómicas de Barnett y Hunter (2006). De cada aislamiento se identificaron las cepas presentes y con ello se obtuvo el porcentaje de presencia de las cepas en los diferentes tejidos analizados.

Análisis de datos

La colecta de datos de incidencia, severidad y mortalidad causada por la pudrición seca en *A.*

potatorum, se realizó con un arreglo completamente al azar, para después ser analizados estadísticamente.

Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Duncan $\alpha = 0.05$) para las variables de incidencia, media de severidad y mortalidad de la pudrición seca en *A. potatorum* y las localidades como factor independiente. El análisis estadístico se realizó en el paquete IBM SPSS Statistics (Versión 25)®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Síntomas del material vegetal

El material vegetal que se colectó mostró manchas necróticas foliares iniciando del centro o la periferia, las cuales mostraban crecimiento hasta alcanzar la base del cogollo; además, presentaron marchitez de raíz con colores rojizos-marrones intenso y desprendimiento de la epidermis lo que provocaba la baja absorción de agua y pudrición o marchitez y muerte de la planta tal y como lo

mencionan la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV, 2017) y Vega-Ramos, Uvalle-Bueno & Gómez-Leyva (2013). Los síntomas foliares se asemejan a lo reportado por Kumar-Gautam (2013) en *A. americana* causados por *A. alternata* y los reportados por Trinidad-Cruz et al. (2017) en *A. cupreata* causados por *F. oxysporum*. Así mismo, Martínez-Martínez (2017) reporta síntomas foliares semejantes en *A. potatorum* de campo causados por *F. solani* y *C. sansevieriae*. Farr et al. (2006) mencionan que hongos pertenecientes a *Colletotrichum* pueden causar manchas foliares necróticas en *Agave*. Los síntomas de raíz corresponden a lo reportando por Ramírez-Ramírez et al. (2017) en *A. tequilana* Weber var. *azul* atacado por *F. solani* y *F. oxysporum*. Rodríguez-Velázquez et al. (2024) mencionan que los daños de raíz en *A. angustifolia* se asociaron a la presencia de *Pantoea vagans*, mientras que, Palemon et al. (2021) mencionan que *P. dispersa* por igual puede causar daños cinco la raíz de *A. angustifolia*.



Figura I. Escala de severidad de la pudrición seca de *Agave potatorum* en la etapa de vivero, en la Sierra Sur del estado de Oaxaca. Nivel 0: planta sana sin presencia de manchas necróticas, con raíces sin arrugamiento; Nivel 1: la planta comienza a tener manchas necróticas secas en la periferia o centro de una hoja, las raíces se observan arrugadas y un ligero color rojizo; Nivel 2: dos hojas ya cuentan con manchas necróticas, las raíces son más rojizas; Nivel 3: la mayoría de hojas dañadas y con síntomas llegando a la base del cogollo, comienza la muerte de la planta; Nivel 4: todas la hojas dañadas y la planta se puede encontrar muerta o a punto de morir.

Tabla I. Medias de incidencia, severidad y mortalidad de *Agave potatorum* en los viveros diagnosticados (los promedios de severidad se obtuvieron con base en Ávila-Miranda et al., 2010).

Localidad	Incidencia (%)	Severidad	Mortalidad (%)
Quialela	73 ^a	1.76 ^{ab}	2 ^a
El Lazo	69 ^a	1.99 ^{ab}	7 ^{abc}
La Soledad	71 ^a	1.94 ^{ab}	10 ^{bc}
La Purísima	59 ^a	1.7 ^a	3 ^{ab}
Santa María	60 ^a	2.14 ^b	13 ^c
Coeficiente de variación (%)	22.06	19.78	39.25

Valores con letras iguales por columna no muestran diferencias significativas (Duncan, 0.05).

Escala de severidad

La escala de severidad que fue posible definir por los recorridos en campo se compone de cinco niveles que describen el nivel de daño foliar, escalas semejantes fueron propuestas por Jiménez-González et al. (2017) y Ávila-Miranda et al. (2010) (**Figura I**).

Diagnóstico fitosanitario de la enfermedad

La incidencia no mostró diferencias significativas entre comunidades (Duncan, $p \leq 0.05$) (**Tabla I**), esto indica que la enfermedad está presente en las mismas condiciones en las comunidades evaluadas dentro del distrito de Sola de Vega y se convierte en un reto de manejo. Los valores de incidencia encontrados variaron entre el 59 % y 73 % y fueron semejantes a los reportados por Ávila-Miranda et al. (2010) en Jalisco para la marchitez de *Agave tequilana* Weber var. *azul* causado por *F. oxysporum*. Rodríguez-Velázquez et al. (2024) reportan una incidencia promedio del 37 % de manchas foliares en *A. angustifolia* causadas por *Pantoea vagans* en el Estado de México.

La mortalidad mostró una diferencia significativa (Duncan, $p \leq 0.05$) (**Tabla I**), obteniendo como resultado una mayor mortalidad en Santa María Sola con un promedio de 13 % y la menor mortalidad fue encontrada en Quialela, San Francisco Sola, con un promedio del 2 %.

La severidad se midió con la escala diagramática y se obtuvo el número de plantas con cada nivel de severidad por población; los resultados mostraron que en los niveles 0, 2 y 3 no

existió una diferencia significativa (Duncan, $p \leq 0.05$) en el número de plantas enfermas (**Tabla I**); por otro lado, el mayor número de plantas con severidad nivel 4 y el mayor promedio de severidad se encontró en Santa María Sola (Duncan, $p \leq 0.05$). Los valores de severidad promedio son semejantes a los reportados por Ávila-Miranda et al. (2010), para *Agave tequilana* Weber var. *azul* quienes reportan una severidad promedio de 2.2; el valor promedio más alto en la presente investigación fue de 2.14 presentándose en el vivero de Santa María Sola.

Agentes causales asociados a la enfermedad

Se aislaron cinco cepas con mayor presencia en los síntomas de la enfermedad de las cuales por características morfológicas tres se asociaron al género *Fusarium* y dos al género *Alternaria*. Cepa 1 CRCH: micelio color amarillo-naranja sin presencia de micelio aéreo; alta presencia de microconidios y baja o nula presencia de macroconidios. Cepa 2CRCH: micelio color rosa uniforme, con crecimiento esponjoso y aéreo. Presencia de micro y macroconidios. Cepa 3 CRCH: micelio con pigmentación morada y sin crecimiento aéreo. Presencia alta de microconidios y baja presencia de macroconidios. Cepa 4 CRCH: crecimiento aéreo del micelio, esponjoso con pigmentación negra. Presencia de conidios septados transversal y verticalmente. Cepa 5 CRCH: crecimiento esponjoso y aéreo del micelio; con pigmentación color gris claro. Mostró presencia de conidios septados transversal y verticalmente, estos conidios se encontraron sueltos (**Figura 2**).

Los resultados obtenidos son semejantes con los resultados que muestra los trabajos de Ramírez-Ramírez et al. (2017); Trinidad-Cruz et al. (2017) y Ávila-Miranda et al. (2010) quienes reportan la presencia de *F. oxysporum* en la marchitez, dentro de los síntomas se encuentra la marchitez y coloración rojiza de las raíces. Martínez-Martínez (2017) encontró como agente causal a *F. solani* en la marchitez de hojas en *A. potatorum* en la etapa de campo. Así mismo, Cruz-Luna et al. (2022) identificaron morfológicamente cinco cepas de *Fusarium* asociadas a la pudrición del cogollo de *A. convallis*. Estas semejanzas en cuanto a los agentes causales asociados a la enfermedad, probablemente se deban a que tanto el *A. cupreata*, el *A. tequilana* Weber var. *azul* y el *A. potatorum* pertenecen al mismo género de plantas y pueden compartir hospederos patógenos.

Los daños foliares con manchas necróticas fueron reportados por Kumar-Gautam (2013) y Ceballos-Álvarez et al. (2022) quienes mencionan la presencia de especies del género *Alternaria* causando daños foliares en *A. americana* y *A.*

tequilana, lo cual coincide con los resultados del presente trabajo ya que se identificaron dos cepas diferentes del género *Alternaria*. Ceballos-Álvarez et al. (2022) por igual reportan *Cercospora* sp., *Phoma*, sp., *Rhizoctonia* sp., *Botryodiplodia* sp.; Campos-Rivero et al. (2019) y Martínez-Martínez (2017) mencionan que *Lasiodiplodia theobromae* pueden ser causantes de daños necróticos foliares en *A. tequilana* y *A. angustifolia* respectivamente. Martínez-Martínez (2017) por igual menciona que manchas necróticas en las hojas de *A. potatorum* son causadas por *C. sansevieriae*. Duque-Bautista et al. (2017) mencionan que las manchas necróticas en *A. angustifolia* son causadas por *C. herbarum*. Ceballos-Álvarez et al. (2022) y Coria-Contreras et al. (2019) mencionan que las manchas foliares en *A. tequilana* por igual pueden ser causadas por *C. agavicola*. Aunque estos últimos resultados no concuerdan con lo obtenido en la presente investigación, se demuestra que existen diferentes agentes patógenos causando una amplia cantidad de manchas foliares en las diversas especies de *Agave*.

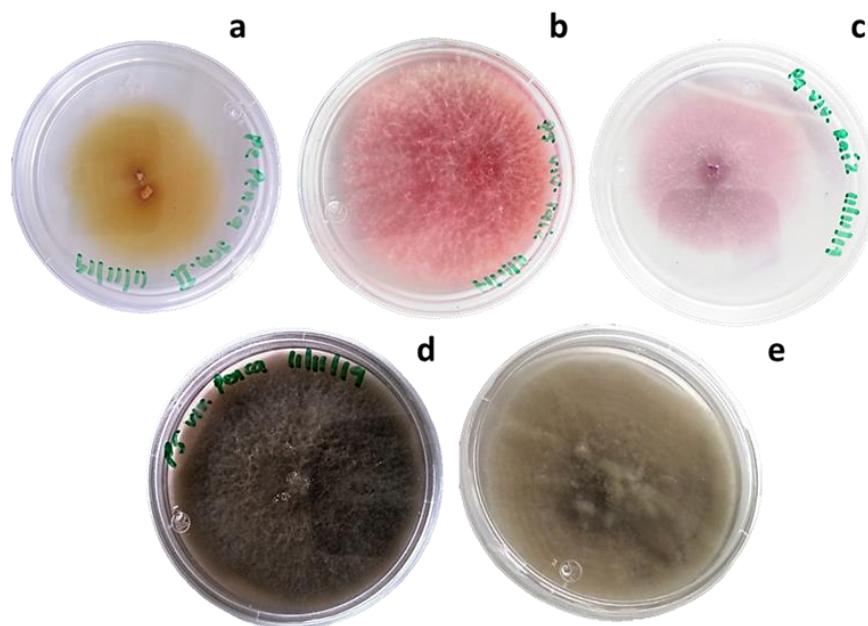


Figura 2. Cepas encontradas en las plantas de *Agave potatorum* dañadas por pudrición seca. a) Cepa 1 CRCH *Fusarium* sp., b) Cepa 2 CRCH *Fusarium* sp., c) Cepa 3 CRCH *Fusarium* sp., d) Cepa 4 CRCH *Alternaria* sp., e) Cepa 5 CRCH *Alternaria* sp.

Presencia de los agentes causales en los diferentes órganos

La presencia de las cepas en las plantas se obtuvo teniendo en cuenta los aislamientos por parte vegetativa, encontrándose que las cepas 1, 2 y 3 CRCH tuvieron una presencia mayor en raíz (75, 100, 70 % respectivamente) y en piña o tallo (35, 90, 20 %). Las cepas 4 y 5 CRCH se presentaron en el 75 y 45 % de las hojas analizadas respectivamente. Por su parte, la cepa 2 CRCH se presentó de igual forma en el 55 % de los daños foliares (**Figura 3**). Estos resultados muestran semejanza con lo reportado por Ramírez-Ramírez et al. (2017) quienes muestran la presencia de *F. solani* en el 100 % de las plantas evaluadas y de *F. oxysporum* en el 62.5 %.

La mayor presencia de las cepas pertenecientes al género *Fusarium* en raíz y tallo, se deben a que este patógeno penetra por la raíz y coloniza tallos y haces vasculares lo que resulta en una marchitez y deshidratación de la plantas y hojas, por tal motivo, puede tener presencia en el follaje

(Takken y Rep, 2010). Por otra parte, las especies del género *Alternaria* suelen atacar por las hojas, por tal motivo su mayor presencia se encontrará en el follaje (Cervantes-Juan et al., 2020).

CONCLUSIONES

La enfermedad de pudrición seca en *Agave potatorum* se presentó de manera semejante en las cinco localidades diagnosticadas, aunque, los niveles más altos de severidad y mortalidad se presentaron en Santa María y los más bajos en La Purísima y Quialela. Se encontraron cinco cepas asociadas a la enfermedad de las cuales tres se identificaron dentro del género *Fusarium* y dos del género *Alternaria*. La cepa con mayor presencia en raíz y piña fue la Cepa 2 CRCH perteneciente al género *Fusarium* y en hojas tuvo mayor presencia la Cepa 4 CRCH del género *Alternaria*. Este es el primer reporte diagnóstico de la pudrición seca del *A. potatorum* en Sola de Vega y de la identificación de los agentes causales asociados a la enfermedad.

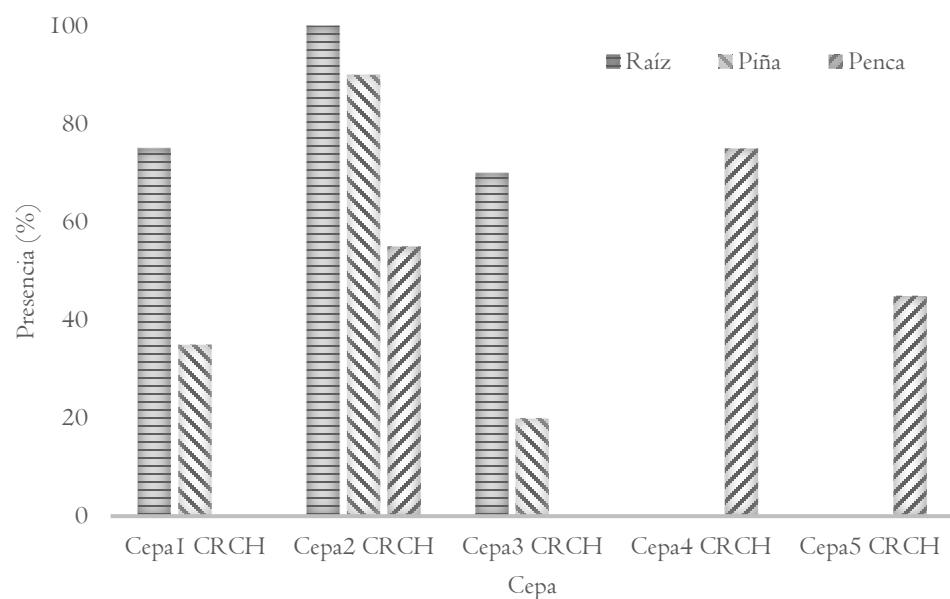


Figura 3. Presencia de las cepas en los diferentes órganos de las plantas de *Agave potatorum* en viveros en la Sierra Sur del estado de Oaxaca.

AGRADECIMIENTOS

A los productores que permitieron el uso de sus parcelas para poder llevar a cabo la investigación, a la Asociación Civil Barreta de Oro por su apoyo y al CRUCO-UACH por su apoyo con espacio y materiales para el aislamiento e identificación de los agentes causales.

REFERENCIAS

- Ávila-Miranda, M., López-Zazueta, J., Arias-Castro, C., Rodríguez-Mendiola, M., Guzmán-de Peña, D., Vera-Núñez, J., & Peña-Cabriales, J. (2010). Vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* in agave (*Agave tequilana* Weber var. *azul*). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 12, 166-180.
<https://doi.org/10.56890/jpacd.v12i.106>
- Bailón-Ortiz, A.Z., Segura-Ledesma, S., y Figueroa-Castro, P. (2020). Dinámica poblacional de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, 1838 (Coleóptero: Dryophthoridae) en *Agave angustifolia* Haw en el sur de Oaxaca. *Entomología Mexicana*, 7, 246-251.
- Barnett, H.L., & Hunter, B.B. (2006). *Illustrated genera of imperfect fungi*. Fourth edition. Burgess publishing company. New York, USA. 241 p.
- Cabrera-Huerta, E., Aranda-Ocampo, S., Hernández-Castro, E., Nava-Díaz, C., Mora-Aguilera, J. A., & Vásquez-López, A. (2019). First report of bacterial wilt caused by *Dickeya chrysanthemi* on agave-mezcal (*Agave cupreata*) in México. *Plant Disease*, 103(6), <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-18-0877-PDN>
- Campos-Rivero, G., Sánchez-Teyer, L.F., De la Cruz-Argujo, E., Ramírez-González, M.A., Larralde-Corona, C.P., & Narváez-Zapata, J. A. (2019). Bioprospecting for fungi with potential pathogenic activity on leaves of *Agave tequilana* Weber var. *azul*. *Journal of Phytopathology*, 167(5), 283-294.
<https://doi.org/10.1111/jph.12797>
- Cañedo, V., y Ames, T. (2004). *Manual de laboratorio para el manejo de hongos entomopatógenos*. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. 62 p.
- Ceballos-Álvarez, A., Chávez-Díaz, I., Zelaya-Molina, L.X., Cruz-Cárdenas, C.I., Mercado-Vargas, T.J., y Reséndiz-Venado, Z. (2022). Identificación morfológica de hongos filamentosos aislados de diferentes síntomas asociados a agave tequilero en Los Altos de Jalisco. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 10(1), 60-69.
- Cervantes-Juan, Ma. M., Olalde-Portugal, V., Martínez-Franco, M.B., Notario-Zacarías, Ma. I., y Valdés-Rodríguez, S.E. (2020). La cistatina de amaranto previene y controla el tizón temprano en tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(3), 567-580. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i3.2066>
- COMERCAM (Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal). (2023). *Informe estadístico 2023*. 26 p.
- Coria-Contreras, J.J., Mora-Aguilera, G., Yáñez-Morales, M.J., Acevedo-Sánchez, G., Santana-Peña-Loza, B., Mendoza-Ramos, C., Jiménez-González, L., Martínez-Bustamante, V.I., García-Martínez, D.C., y Rubio-Cortés, R. (2019). Epidemiología regional aplicada a la caracterización inductiva y pronóstico de la mancha gris del agave azul (*Cercospora agavicolae*) en Jalisco. México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37(1), 71-94. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1809-4>
- Corona-Romero, N., Coronado-Juárez, E., y Madrigal-Gómez, J.M. (2022). Estudio espectral de diferentes variedades de *Agave* para la creación de una librería espectral para su mapeo y monitoreo mediante percepción remota. *Investigaciones Geográficas*, 107, e60451.
<https://dx.doi.org/10.14350/rig.60451>

- Cruz-Luna, A.R., Vásquez-López, A., Martínez-Gutiérrez, G.A. (2022). Hongos asociados a la pudrición del cogollo de *Agave convallis* en Oaxaca México. *Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca*, 6(6), 53-58.
- Cruz-Magalhães, V., de Oliveria-Barbosa, L., Pereira-Andrade, J., Fermín-Soares, A.C., Teodoro-de Souza, J., & Santos-Marbach, P. (2017). *Burkholderia* isolates from a sand dune leaf litter display biocontrol activity against the bole rot disease of *Agave sisalana*. *Biological Control*, 112, 41-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.06.005>
- Cuevas-López, D., Hernández-Castro, E., Romero-Rosales, T., Segura-Pacheco, H.R., Figueroa-Castro, P., y González-Hernández, H. (2023). Sinergistas para el trampado del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) en *Agave angustifolia* (Asparagaceae), en Guerrero, México. (2023). *Revista Colombiana de Entomología*, 49(2), e12547. <https://doi.org/10.25100/socolen.v49i2.12547>
- Delgado-Lemus, A., Casas, A., & Téllez, A. (2014). Distribution, abundance and traditional management of *Agave potatorum* in the Tehuacán Valley, Mexico: bases for sustainable use of non-timber forest products. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10, 63. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-63>
- Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV). (2017). *Marchitez del agave. Fusarium oxysporum*. SAGARPA-SENASICA.
- Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Tecámac, México. 11 p.
- Duque-Bautista, H., Zurita-Vásquez, G. G., Pacheco-Hernández, Y., y Villa-Ruano, N. (2017). Etiología de la mancha necrótica del *Agave angustifolia*: una aproximación in vitro hacia su control biológico. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(2), 326-337. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1701-2>
- Farr, D., Aime, C., Rossman, A., & Palm, M. (2006). Species of *Colletotrichum* on Agavaceae. *Mycological Research*, 110(12), 395-408. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.09.01>
- García-Mendoza, J. A., Franco-Martínez, I. S., y Sandoval-Gutiérrez, D. (2019). Cuatro especies nuevas de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) del sur de México. *Acta Botánica Mexicana*, 126, e1461. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1461>
- García-Mendoza, J. A., y Meave, A. A. (2011). *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos y angiospermas (colecciones y lista de especies)*. Primera edición. UNAM/CONABIO, México.
- Giraldo-Cañas, D. (2020). Una especie nueva de *Agave* (Asparagaceae, Agavoideae) de Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, e913274. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3274>
- Hernández-Castro, E., López-Sandoval, Y., Escobar-Álvarez, J.L., Ramírez-Reynoso, O., Maldonado-Peralta, M.A., & Valenzuela-Lagarda, J.L. (2021). Morphometric analysis of seed and seedling development of maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(3), e2964. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.2964>
- IBM Corp. (2019). IBM SPSS Statistics for Windows (Versión 25.0) [Computer Software]. IBM Corp.
- Jiménez-Díaz, R. M. (2017). Las enfermedades de las plantas: impactos, amenazas y control. *Boletín de la Real Academia de Córdoba*. 166, 11-130.
- Jiménez-González L. R., Mendoza-Ramos C., Santana-Peñaiza B., Coria-Contreras J., Delgado-Mora F., Acevedo-Sánchez G., Guzmán-Hernández E., y Mora-Aguilera G. (2017). Escala logarítmica diagramática de severidad para medición de pudrición seca del cogollo, marchitez y mancha gris del agave azul.

- Revista Mexicana de Fitopatología, 35(S), 177.
- Julca-Otiniano, A., Borjas-Ventura, R., Alvarado-Huamán, L., Julca-Vera, N., Castro-Cepero, V., y Bello-Amez, S. (2019). Relación entre la incidencia y severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Chanchamayo, Perú. *Journal of Science and Research*, 4(4), 1-9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3477556>
- Kumar-Gautam, A. (2013). Natural occurrence of *Alternaria alternata* on *Agave americana*: a report from Himachal Pradesh, India. *Journal on New Biological Reports*, 2(1), 36-39.
- López-Bautista, V., Mora-Aguilera, G., Gutiérrez-Espinoza, M.A., Mendoza-Ramos, C., Martínez-Bustamante, V.I., Coria-Contreras, J.J., Acevedo-Sánchez, G., & Santana-Peña, D. (2020). Morphological and molecular characterization of *Fusarium* spp. associated to the regional occurrence of wilt and dry bud rot in *Agave tequilana*. *Mexican Journal of Phytopathology*, 38(1), 109-106. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-4>
- Martínez-Martínez, A. (2017). *Identificación de hongos causantes de enfermedades foliares del Agave spp., en la región del mezcal, Oaxaca*. Tesis de grado. Universidad Autónoma Chapingo. 66 p.
- Monroy-Castro, L.Y., y Lizarazo-Forero, L.M. (2010). Identificación de hongos fitopatógenos asociados al roble (*Quercus humboldtii* Bonpl.), en los municipios de Encino (Santander), Arcabuco, y Tipacoque (Boyacá). *Colombia Forestal*, 13(2), 347-356. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2010.2.a10>
- Palemon, F., Ortega-Acosta, S.A., Domínguez-Monge, S., Castañeda-Vildozola, A., Reyes-García, G., Cruz-Lagunas, B., & Flores-Simón, O.U. (2021). First report of bud soft rot on *Agave angustifolia* caused by *Pantoea dispersa* in Mexico. *Plant Disease*, 105(10), 3286. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-21-0316-PDN>
- Ramírez-Ramírez, M.J., Mancilla-Margalli, A., Meza-Álvarez, L., Turincio-Tadeo, R., Guzmán de Pena, D., & Ávila-Miranda, M.E. (2017). Epidemiology of *Fusarium* Agave wilt in *Agave tequilana* Weber var. *azul*. *Plant Protection Science*, 53(3), 144-153. <https://doi.org/10.17221/142/2016-PPS>
- Rivera-Zabala, N., Ochoa-Martínez, D., Rojas-Martínez, R., Rodríguez-Martínez, D., Aranda-Campo, S., y Zapién-Macías, J. (2017). Variabilidad genética de *Xanthomonas fragariae* y su severidad en genotipos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). *Agrociencia*, 51(3), 329-341.
- Rodríguez-Velázquez, N.D., Pérez-Pérez, G.O., Vergara-Arellano, G., Estrada-de los Santos, P., Mendoza-Figueroa, J.S., & Chávez-Ramírez, B. (2024). *Pantoea vagans* causing soft rot in *Agave angustifolia*, in Mexico. *Journal of Phytopathology*, 172(1), e13280. <https://doi.org/10.1111/jph.13280>
- Takken, F., y Rep, M. (2010). The arms race between tomato and *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 11(2), 309-14. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00605.x>
- Trinidad-Cruz, J.R., Quiñones-Aguilar, E.E., Rincón-Enríquez, G., López-Pérez, L., y Hernández-Cuevas, L.V. (2017). Micorrización de *Agave cupreata*: Biocontrol de *Fusarium oxysporum* y promoción del crecimiento vegetal. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(2), 151-169. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1607-5>
- Vega-Ramos, K. L., Uvalle-Bueno, J. X., & Gómez-Leyva, J. F. (2013). Molecular variability among isolates of *Fusarium oxysporum* associated with rot disease of *Agave tequilana*. *Biochem Genetics*, 51, 243-235. <https://doi.org/10.1007/s10528-012-9559-4>

CULTIVO IN VITRO Y TAMIZAJE FITOQUÍMICO PRELIMINAR DE UN HONGO DEL GÉNERO *Myriostoma*

IN VITRO CULTURE AND PRELIMINARY PHYTOCHEMICAL SCREENING OF A FUNGUS OF THE *Myriostoma* GENUS

¹Yessenia Aragón-López[✉], ^{1,6}Alma Dolores Pérez-Santiago[✉], ²Ricardo Valenzuela-Garza[✉], ¹Marco Antonio Sánchez-Medina[✉], ¹Iván Antonio García-Montalvo[✉]

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Oaxaca (ITO). Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, C.P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca. ²Instituto Politécnico Nacional (IPN), Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Wilfrido Massieu 399, Col. Nueva Industrial Vallejo, C.P. 07738 Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, México. [✉]Autor de correspondencia: (aperez_santiago@hotmail.com).

RESUMEN

El trabajo de investigación fue realizado en la comunidad de Yaxe, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, comunidad que cuenta con una gran biodiversidad de especies, entre las que destacan los hongos silvestres. El objetivo de este trabajo fue analizar un hongo del género *Myriostoma* sp. que pertenece a los hongos gasteroides, y cuyo uso potencial es como cicatrizante. Esta especie presenta un endoperidio globoso que tiene numerosos orificios por los que ocurre la dispersión de las esporas. En el paraje “Lachigocha”, zona con clima cálido semiseco, se colectaron los cuerpos fructíferos de *Myriostoma* sp., las muestras obtenidas se lavaron con hipoclorito de sodio al 0.6 % y posteriormente con agua destilada estéril. Fragmentos de los carpóforos se colocaron para su crecimiento en los diferentes medios de cultivo selectivos para hongos: agar extracto de malta (AEM), agar dextrosa sabouraud (ADS), agar suero de naranja (ASN), agar dextrosa y papa (ADP). A partir de los cultivos en medios sólidos se evaluó la presencia de lectinas y la identificación de metabolitos con pruebas colorimétricas. El hongo presentó abundante crecimiento de micelio de color blanco en los diferentes medios de cultivo, siendo en agar suero de naranja donde el crecimiento fue más uniforme. Se detectó la presencia de lectinas y de alcaloides. Este reporte

constituye el primer registro de *Myriostoma* sp. en la zona.

Palabras clave: hongos gasteroides, lectinas, metabolitos.

ABSTRACT

The research work was carried out in the community of Yaxe, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, a community that has a great biodiversity of species, among which wild mushrooms stand out. The objective of this work was to analyze a fungus of the genus *Myriostoma* sp. which belongs to gasteroid fungi, and whose potential use is as a healing agent. This species has a globose endoperidium that has numerous holes through which spores disperse. In the “Lachigocha” area, an area with a warm semi-dry climate, the fruiting bodies of *Myriostoma* sp. were collected, the samples obtained were washed with 5 % sodium hypochlorite and subsequently with sterile distilled water. Fragments of the carpophores were placed for growth in different selective culture media for fungi: malt extract agar (AEM), sabouraud dextrose agar (ADS), orange serum agar (ASN), and potato dextrose agar (ADP). From the cultures in solid media, the presence of lectins and the identification of metabolites were evaluated with colorimetric tests. The fungus presented abundant growth of white mycelium in the different culture media, with orange serum agar

where the growth was more uniform. The presence of lectins and alkaloids was detected. This report constitutes the first record of *Myriostoma* sp. in the zone.

Index words: gasteroid mushrooms, lectins, metabolites.

INTRODUCCIÓN

El estado de Oaxaca comprende diferentes climas dando lugar a una gran biodiversidad de especies; sin embargo, existen zonas del territorio como la comunidad de Yaxe, perteneciente al distrito de Ocotlán de Morelos, en el estado de Oaxaca, donde no se tienen registros de los recursos forestales no maderables. Esta comunidad tiene una extensión de 5908 ha, posee bosque de encino con clima templado subhúmedo y seco cálido semiseco (INEGI, 2010), que alberga gran biodiversidad con especies de hongos silvestres, siendo gasteroides la mayoría de los hongos encontrados en nuestra primera revisión.

Dada la importancia y el interés actual de los hongos silvestres como alimentos nutracéuticos y de potencial biotecnológico, se ha tratado de establecer condiciones para su cultivo y propagación. Bo, Velázquez y Kuhar (2021) mencionan que existen hongos silvestres que liberan esporas a través de una polvera, es decir, no la liberan a través del himenio; Kuhar, Castiglia y Papinutti (2013) indican que la liberación de las esporas puede ser de dos formas, la primera es al secarse el cuerpo fructífero, la gleba se abre y libera las esporas, o bien, que la gleba se convierta en un líquido pegajoso el cual es utilizado por algunos insectos como alimento, llevándose las esporas adheridas a su cuerpo esparciéndose en el camino; este mecanismo se observa en especies de los géneros *Myriostoma*, *Calvatia*, *Gastraceae*, *Lycoperdon*, *Tulostomatales*, *Sphaerobolus*, *Gastrum*. Marco, Suárez y Robledo (2018), mencionan que, géneros como *Bovista cunninghamii*, *Calvatia cyathiformis*, *Calvatia fragilis*, *Disciseda candida*, *Mycenastrum corium*, *Scleroderma bovista*, así como *Myriostoma*

coliforme, presentan algunas propiedades medicinales, como favorecedores del proceso de cicatrización. Esta propiedad se puede deber a la presencia de lectinas o metabolitos secundarios, los que tienen una participación activa en las propiedades antioxidantes, antivirales, antitumorales, antibacterianas, entre otras.

Algunas de estas especies fúngicas tienen relación con el ambiente ya que favorecen la formación de micorrizas, esta simbiosis entre el árbol y la especie fúngica ayuda a establecer condiciones óptimas entre ambos para mejorar el crecimiento, como es el caso de *Pisolithus tinctorius* (Gomes et al., 2013; Martin y Pais, 2004; Pera, Parladé y Alvarez, 1994), esta especie en particular además de ser comestible en etapa joven y de un sabor muy intenso que se puede usar para condimentar guisos, es utilizada como pigmento y posee propiedades antialergénicas (Jiménez-Nieva, Sánchez-González y Caetano-Sánchez, 2022).

Tanto *Calvatia* como *Pisolithus* en etapa joven pueden incluirse en el patrón alimentario humano, ya que son consumidos con frecuencia cuando aún no liberan esporas, regularmente son colectados durante la temporada de lluvias, cuando desarrollan los cuerpos fructíferos. Algunas especies de *Lycoperdon*, como *L. perlatum* tienen propiedades medicinales, terapéuticas y antimicrobianas, y producen β -glucanos (Díaz-Talamantes et al., 2021; Akpi et al., 2017).

Hedavoo (2020) y Díaz-Talamantes et al. 2017) mencionan que especies como *Calvatia cyathiformis* y *Calvatia fragilis* son consumidas ampliamente en países como la India; Jiménez-Nieva, Sánchez-González y Caetano-Sánchez (2022) en su investigación registraron que *Bovista aestivalis*, *Phallus impudicus* tienen sabor similar al rábano, poseen compuestos antirreumáticos y tienen efecto contra la epilepsia; *Rhizopogon luteolus* y *Rhizopogon roseolus* poseen propiedades antibacterianas (Jiménez-Nieva,

Sánchez-González y Caetano-Sánchez, 2022; Sevindik y Bal, 2022).

Cortés-Pérez et al. (2022) demostraron que las especies del género *Scleroderma* como *S. texense* tienen uso culinario en la Sierra Norte de Oaxaca. Jiménez-Nieva et al. (2022) registraron que *Astraeus hygrometricus* no posee interés culinario, sin embargo, es utilizado en medicina alternativa como cicatrizante en casos de quemaduras. La forma de dispersión de las esporas que tienen todas estas especies fúngicas a través de la gleba permite que su distribución en el ambiente sea más amplia, contribuyendo al ecosistema produciendo una gran cantidad de cuerpos fructíferos jóvenes que son usados como alimento; así mismo facilita la reproducción del micelio en medios de cultivo *in vitro* por medio de las esporas, las cuales son conservadas en condiciones óptimas.

Dado el impacto económico, cultural, biotecnológico y alimenticio que presentan estas especies, es importante establecer condiciones de cultivo *in vitro* para reproducirlas en forma de micelio como es el caso de *Lycoperdon perlatum* y *Pisolithus tinctorius* y así obtener los beneficios de sus propiedades medicinales y en la formación de micorrizas (Akpi, Odoh et al, 2017; Pera, Parladé y Alvarez, 1994). Por lo que el objetivo del presente trabajo fue el cultivo *in vitro* e identificación de metabolitos bioactivos del hongo *Myriostoma* sp., especie que cuenta con pocos estudios en su aislamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La comunidad de Yaxe pertenece al municipio de Ocotlán de Morelos, Oaxaca, se localiza entre 16°39' y 16°46' LN, 96°24' y 96°30' LO y altitud entre 1 400 y 2 500 m (INEGI, 2010).

Cultivo *in vitro* en medio sólido

Muestras del hongo se colectaron durante el mes de septiembre 2021 en una zona semiseca del paraje conocido como Lachigocha en la comunidad de Yaxe, que se colocaron en bolsas de

papel, se llevaron a laboratorio en donde se conservaron en congelación a -20 °C. Para la propagación *in vitro* el aislamiento se realizó en una campana de flujo laminar, dónde el cuerpo fructífero del hongo se cortó en secciones de aproximadamente 1 cm² con un bisturí, lavando una parte con hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.6 % y lo restante con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 3 %, las fracciones se enjuagaron con agua esterilizada y se colocaron para su crecimiento en medios agar extracto de malta. Del crecimiento activo de una placa, se realizó la inoculación en los siguientes medios con discos de agar de 5 mm de medio sólido en el centro de la placa: agar extracto de malta (*AEM*), agar dextrosa Sabouraud (*ADS*), agar suero de naranja (*ASN*), agar dextrosa y papa (*ADP*) manteniendo en incubación a temperatura de 25 °C.

Ensayo de actividad hemaglutinante (AH)

La prueba se realizó en una placa de micro titulación de fondo cóncavo, se colocaron 50 µL de *PBS* (buffer de fosfato salino) en cada pozo de la placa, posteriormente se añadieron 50 µL de la muestra (obtenida del medio de cultivo) efectuando diluciones dobles seriadas con un volumen final de 50 µL. Se adicionó a cada pozo 25 µL de eritrocitos humanos al 3%. Como control, en los primeros pozos se colocó *PBS* y suspensión al 3 % de eritrocitos humanos del grupo O Rh+. Las lecturas se realizaron después de una hora de reposo a temperatura ambiente. Los resultados se registraron como positivo (pozos con hemaglutinación) y negativo (no presenta hemaglutinación). La mayoría de las lectinas aglutinan eritrocitos de todos los grupos sanguíneos, las que son específicas aglutinan eritrocitos humanos preferentemente de un determinado grupo sanguíneo.

Tamizaje fitoquímico

Para la identificación de metabolitos en el extracto del hongo, el micelio del hongo se maceró en *PBS* (buffer de fosfato salino) en una relación 1:2 y se incubó durante 24 h con agitación constante, posteriormente se centrifugó para recuperar el sobrenadante. Se utilizaron agentes cromógenos

para las pruebas colorimétricas en la identificación de metabolitos, considerando como prueba positiva las siguientes coloraciones: alcaloides (precipitado café-naranja), flavonoides (xantonas y flavonas, amarillo-rojo; flavonoides, café-naranja; antocianinas, azul; chalconas; purpura rojizo), saponinas (si la altura de la espuma es > 0.5 cm por 30 minutos), taninos (ácido gálico azul-negro; catequina, verde; compuesto fenólicos; azul), cumarininas (azul-violeta), quinonas (rojo-violeta), glucósidos cardiotónicos (rojo oscuro) (Casamitjana, 2018; Oliveros et al., 2018; Koneman et al., 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción

Esta especie silvestre fue encontrada en el paraje conocido como “Lachigocha” (Figura I) en donde predominan arbustos, cactus y magueyes, es una zona con clima seco cálido semiseco; la ubicación del hongo fue: Latitud: 33.7058147; Longitud: -111.01865184, Yaxe, Ocotlán de Morelos Oaxaca. En la zona se encontraron otras especies fúngicas como *Arachnion album*. *Myriostoma* sp. está formado por un cuerpo fructífero con una capa externa que se abre formando una estrella de color marrón parduzco (Figura Ia,b,d), endoperidio con numerosos estomas o bocas circulares por donde expulsa las esporas (Figura Id).

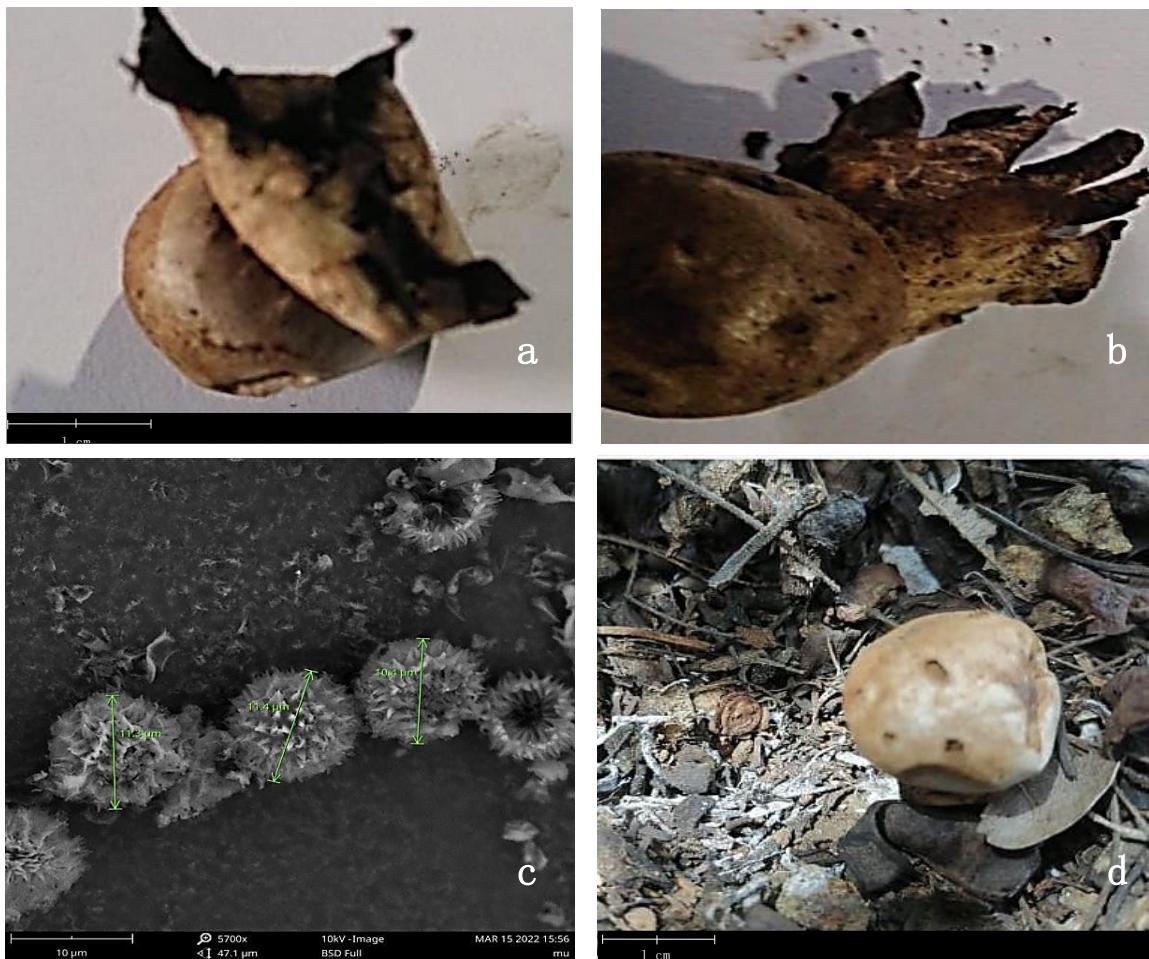


Figura I. Morfología de estructuras de *Myriostoma* sp. a: basidioma b: vista lateral del basidioma, centrándose en el pedicel. c: basidiosporas diámetro 11.03 μm (SEM, 5700x), d: basidioma *Myriostoma*.

Las esporas son globosas, marcadamente verrugosas de diámetro 11.03 μm (Figura 1c). Este género se reportó por primera vez en São Paulo, SP, Brasil, en el 2020, en Bolivia en el año 2019, y en 2021 en Italia (Perini et al., 2021; Trierveiler-Pereira y Gugliotta, 2020; Maillard y Rocabado, 2019). Hernández (1974) realizó los primeros registros de este género en los estados de Guerrero e Hidalgo, los cuales cuentan con una biodiversidad fúngica muy extensa.

En la comunidad de Yaxe, actualmente solo se consumen las especies de hongos silvestres *Agaricus campestris* y *Marasmius oreades*, los cuales son consumidos principalmente en mole amarillo, empanadas y asados. No se cuenta con un registro de las especies fúngicas silvestres por lo que la presencia de este hongo es el primer registro en la zona.

Cultivo *in vitro*

El cultivo fue realizado con un disco de agar de 5 mm sobre el medio de cultivo correspondiente. El hongo presentó un crecimiento considerable en los cuatro medios de cultivo con presencia de un micelio de color blanco, y desarrollo abundante, de forma circular, consistencia suave. En los medios de cultivo ASN y ADS se presentó un crecimiento más rápido, sin embargo, en el medio de cultivo ASN se obtuvo un crecimiento más uniforme, el

crecimiento en estas placas corresponde a un periodo de dos semanas (Figura 2).

Actividad hemaglutinante (HA)

Las lectinas de origen fúngico se han aislado del micelio obtenido en medios de cultivo *in vitro*, esporas y cuerpos fructíferos. En este caso, una vez obtenido el micelio en los diferentes medios de cultivo, este fue retirado para realizar la búsqueda de lectinas por hemaglutinación. Se observó que en el medio de agar suero de naranja se presenta actividad de lectina de cinco pozos (Figura 3).

A través de los años se han analizado diferentes especies de hongos en la búsqueda de lectinas debido a sus propiedades biológicas, sin embargo la obtención de hongos silvestres ha sido una limitante debido a que solo se producen en ciertas épocas del año, es por ello que se ha optado por el cultivo *in vitro* de estas especies, ya que son una fuente de nuevas lectinas debido a sus potenciales usos médicos y biotecnológicos, así como a sus propiedades antitumorales, antibacterianas y anti proliferativas. Actualmente se han extraído lectinas a partir del micelio de hongos silvestres que han sido reconocidos por sus usos medicinales, en el caso de *Ganoderma applanatum*, sus lectinas tienen afinidad a azúcares como arabinosa, glucosa, manosa, galactosa, maltosa, fructosa, N-acetil-D-glucosamina, y en *Trametes versicolor* las lectinas se reportan con afinidad hacia galactosa (Davitashvili et al., 2008; Mikashvili et al., 2006).

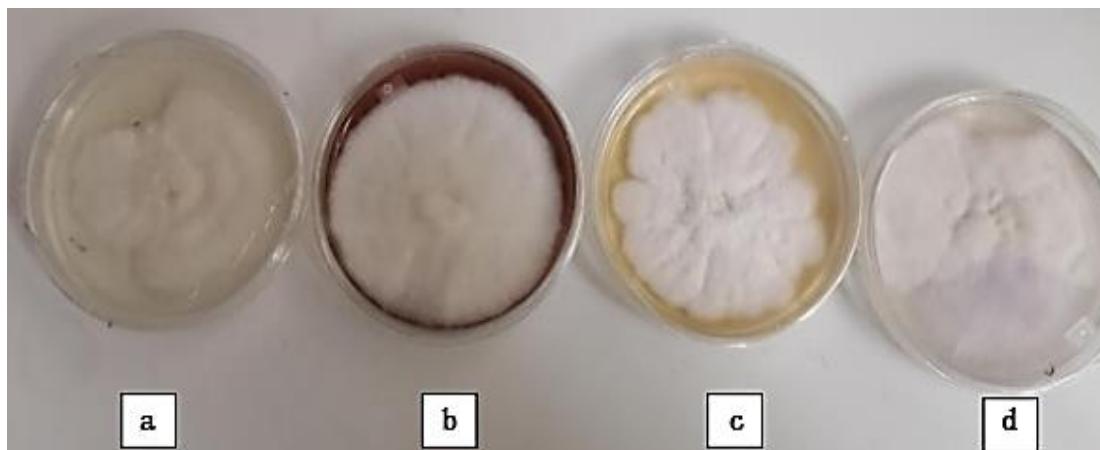


Figura 2. Crecimiento micelial de *Myriostoma* en medios de cultivo en agar. a (ADP), b (ASN), c (AEM), d (ADS). Se observa abundante micelio blanco en todos los medios, principalmente en la foto b.

Tamizaje fitoquímico

Se ha realizado identificación de metabolitos en carpóforos de especies de hongos silvestres, así como en medios de cultivo *in vitro*, el realizar el cultivo en medios sólidos o líquidos asegura un mayor control de la cantidad de biomasa producida en un determinado tiempo, a su vez el utilizar cultivos de fermentación ayuda a tener control de pH, cantidad de biomasa y facilita su accesibilidad ya que los hongos silvestres solo se producen por temporada. En la búsqueda de metabolitos bioactivos en cultivos de *Myriostoma* sp. se encontró la presencia de alcaloides, los cuales constituyen un amplio grupo de compuestos como

quinolina, isoquinolina, indol, tropano, quinolizidina, piperidina, purina, pirrolizideno; algunos de los cuales exhiben actividad biológica, y otros son muy tóxicos. Se ha reportado que algunos alcaloides funcionan como relajantes musculares, tranquilizantes, antitusivos o analgésicos (Ávalos-García y Pérez-Urría, 2009).

Obtener cultivos *in vitro*, en medios líquidos, y establecer las condiciones óptimas para el crecimiento de *Myriostoma* sp. (temperatura, cantidad de medio, pH) nos permitirá tener un mayor control y rendimiento para la extracción de los metabolitos.

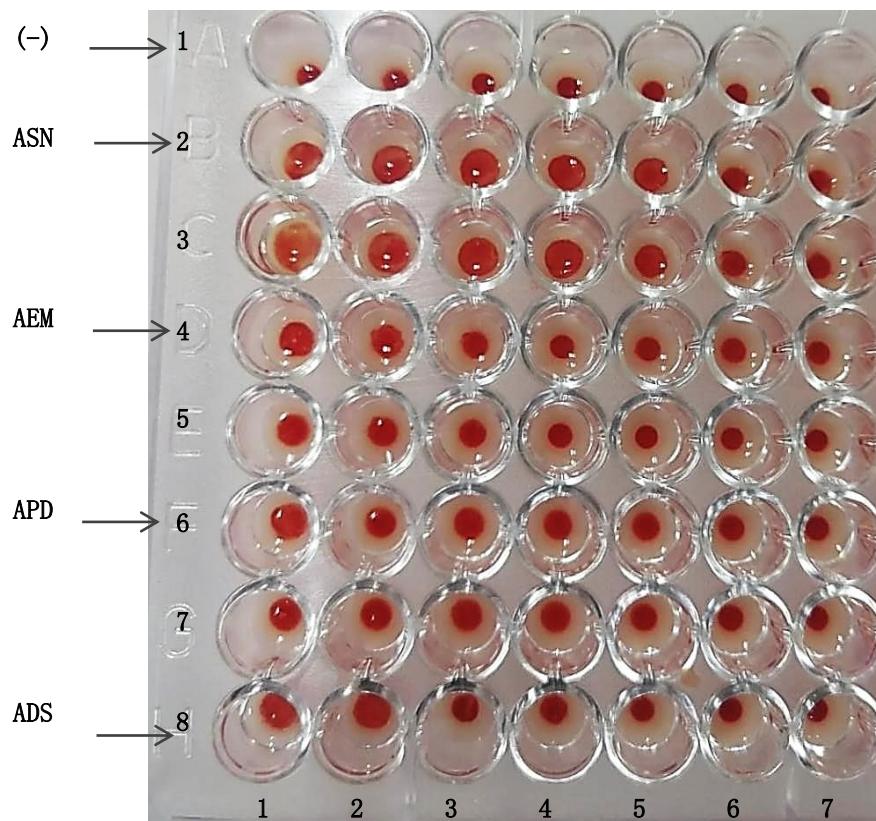


Figura 3. Actividad de lectina de *Myriostoma* sp. en diferentes medios de cultivo. Placa de micro titulación correspondiente a la actividad de lectina presentada por *Myriostoma* sp. en cultivos de dos semanas. (-). Control negativo. Fila 1. Contiene 50 μ L de PBS y 25 μ L de eritrocitos. **ASN**. Filas 2 y 3. Contienen 50 μ L de cultivo en ASN con eritrocitos, se observan 6 pozos de actividad. **AEM**. Filas 4 y 5. Contienen cultivo en AEM con eritrocitos, se observan dos pozos de actividad. **APD**. Filas 6 y 7. Contienen cultivo en APD con eritrocitos, se observa un pozo de actividad. **ADS**. Fila 8. Contiene cultivo en ADS con eritrocitos, se observa un pozo de actividad. Se emplearon eritrocitos humanos tipo O+ al 3% en todos los casos.

CONCLUSIONES

Myriostoma sp. es un hongo con un cuerpo fructífero pequeño, que libera esporas a través de la gleba, y que fue posible cultivar en medio sólido obteniendo el micelio a partir de las esporas. Al realizar las pruebas de identificación de metabolitos, *Myriostoma* sp., presentó actividad de lectina y se identificó la presencia de un grupo de metabolitos secundarios, como alcaloides, los cuales podrían conferir propiedades medicinales cicatrizantes a este hongo. Es necesario realizar pruebas piloto en medios de cultivo líquido y evaluar condiciones óptimas para la extracción de metabolitos con propiedades bioactivas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Yaxe, Ocotlán de Morelos, Oaxaca, por su apoyo brindado en los permisos de recolección de especies silvestres de hongos.

REFERENCIAS

- Akpi, U.K., Odoh, C.K., Ideh, E.E. & Adobu, U. S. (2017). Antimicrobial activity of *Lycoperdon perlatum* whole fruit body on common pathogenic bacteria and fungi. *Africa Journal of Clinical and Experimental Microbiology*, 18(2), 79-85. DOI: <https://doi.org/10.4314/AJCEM.V18I2.4>
- Ávalos- García, A & Pérez-Urría Carril E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reducta (Biología)*, 2(3), 119-145.
- Bo, C., Velázquez, M. S. & Kuhar, J.F. (2021). Los hongos gasteroides. *Boletín Biológica*, 45, 31-33.
- Casamitjana, N. (2018). *Glucósidos cardiotónicos*. Centro de Información del Medicamento. Colegio Oficial de Farmacéuticos de Barcelona. Vol. 16, N°. 4 (ABR). pp. 90-92
- Cortés-Pérez, A., Pérez-Pacheco, C.K., Yescas-Arreola, E. & Ramírez-Cruz, V. (2022). Primer registro de *Scleroderma texense* (Boletales, Sclerodermataceae) como una especie comestible en la Sierra Sur de Oaxaca, México. *Scientia Fungorum*, 52, e1386. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1386>
- Davitashvili, E.; Kapanadze, E., Kachlishvili, E., Khardziani, T. & Elisashvili, V. (2008). Evaluation of higher basidiomycetes mushroom lectin activity in submerged and solid-state fermentation of agro-industrial residues. *Int. J. Med. Mushrooms*, 10, 171–179. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v10.i2.80>
- Díaz-Talamantes, C., Burrola-Aguilar C., Aguilar-Miguel, X. & Mata G. (2017). Crecimiento micelial *in vitro* de hongos comestibles silvestres de alta montaña en el centro de México. *Revista Chapino Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3), 369-383. 2017. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.12.067>
- Díaz-Talamantes, C., Burrola-Aguilar, C., Estrada-Zúñiga, M.E. & Zepeda-Gómez, C. (2021). Obtención de β -glucanos de esporomas silvestres y micelio *in vitro* de *Lycoperdon perlatum*. *Scientia Fungorum*, 52, e1409. DOI: <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1409>
- Gomes, F., Machado H., San Martin E., Portugal A. & Canhoto J.M (2013). Mycorrhizal synthesis between *Pisolithus arhizus* and adult clones of *Arbutus unedo* *in vitro* and in nursery. *Journal of Forestry Research*, 24, 659–670. <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0364-7>
- Hedavoo, G.B. (2020). Especies de Calvatia: Bolas de hojaldre comestibles silvestres de la región de Amravati (MS)". *Plantae Scientia*, 3(4), 30-34. DOI: <https://doi.org/10.32439/ps.v3i4.30-34>
- Hernández, R. (1974). Nuevas localidades del género *Myriostoma* en México. *Scientia Fungorum*, 8, 71-72. <https://doi.org/10.33885/sf.1974.2.434>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal de los*

- Estados Unidos Mexicanos Yaxe, Oaxaca. Clave geoestadística 20561 https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/2056
- Jiménez-Nieva, F.J., Sánchez-González, F. de A. & Caetano-Sánchez C. (2022). *Hongos. Ecología y biodiversidad en ecosistemas litorales de Huelva*. En: Biología de Huelva: naturaleza, biodiversidad, bioindicadores y biomarcadores. Huelva: Universidad de Huelva, pp. 145-186.
- Koneman, W.M, Allen, S.D, Janda W.M., Schreckenberg, P.C. & Winn, W.C. (2004). *Diagnóstico microbiológico*. Editorial Panamericana, Buenos Aires, pp. 565-620.
- Kuhar, J.F; Castiglia, V. C., Papinutti & V. L. (2013). Reino Fungi: morfologías y estructuras de los hongos. PAO. *Revista Boletín Biológica*, 28, 11-18.
- La Chiusa L. (2019). *El gran libro de las setas de España y Europa*. Parkstone Internacional.
- Maillard, O. & Rocabado, D. (2019). *Nuevos registros de hongos gasteroides (Agaricomycetes, Basidiomycota) para Bolivia*. Bol. Soc. Micol. Madrid, 43 p.
- Marco, F., Suárez, M.E. & Robledo, G. (2018). Hongos útiles y tóxicos según los Yuyeros de La Paz y Loma Bola (Valle de Traslasierra, Córdoba, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 53(2), 319-38. DOI: <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v53.n2.20588>.
- Martins, A., & Pais, M.S. (2004). *Nutrição mineral em plantas micorrizadas e não micorrizadas de Castanea sativa Mill com o fungo Pisolithus tinctorius: I. Teores de N, P e K ao longo de 90 dias de micorrização in vitro*. In I Congresso Ibérico de Ciência do Solo. Bragança.
- Mikiashvili, N.A., Elisashvili, V., Wasser, S.P. & Nevo, E. (2006). Comparative study of lectin activity of higher basidiomycetes. *Int. J. Med. Mushrooms*, 1, 31–38. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v8.i1.30>
- Oliveros-Bastidas, A., Cordero, I., Paredes, D., Buendia, D., & Macías-Domínguez, F.A. (2018). Extracción y cuantificación de cumarinas mediante HPLC-UV en extractos hidroetanolicos de semillas de *Dipteryx odorata*. *Revista Latinoamericana de Química*, 39(1,2), 17-31.
- Pera, J., Parladé J., & Alvarez I.F. (1994). Eficacia del tipo de inóculo de *Pisolithus tinctorius* en la formación de micorrizas en *Pinus pinaster* y *Pseudotsuga menziesii*. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 3(1), 19-29. <https://doi.org/10.5424/517>
- Perini, C., Salerni E., Cantini, D., Antonini, D., Antonini, M., Bistocchi, G & Angelini, P. (2021). New insights confirming the presence of *Myriostoma coliforme* in Italy". *Czech Mycology*, 73(2), 203-214. <http://dx.doi.org/10.33585/cmy.73208>
- Sevindik, M. & Bal, C. (2022). Chemical Characterization, Antibacterial, Antifungal, Antioxidant and Oxidant Activities of Wild Mushrooms *Rhizopogon luteolus* and *Rhizopogon roseolus*. *Biology Bulletin*, 49(Suppl 1), S101-S108. <http://dx.doi.org/10.1134/SI062359022130180>
- Trieveriler-Pereira, L. & Gugliotta, A. D.M. (2020). Registro do gênero *Myriostoma* (Gastraceae, Basidiomycota) no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga (PEFI), São Paulo, SP, Brasil. *Hoehnea*, 47, e512019. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-51/2019>

EFFECTIVIDAD DE FUNGICIDAS ORGÁNICOS PARA EL CONTROL DE *Fusarium* EN TRES ESPECIES DE PINO

EFFECTIVENESS OF ORGANIC FUNGICIDES FOR THE CONTROL OF *Fusarium* IN THREE PINE SPECIES

¹Omar Paz-Aquino[✉], ²Wenceslao Santiago-García[✉], ³Elías Santiago-García[✉], ⁴Gerardo Rodríguez-Ortiz[✉], ⁵Arturo Félix Hernández-Díaz[✉]

Universidad de la Sierra Juárez (UNSIJ), ¹Ingeniería Forestal, ²División de Estudios de Postgrado-Instituto de Estudios Ambientales, ³Dirección Técnica Forestal, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Carretera Oaxaca-Tuxtepec s/n, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. C.P. 68725. ⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex Hacienda de Nazareno s/n, Xoxocotlán C.P. 71233, México, ⁵UNSIJ, Instituto de Estudios Ambientales. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Av. Universidad s/n. C.P. 68725. [✉]Autor de correspondencia: (wsantiago@unsij.edu.mx).

RESUMEN

La supervivencia de las plantas en vivero se logra con el uso constante de fungicidas con base química, dichos fungicidas causan daños al ambiente y al aplicador, por tanto, se han buscado fungicidas alternativos con la misma efectividad. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de fungicidas orgánicos para controlar el ataque de *Fusarium*. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial para probar seis tipos diferentes de fungicidas: cuatro orgánicos (ajo, canela, azufre, extracto de cola de caballo), uno químico (tecto60®) y un testigo (agua), en tres especies de pino: *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, *P. oaxacana* Mirov y *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. La unidad experimental consistió de 90 charolas de 24 plantas cada una. Las 2160 plantas (720 plantas por especie) se monitorearon cada 15 días durante seis meses, donde se registró un total de 2.2 % de plantas muertas. La especie *P. oaxacana* presentó mayor mortalidad con 1.1 % de plantas muertas, mientras que *P. ayacahuite* mostró mayor resistencia con tan solo un 0.3 % de plantas perdidas. El fungicida químico presentó resultados mejores, en tanto que, el azufre fue mejor dentro de los fungicidas orgánicos con 1.6 % de plantas muertas. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) de los factores estudiados, lo que sugiere una

efectividad similar en la aplicación de los diferentes fungicidas. El encontrar un fungicida alternativo eficaz, permitiría reducir costos, daños a la planta, al ambiente y al aplicador.

Palabras clave: diseño experimental, *Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. oaxacana*, viveros.

ABSTRACT

The survival of plants in the nursery is achieved through the constant use of chemical-based fungicides. However, these fungicides cause damage to the environment and the applicator, therefore, alternative fungicides with similar effectiveness have been sought. The objective of the study was to evaluate the effect of organic fungicides to control *Fusarium* attacks. A completely randomized experimental design with a factorial arrangement was used to test six different types of fungicides: four organic (garlic, cinnamon, sulfur, horsetail extract), one chemical (tecto60®) and one control (water), in three pine species: *Pinus patula* Schiede ex Schltdl, *P. oaxacana* Mirov and *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. The experimental unit consisted of 90 trays of 24 plants each. A total of 2160 plants (720 plants for species) were monitored every 15 days for six months, and a total of 2.2 % of dead plants were recorded. Among the species *P. oaxacana* exhibited the highest mortality rate, with

1.1 % of dead plants, while *P. ayacahuite* showed greater resistance with only 0.3 % of plants lost. The chemical fungicide presented better results, while sulfur was better among the organic fungicides, resulting in only 1.6 % of dead plants. However, no significant statistical differences ($p > 0.05$) were observed among the factors studied, which suggests similar effectiveness in the application of the different fungicides. Finding an effective alternative fungicide would reduce costs, damage to the plant, the environment and the nurseryman.

Index words: experimental design, *Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. oaxacana*, nurseries.

INTRODUCCIÓN

La importancia de los viveros radica en obtener una producción de plantas de calidad para garantizar la supervivencia de los individuos en el lugar de establecimiento (Mariotti et al., 2023; Fady et al., 2022). Rodríguez-Ortiz et al. (2020) mencionan que una planta de calidad es aquella capaz de alcanzar un desarrollo favorable, y, por tanto, puede cumplir con los objetivos establecidos en un plan de reforestación. La aptitud de una planta es el resultado de la calidad genética, morfológica, fisiológica, sanitaria y biológica (South, Starkey & Lyons 2023; Sáenz-Reyes et al., 2014).

La calidad genética hace referencia al origen de la semilla y a otros métodos de propagación, además, conlleva la interacción de la planta con el ambiente (Climent et al., 2008). Numerosas especies presentan variaciones funcionales entre poblaciones que presentan diferentes capacidades de respuesta a determinados factores abióticos y bióticos (Ribeiro et al., 2022; Villalón-Mendoza, 2016).

La calidad morfológica y fisiológica de una planta depende, en gran medida, de su estadía en el vivero y de sus características genéticas y se refiere a los estados que pueden adoptar un conjunto de atributos funcionales relacionados

con la capacidad hídrica y fotosintética de la planta (Fidel-Alarcón, 2022; Sáenz-Reyes et al., 2014). La calidad sanitaria se refiere a la presencia de agentes patógenos en la planta que pueden disminuir su desarrollo futuro y el de las poblaciones de plantas presentes en la zona de reforestación (Angarita-Cacheo et al., 2023; Valera et al., 2017). Finalmente, la calidad biológica está referida al buen desarrollo de las raíces (Ramos-Huapaya & Lombardi-Indacochea, 2020).

En la mayoría de los viveros que utilizan tierra de monte o agrícolas y que tienen almácigos o siembra directa, se presenta la enfermedad conocida como damping-off, la mayoría de los viveristas reconocen el problema, causado principalmente por los hongos de los géneros *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium* (Cibrián, García y Don Juan, 2008; Jancarik, 1960). Para el control de los hongos se ha recurrido ampliamente a la utilización de productos químicos (Aceró-Montoya, 2022). Aguirre et al. (2012) y Noreña et al. (2011) establecen que los productos químicos se caracterizan por tener amplio espectro y ser tóxicos a los insectos benéficos, como polinizadores, así también a especies silvestres. Aunque el uso de químicos para el control de enfermedades es efectivo también causa ruptura del equilibrio ecológico que se establece en la naturaleza, aumentando las poblaciones de insectos que no constituyan plagas y como consecuencia los productores tienen que aumentar las dosis de aplicación de productos químicos, incrementando los costos de producción y por consiguiente más contaminación ambiental.

Villa-Martínez et al. (2015) realizaron una revisión sobre la situación actual en el control de *Fusarium* spp., así como una evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales en donde destacan los trabajos siguientes: Jasso-de Rodríguez et al. (2007) estudiaron las propiedades fungicidas de extractos etanólicos de tres especies de la maravilla de campo *Flourensia* spp., contra *F. oxysporum* Schleld., donde el desarrollo micelial fue inhibido más del 90% con

el uso de los tres extractos. Alkhail (2005), probó extractos acuosos, por arrastre de vapor y etanólicos de ajo “*Allium sativum* Schrad. ex Willd”, semilla de neem “*Azardia chita indica* A.Juss.”, hierba de limón “*Cymogopon proximus* A.Rich”, comino “*Carum carvi* M.Bieb.” y clavo “*Eugenia caryophyllus* Bullock & S.G.Harrison”, así como el uso de benomilo®, y cepas de *Trichoderma* spp., contra *F. oxysporum* Schltdl, donde los extractos acuosos de todas las especies vegetales se destacaron con una eficacia mayor del 60 %, pero fue el extracto acuoso de ajo el mejor con casi 95 % de actividad fungicida, resultados iguales que los obtenidos con el benomilo®.

Los viveros forestales pueden constituir una alternativa de producción de plantas forestales de calidad bajo un enfoque orgánico, al reducir costos de producción y utilizar recursos locales disponibles, sin afectar al ambiente ni la salud del personal (Bahramov et al., 2020; Buamscha, 2006). El objetivo de la investigación fue encontrar fungicidas orgánicos nobles con el ambiente y el viverista, para controlar el ataque de *Fusarium* con la misma efectividad que un fungicida químico, aprovechando recursos naturales locales. La hipótesis fue que la actividad antifúngica de fungicidas orgánicos es similar a los efectos producidos por el fungicida de base química Tecto60®.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el vivero forestal de Ixtlán de Juárez, ubicado en la Sierra Norte de Oaxaca, a una altitud de 2051 m, con coordenadas geográficas: 96°47' 87,22" LO y 17°32' 43,61" LN, en dirección al parque industrial a 1 km sobre la carretera Ixtlán-Zoogocho. El vivero tiene una capacidad de producción de 500 mil plantas por ciclo de producción en donde se ocupan charolas de 24 cavidades de 150 mL de 35.2 m × 21.6 m × 10 m, cuenta con un sistema de riego tecnificado con robots y con una bodega como infraestructura de apoyo, en el vivero se ocupan diferentes sustratos, tales como: corteza de pino, agrolita,

vermiculita y turba de musgo. La producción de planta corresponde esencialmente a las especies de pino: *Pinus patula* Schiede ex Schltdl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. oaxacana* Mirov y *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl (COESFO, 2011).

Identificación del patógeno

Por medio de la asesoría técnica del viverista se identificaron plantas con síntomas característicos de *Fusarium* (marchitez, pudrición de raíz y amarillamiento), se colectaron del vivero 3 plantas muertas, 3 plantas vivas con infección y 3 plantas sanas. Las raíces de las plantas fueron lavadas hasta eliminar todo rastro de sustrato, posteriormente, se realizaron cortes longitudinales del tallo, tallo a la base del cuello y raíz. Se sembraron en placas Petri con medio agar papa dextrosa (PDA) y se incubaron a 25° C por seis días. Los micelios de los hongos con características de fusarium (micelio con pigmentación roja, rosa y violeta) fueron aislados hasta obtener cepas puras de cada uno para ser observadas mediante un microscopio óptico.

Viabilidad de la semilla

Las semillas de las especies utilizadas son provenientes de árboles seleccionados en el bosque de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Las especies recolectadas fueron: *Pinus patula*, *P. oaxacana* y *P. ayacahuite*, las cuales se evaluaron mediante el separador por gravedad BCC (Serie Mini)®, el equipo separa un lote de semillas completamente por tamaños, teniendo así semillas de buena calidad.

Desinfección de las charolas germinadoras y preparación de sustrato

Las charolas de poliestireno® fueron desinfectadas mediante el método convencional, el cual consistió en lavar manualmente las charolas con agua, jabón y cloro, además, se utilizó un método de esterilización que consistió en sellar las charolas con agua de cal. Posteriormente, el sustrato utilizado a base de turba de musgo 60 %, agrolita 20 % y vermiculita 20 %, se mezcló utilizando la mezcladora de sustratos Agrinet® para obtener una mezcla homogénea.

Llenado, siembra y riego

De acuerdo con la metodología de Prieto et al. (2009) las charolas de poliestireno® se llenaron por completo, se depositó el sustrato por cubetada o palada en el centro de la caja y después manualmente se distribuyó en todas las cavidades de la charola, una vez llenas todas las cavidades de la charola, la base de la misma se golpeó en una superficie sólida hasta eliminar las bolsas de aire dentro de la cavidad, nuevamente se realizó la misma acción hasta quedar las cavidades a un centímetro de su capacidad total. La siembra se realizó el 4 de febrero de 2021, esta actividad se efectuó en todas las charolas consideradas en el experimento, colocando una semilla en cada cavidad de la charola. El riego en la etapa inicial de la planta se realizó dos veces, en la mañana y en la

tarde principalmente en los días soleados, conforme al crecimiento de las plantas la intensidad del riego fue disminuyendo. En época de lluvia no fue necesario.

Control fitosanitario, concentración y aplicación de fungicidas

El monitoreo de las muestras se realizó cada semana después de la germinación eliminando malezas que se llegaban a encontrar en las charolas. La concentración de los fungicidas fue de 200 g de los materiales orgánicos (ajo, canela, azufre y extracto de cola de caballo) por cada litro de agua, la concentración del Tecto® 60 fue de 28 mg L⁻¹. La aplicación de fungicidas (Tabla I) se realizó después de la germinación de las plantas, posteriormente la aplicación se realizó cada 20 días durante toda la estadía de las plantas en vivero.

Tabla I. Fungicidas y especies de pino utilizados en el experimento.

Fungicidas	Especie	Clave
Ajo		T1
Canela		T2
Azufre		T3
Extracto de cola de caballo	<i>Pinus patula</i>	T4
Tecto® 60		T5
Aqua		T6
Ajo		T7
Canela		T8
Azufre		T9
Extracto de cola de caballo	<i>Pinus oaxacana</i>	T10
Tecto® 60		T11
Aqua		T12
Ajo		T13
Canela		T14
Azufre	<i>Pinus ayacahuite</i>	T15
Extracto de cola de caballo		T16
Tecto® 60		T17
Aqua		T18

Diseño experimental

El experimento se basó en un diseño completamente al azar con arreglo factorial, teniendo como factores de estudio 6 tipos de fungicidas y tres especies de pino con cinco repeticiones, obteniendo así un total de 90 unidades experimentales (la unidad experimental consistió de una charola de 24 plantas), 720 plantas por especie y un total de 2160 plantas. Todas las plantas fueron utilizadas para el experimento.

El modelo estadístico aplicado al experimento fue el siguiente (Montgomery, 1991):

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento con el i -ésimo nivel de A (fungicidas), el j -ésimo nivel de B (especies) y la repetición k -ésima; μ = media general; A_i = efecto del i -ésimo nivel del factor fungicidas donde $i = 1, 2, 3, \dots, 6$; B_j = efecto del j -ésimo nivel del factor especies donde $j = 1, 2, 3$; $(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción del i -ésimo nivel del factor A y el j -ésimo nivel del factor B ; ε_{ijk} = error asociado a y_{ijk} (explica las diferencias entre los efectos de los tratamientos y la media, respecto a las y_{ijk}).

Aleatorización de los tratamientos y análisis de datos

La aleatorización de los tratamientos se realizó mediante el procedimiento (PROC) PLAN del software estadístico SAS® (SAS Institute Inc., 2013). En campo los datos fueron registrados por medio de una bitácora monitoreando las plantas cada 15 días después del primer mes de la planta. Se registró la mortalidad hasta los 6 meses de crecimiento. El análisis del experimento factorial se realizó mediante un análisis de varianza con el procedimiento (PROC) GLM del programa estadístico SAS® (SAS Institute Inc., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante los aislamientos de los cultivos de *PDA* se observaron en el microscopio hongos con micelio algodonoso, amarillento, rojo y lila. Se observaron microconidios de formas ovaladas y elípticas, siendo estas características de *Fusarium*. Resultados similares fueron encontrados por Hernández-Amasifuen et al. (2019) mediante el análisis de *Capsicum annuum* L., al realizar aislamientos en cultivos de *PDA* encontraron micelio con pigmentación amarillento, violeta y lila confirmando así la presencia de *Fusarium*.

El éxito de cada vivero depende de la supervivencia de las plantas y la calidad de las mismas, en este caso, a lo largo de seis meses de monitoreo de las plantas se presentó poca mortalidad, la cual varía dependiendo la especie.

De un total de 720 plantas analizadas por especie (2160 plantas en total), se encontró que la especie que mayor mortalidad presentó fue *Pinus oaxacana* con un total de 3.4 % de plantas muertas, seguida de *P. patula* con 2.0 % de plantas muertas, por último, *P. ayacahuite* presentó solo un 1.1 % de plantas muertas, las plantas muertas permanecieron en las charolas. El promedio de las plantas muertas se presenta en la Figura I. Al evaluar plántulas de pino en vivero Robles-Yerena et al. (2016) encontraron como principales causantes de mortalidad a *Fusarium solani* y *F. oxysporum*, causando síntomas de marchitez en las plantas. Por su parte, García-Díaz & Cibrián-Tovar, (2011) al evaluar el hongo causante en la pudrición de raíz en viveros de los estados de Chihuahua, Ciudad de México, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Veracruz, Zacatecas y Chiapas, encontrarían que el causante de la enfermedad es el *Fusarium*.

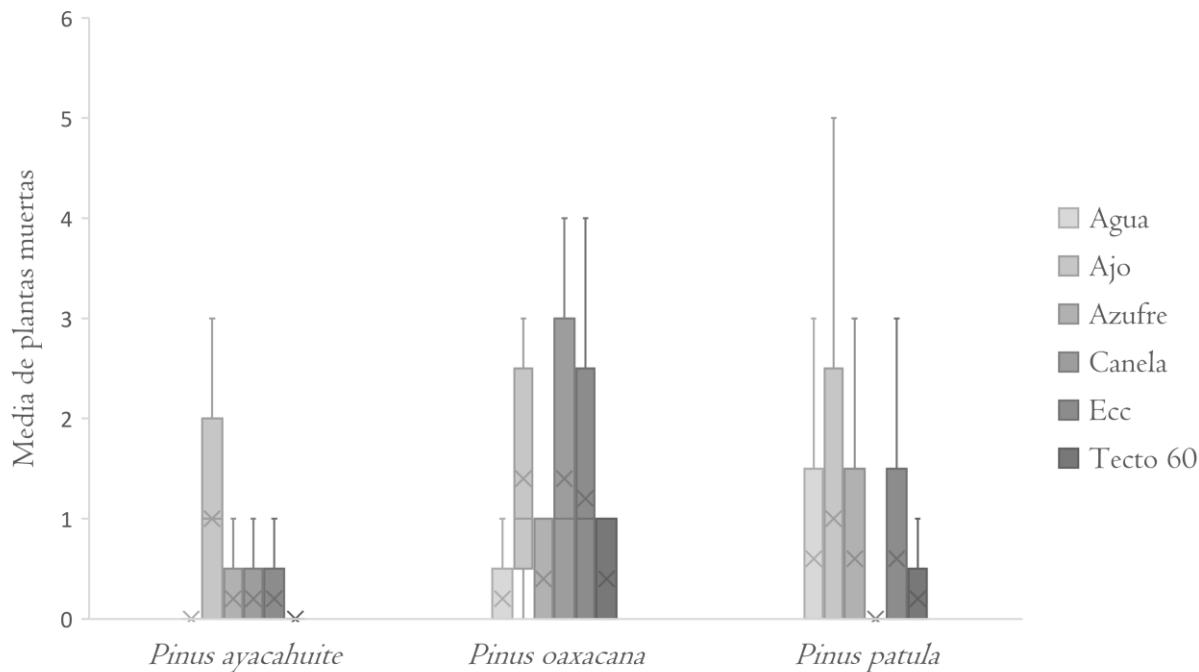


Figura I. Media de plantas muertas por especie. Ecc = extracto de cola de caballo.

No se encontró un efecto de interacción significativo ($p > 0.05$), entre los fungicidas y las especies analizadas (Tabla 2). Esto puede ser resultado de la poca mortalidad presentada en el lapso de seis meses o por la resistencia de las plantas. Conejero & Hach (2012) mencionan que las plantas poseen mecanismos de defensa para repeler plagas y resistir enfermedades.

El fungicida que presentó menor mortalidad fue el de base química Tecto 60® con solo un 0.8 % de plantas muertas, aunque es un buen fungicida este llega a causar daño al ambiente y al aplicador (Gonzalez-Elizondo et al., 2022). Abd-Elsalam

(2024) y Ateeq et al. (2023) mencionan que la utilización indiscriminada de fungicidas químicos puede resumirse en patógenos con mayor resistencia, daños a la salud humana y contaminación ambiental. En tanto que, Grossnickle & Ivetic (2022) y Arguedas et al. (2021) mencionan que el estado sanitario y fisiológico de las plantas en los viveros es fundamental en los procesos de reforestación, porque plantas enfermas trasladadas al campo tienen menor probabilidad de sobrevivir y, pueden convertirse en focos de diseminación de plagas y enfermedades en los proyectos de reforestación.

Tabla 2. Análisis de varianza de los factores que intervienen en la mortalidad de la planta.

Fuente	Cuadrado medio	Valor de F	CV (%)
Fungicidas	1.74	1.54 ^{ns}	199.12
Especie	2.44	2.16 ^{ns}	
Especie × Fungicidas	0.57	0.50 ^{ns}	

CV = coeficiente de variación.

La utilización de fungicidas orgánicos, aunque generalmente, no cuentan con la misma eficacia que el químico, son una alternativa para disminuir la mortalidad causada por enfermedades, tal como sucedió en el presente estudio. Zhao et al. (2022) establecen que es importante desarrollar métodos efectivos, seguros y nobles con el ambiente capaces de inhibir los efectos causados por hongos. Por su parte, Prospero et al. (2021) indican que en la actualidad se ha impulsado el desarrollo de métodos de control de patógenos amigables con el ambiente. Rao & Paria, (2013) utilizaron el azufre contra dos fitopatógenos, *Fusarium solani* Mart y *Venturia inaequalis* Cooke, teniendo como resultado la eficacia del azufre para inhibir dichos hongos, por su parte, Ochoa-Fuentes et al. (2012) probaron la canela, extractos de chirimoya, pirul y tabaquillo sobre el crecimiento micelial y esporulación de *Fusarium oxysporum* Schltld.,

Fusarium culmorum Wm. G. Sm. y *Fusarium solani* encontrando el control micelial de los hongos por medio de la canela, a su vez, Rodríguez-Castro et al. (2020) evaluaron el efecto inhibitorio de cola de caballo, aguacate, moringa, boldo, romero y prodigiosa sobre *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani* J.G.Kühn, inhibiendo el crecimiento micelial de estos organismos.

El azufre fue el fungicida orgánico que registró mortalidad menor con un 1.6 % de plantas muertas. La canela presentó 2.2 % de plantas muertas, seguida por el extracto de cola de caballo con una mortalidad de 2.7 %. En tanto que, el fungicida que mostró la mayor tasa de mortalidad fue el ajo con un 4.7 % (Figura 2), aunque sin diferencias significativas (Figura 3).

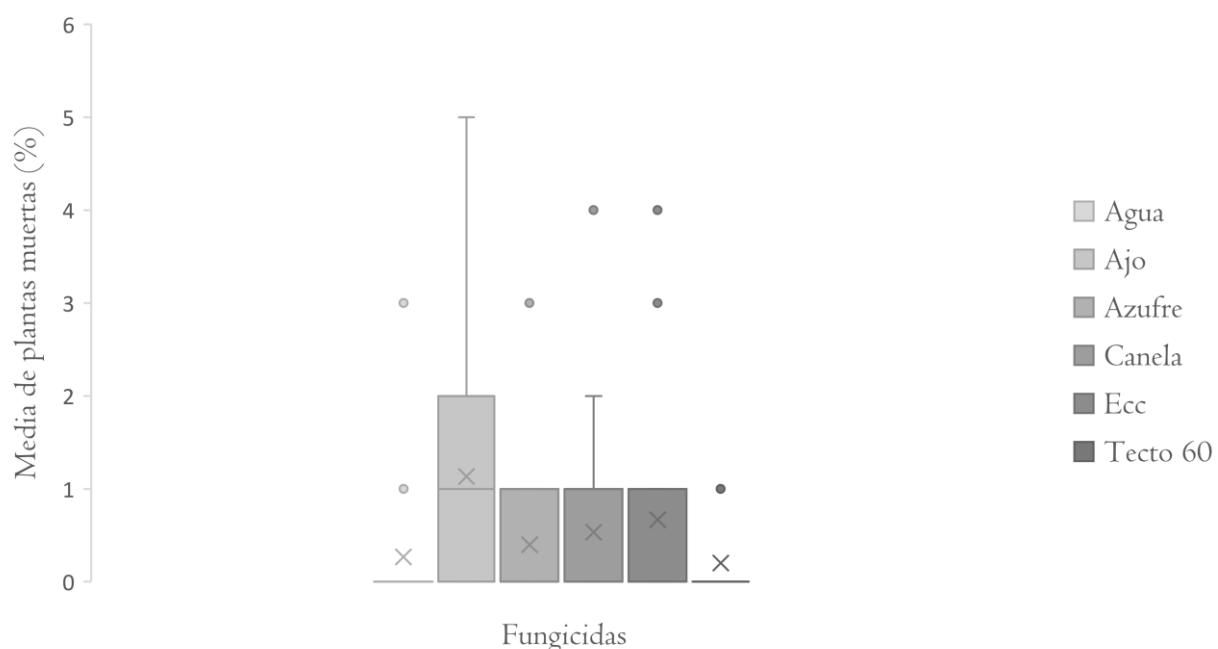


Figura 2. Mortalidad de plantas. Ecc= extracto de cola de caballo.

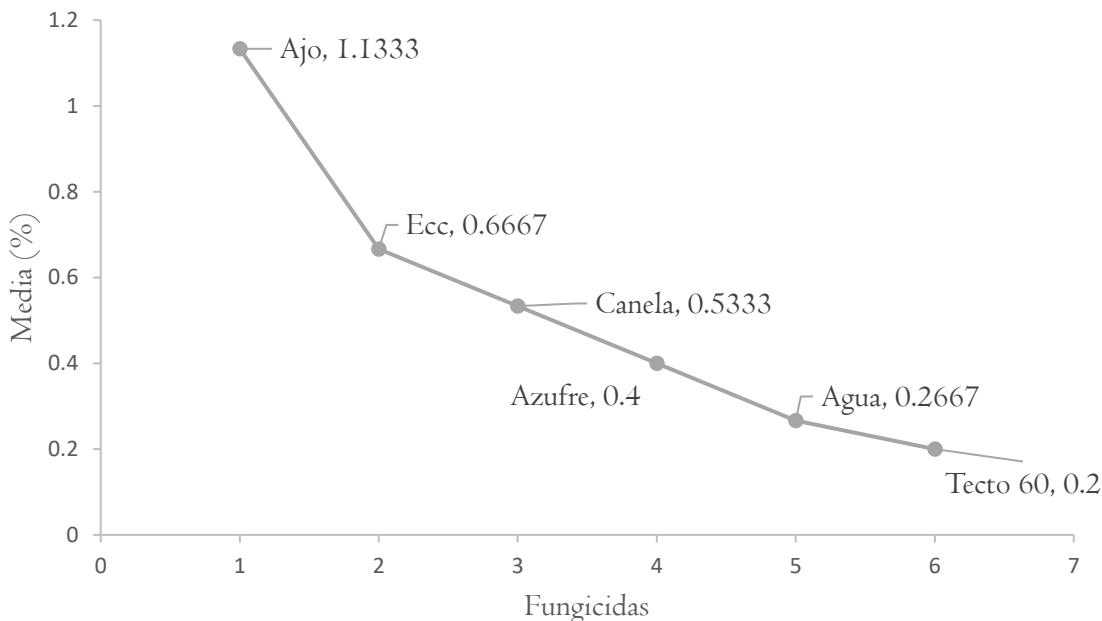


Figura 3. Prueba de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) para los fungicidas evaluados. Ecc = extracto de cola de caballo, I = ajo, 2 = Ecc, 3 = canela, 4 = azufre, 5 = agua, 6 = Tecto® 60.

Los fungicidas aplicados en las plantas para el ataque de *Fusarium* presentaron una mortalidad mínima. Arguedas-Gamboa et al. (2021) y Vallejo-Avellaneda (2021) establecen que el *Fusarium* es una de las patologías más importantes a nivel mundial para las especies de coníferas y que su estudio se ha centrado en la prevención, ya que no existe tratamiento curativo. Los tratamientos preventivos en vivero para el ataque de *Fusarium* se basan en la utilización de fungicidas químicos comerciales, aunque son efectivos el constante uso causa daños al ambiente y al viverista (López-Zapata & Castaño-Zapata, 2019; García-Díaz et al., 2017). León et al. (2017) señalan que el uso de fungicidas orgánicos en plantas se destaca como alternativa a fungicidas químicos, puesto que resulta amigable con el medio ambiente, seguro y provee protección a las plantas.

El control de las enfermedades causadas por *Fusarium* en especies de pino de importancia ecológica y comercial ha sido ampliamente estudiado (Abd-Elsalam, 2024; Albarracín-Gómez et al., 2023; López-Zapata & Castaño-

Zapata, 2019;). La mortalidad para las especies *P. patula*, *P. oaxacana* y *P. ayacahuite* bajo los fungicidas orgánicos aplicados fue mínima (Figura 3). De manera similar al presente estudio, se han investigado otros métodos de control de *Fusarium* en especies de pino. Won et al. (2018) evaluaron la eficacia de *Bacillus licheniformis* Weigmann, en plantas de *Pinus thunbergii* Parl, teniendo como resultado la disminución de *F. oxysporum*. A su vez, Gqola (2015) aisló microorganismos endófitos de plantas y semillas de pino sanas para detectar su actividad contra *F. circinatum* Nirenberg & O'Donnell, encontrando diferencias significativas en el control del patógeno. Por su parte, Chakravarty et al. (1999) evaluaron el control de dos especies de patógenos de raíces (*Fusarium moniliforme* Sheld y *F. oxysporum*) en especies de coníferas, basado en interacciones entre tres especies de hongos ectomicorrízicos (*Hebeloma bngicaudum* P.Kumm, *Lacearia bicolor* P.D.Orton y *Paxillus involutus* Batsch ex Fr.), un hongo que descompone la hojarasca (*Clitocybe clavipes* Staude), y un fungicida (benzoato de oxina).

De igual manera al estudio del control de *Fusarium* en especies forestales, se ha probado la eficacia del control en especies de importancia agrícola. Aguirre et al. (2012) al evaluar la eficiencia de extractos con principios activos de eucalipto, ajo y crisantemo como fungicidas naturales, encontraron una efectividad del 100 % de los extractos de ajo y eucalipto ante los fitopatógenos *Botrytis cinerea* Whetzel, *Pharagmidium mucronatum* Schltdl y *Sphaerotheca pannosa* Wallr. Lév. Asimismo, mencionan que el uso de productos químicos ocasiona poblaciones de fitopatógenos resistentes. Esto conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas de manejo de enfermedades como la utilización de extractos vegetales.

Babu-Joseph & Kumar (2008) trabajaron con extractos acuosos de diversas especies de plantas para el control de marchitez en berenjena “*Solanum melongena* L., Sp. Pl”, causado por “*Fusarium solani* (Mart.) Sacc”, tales como, “*Melongenae* Welles”, “*Azardachta indica* A. Juss”, ajenjo “*Artemesia annua* L”, eucalipto “*Eucalyptus globulus* Labill”, albahaca “*Ocimum sanctum* L” y ruibarbo “*Rheum emodi* D. Don”, y se obtuvo un porcentaje alto de inhibición del hongo. Por su parte, Albarracín-Gómez et al. (2023) realizaron una búsqueda mediante diferentes investigaciones encontrando así una alternativa biológica y sostenible como lo es el aceite esencial de la planta *Lippia graveolens*, la cual contiene diferentes alcoholes que a concentraciones de 0.20 y 0.25 $\mu\text{l mL}^{-1}$, logra inhibir el crecimiento de *Fusarium oxysporum* en un 100 %.

En este estudio, al no encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos utilizados y mediante la poca mortalidad presentada se puede establecer que los fungicidas probados pueden tener alta efectividad antifúngica, sin embargo, para corroborar dicha efectividad es necesario caracterizar con detalle las concentraciones de los fungicidas, identificar a las especies de *Fusarium*, así como implementar tratamientos pregerminativos, e incluso realizar un seguimiento

en campo y ensayar con especies diferentes a las aquí analizadas.

CONCLUSIONES

Los fungicidas evaluados funcionaron adecuadamente, dado que se perdieron pocas plantas por causa de la enfermedad de la secadera. El fungicida con base química presentó resultados mejores (mortalidad más baja), aunque sin diferencias significativas con respecto a los fungicidas orgánicos. De estos, el azufre presentó menor mortalidad, por consiguiente, puede llegar a ser una alternativa al Tecto®60, además es de costo bajo. En tanto que, los demás materiales como el ajo, canela y cola de caballo presentaron buena efectividad y se pueden encontrar fácilmente en comunidades rurales. El encontrar fungicidas orgánicos efectivos puede reducir daños al ambiente, al aplicador y reducir costos en el mantenimiento de las plantas en vivero.

REFERENCIAS

- Abd-Elsalam, K.A. (2024). *Next-generation fungicides based on nanohybrids: A preliminary review*. Nanohybrid Fungicides, 3-23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23950-2.00017-5>
- Acero-Montoya, M.A. (2022). Revisión sistemática de actividad antagonista y posible control biológico con levaduras sobre *Botrytis cinerea*, hongo que afecta los cultivos de *Cannabis sativa* L. <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/6544>
- Aguirre, V., Delgado, V., Anrango, M., & Díaz, N. (2012). Obtención y evaluación in vitro de la eficiencia de extractos con principios activos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), ajo (*Allium sativum*) y crisantemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*) como fungicidas naturales para el control de *Botrytis cinerea*, Phra. Centro de Investigaciones Científicas (ESPE), 1(3), 1-17.
- Albarracín-Gómez, L. D., Hortua-Gamboa, S. D., & Acero-Godoy, J. (2023). Efecto inhibitorio

- del aceite esencial de *Lippia graveolens* sobre *Fusarium oxysporum* en la familia Solanaceae. Una revisión. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(1), 54-65. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5877>
- Alkhail, A.A. (2005). Antifungal activity of some extracts against some plant pathogenic fungi. *Pak. J. Biol. Sci*, 8(3), 413-417.
- Angarita-Cacheo, P.A., Cepeda-Palacios, A.Y., & Sánchez-Corredor, N.A. (2023). Métodos de propagación de *Fragaria spp.* empleados en Sudamérica con énfasis en la propagación de estolones: Una revisión. *Ciencia y Agricultura*, 20(3), 16186-16186.
- Arguedas G.M., Rodríguez-Solís, M., Cots Ibiza, J., & Martínez Araya, A. (2021). Inventario de plagas y enfermedades en viveros forestales en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(42), 17-29.
- Ateeq, M., Mubeen, M., Bashir, S., Bajwa, R., Arshad, H. M. I., Abbas, A., & Romano, M. (2023). Etiology and management of citrus Melanose disease in Pakistan: A review. *Phytopathogenomics and Disease Control*, 2, 29-36. <https://doi.org/10.22194/Pdc/2.117>
- Babu-Joseph, M. A. D., & Kumar, V. (2008). Bioefficacy of plant extracts to control *Fusarium solani* f. Sp. Melongenae incitant of brinjal wilt. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*, 3(2), 56-59.
- Bahramov, R., Mamatyusupov, A., Tokhtaboeva, F., Khomidov, J., & Yuldashev, H. (2020). A comprehensive application of fertilizers for growing plantations in forest nurseries: A brief review. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 614(1), 012117. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/614/1/012117/meta>
- Buamscha, M. G. (2006). Chemical and physical properties of Douglas fir bark relevant for the production of container crops in Oregon. https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/wm117t27z
- Chakravarty, P., Khasa, D., Dancik, B., Sigler, L., Wieliczko, M., Trifonov, L.S., & Ayer, W.A. (1999). Integrated control of *Fusarium* damping-off in conifer seedlings/Integrierte Bekämpfung der durch *Fusarium* verursachten Umfallkrankheit an Koniferen-Keimpflanzen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection, 106(4), 342-352.
- Cibrián, T. D., García, D. S., & Don Juan, M. B. (2008). Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros. *Comisión Nacional Forestal*. México.
- Climent, J., Chambel, M.R., Barba, D., Voltas, J., & Miranda, R.A. (2008). Evaluación genética de la planta forestal: Concepto y resultados disponibles para rodales de pinos españoles. *Boletín Informativo CIDEU*, 6, 69-82.
- COESFO (Comisión Nacional Forestal). (2011). *Ficha técnica Vivero: Ixtlán de Juárez. Oaxaca*. 1 p.
- Conejero, M.V., & Hach, A.S. (2012). Aplicaciones de BABA y BTH en brizales de *Pinus pinaster* para la inducción de resistencia ante *Fusarium circinatum*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 36, 55-60.
- Fady, B., Esposito, E., Abulaila, K., Aleksic, J.M., Alia, R., Alizoti, P., Apostol, E.-N., Aravanopoulos, P., Ballian, D., Kharrat, M.B. D., Carrasquinho, I., Albassatneh, M.C., Curtu, A.-L., David-Schwartz, R., De Dato, G., Douaihy, B., Eliades, N.-G. H., Fresta, L., Gaouar, S.B.S., ... Westergren, M. (2022). Forest Genetics Research in the Mediterranean Basin: Bibliometric Analysis, Knowledge Gaps, and Perspectives. *Current Forestry Reports*, 8(3), 277-298. <https://doi.org/10.1007/s40725-022-00169-8>
- Fidel-Alarcón, G. (2022). Propuesta forestal para la siembra directa de caoba (*Swietenia macrophylla* King) basada en sistemas agroforestales en la Amazonía peruana. *South Sustainability*, 3(1), e056-e056. <https://doi.org/10.21142/SS-0301-2022-e056>
- García-Díaz, S. E., & Cibrián-Tovar, D. (2011). Pudrición de raíz causada por *Fusarium*

- oxysporum* schltdl en coníferas. *Memorias del XV Simposio Nacional de Parasitología Forestal*, 204-207.
- García-Díaz, S.E., Aldrete, A., Alvarado-Rosales, D., Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J.T., Valdovinos-Ponce, G., & Equíhua-Martínez, A. (2017). Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. *Agrociencia*, 51(8), 895-908.
- Gonzalez-Elizondo, M.S., Wehenkel, C., Mendoza-Maya, E., Flores López, C., Torres Valverde, J., Hernandez-Díaz, J., Vargas-Hernández, J., Saenz-Romero, C., Escobar-Flores, J., C.Z, Q.-P., Carrillo-Parra, A., Simental, L., Díaz Carrillo, Ó., Bosque, G., & Villanueva-Díaz, J. (2022). Las piceas (*Picea*, pinaceae) de México [The Spruces (*Picea*, *Pinaceae*) of Mexico].
- Gqola, B. N. (2015). Biological control of *fusarium* wilt of pine seedlings using endophytic microorganisms and silicon. [PhD Thesis].
- Grossnickle, S. C., & Ivetić, V. (2022). Root system development and field establishment: Effect of seedling quality. *New Forests*, 53(6), 1021-1067.
<https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>
- Hernández-Amasifuen, A. D., Pineda-Lázaro, A. J., & Noriega-Córdova, H. W. (2019). Aislamiento e identificación de *Fusarium oxysporum* obtenidos de zonas productoras de «ají paprika» *Capsicum annuum* L. (*Solanaceae*) en el distrito de Barranca, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 689-698.
- Jancarik, V. (1960). Damping-off in forest nurseries, and its control. *Prace Vyzkumneho Ustavu Lesniho CSR*, 18, 181-257.
- Jasso-de Rodríguez, D., Hernández-Castillo, D., Angulo-Sánchez, J.L., Rodríguez-García, R., Villarreal Quintanilla, J.A., & Lira-Saldivar, R. H. (2007). Antifungal activity *in vitro* of *Flourensia* spp. Extracts on *Alternaria* sp., *Rhizoctonia solani*, and *Fusarium oxysporum*. *Industrial Crops and Products*, 25. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/64736a5b2c1d629bc980cf41>
- León, D.C.S., Cortés, A.C.P., & Sarmiento, N.C. M. (2017). Evaluación de la actividad fungicida e identificación de compuestos orgánicos volátiles liberados por *Trichoderma viride*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1), 63-70.
- López-Zapata, S.P., & Castaño-Zapata, J. (2019). Manejo integrado del mal de Panamá *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. *cubense* (EF SM.) WC Snyder & HN Hansen: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2).
- Mariotti, B., Oliet, J.A., Andivia, E., Tsakaldimi, M., Villar-Salvador, P., Ivetić, V., Montagnoli, A., Janković, I. K., Bilir, N., Bohlenius, H., Cvjetković, B., Dūmiňš, K., Heiskanen, J., Hinkov, G., Fløistad, I.S., & Cocozza, C. (2023). A Global Review on Innovative, Sustainable, and Effective Materials Composing Growing Media for Forest Seedling Production. *Current Forestry Reports*, 9(6), 413-428. <https://doi.org/10.1007/s40725-023-00204-2>
- Montgomery, D.C. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Universidad Estatal de Arizona.
- Noreña, C., Aya, H., Lemus, L., Torres, G.A., Varón, F., & Martínez, G. (2011). Evaluación de tratamientos químicos y prácticas culturales del manejo de la Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite en plantas de vivero, en Tumaco. *Revista Palmas*, 32(2), 27-32.
- Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chávez, E., Landeros-Flores, J., Hernández-Camacho, S., & Delgado-Ortiz, J. C. (2012). Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *Phyton*, 81(1), 69-73.
- Prieto, R. J.A., García, R. J.L., Mejía, B. J.M., Huchín, A.S., & Aguilar, V. J.L. (2009). *Producción de planta del género Pinus en vivero en clima templado frío*. INIFAP, Publicación Especial, 28.

- Prospero, S., Botella, L., Santini, A., & Robin, C. (2021). Biological control of emerging forest diseases: How can we move from dreams to reality? *Forest Ecology and Management*, 496, 119377.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119377>
- Ramos-Huapaya, A. E., & Lombardi-Indacochea, I. R. (2020). Calidad de plantas en un vivero de tecnología intermedia en Huánuco: Estudio de caso con "*Eucalipto urograndis*". *Revista Forestal del Perú*, 35(2), 132-145.
- Rao, K. J., & Paria, S. (2013). Use of sulfur nanoparticles as a green pesticide on *Fusarium solani* and *Venturia inaequalis* phytopathogens. *RSC Advances*, 3(26), 10471-10478.
- Ribeiro, S., Cerveira, A., Soares, P., & Fonseca, T. (2022). Natural regeneration of maritime pine: A review of the influencing factors and proposals for management. *Forests*, 13(3), 386.
- Robles-Yerena, L., Leyva Mir, S.G., Cruz-Gómez, A., Camacho-Tapia, M., Nieto-Ángel, D., Tovar-Pedraza, J.M., Robles-Yerena, L., Leyva-Mir, S.G., Cruz-Gómez, A., Camacho-Tapia, M., Nieto-Ángel, D., & Tovar-Pedraza, J. M. (2016). *Fusarium oxysporum* Schltld. Y *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. Causantes de la marchitez de plántulas de *Pinus* spp. en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 36, 25-36.
- Rodríguez-Castro, A., Torres-Herrera, S., Calleros, A. D., Romero-García, A., & Silva-Flores, M. (2020). Extractos vegetales para el control de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. *Abanico Agroforestal*, 2(0),
- Rodríguez-Ortiz, G., Aragón-Peralta, R.D., Enríquez-del Valle, J.R., Hernández-Hernández, A., Santiago-García, W., & Campos-Angeles, G.V. (2020). Calidad de plántula de progenies selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* del sur de México. *Interciencia*, 45(2), 96-101.
- Sáenz-Reyes, J., Muñoz Flores, H.J., Pérez, C.M. Á., Rueda Sánchez, A., & Hernández Ramos, J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111.
- SAS Institute Inc. (2013). *SAS/ETS® 9.4 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc
- South, D. B., Starkey, T. E., & Lyons, A. (2023). Why Healthy Pine Seedlings Die after They Leave the Nursery. *Forests*, 14(3), 645.
- Valera, B.C., Leza, F. J.L., Luquero, L., & Bueno, L.O. (2017). El desarrollo de la sanidad forestal en el vivero de TRAGSA. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 43, 139-150.
- Vallejo-Avellaneda, D. A. (2021). Revisión sistemática de la literatura de *Piper bogotense* y su actividad antibacteriana.
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/1349/26362>.
- Villalón-Mendoza, H. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 46-52.
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J.M., & Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194-205.
- Won, S.-J., Choub, V., Kwon, J.-H., Kim, D.-H., & Ahn, Y.-S. (2018). The control of *Fusarium* root rot and development of coastal pine (*Pinus thunbergii* Parl.) seedlings in a container nursery by use of *Bacillus licheniformis* MH48. *Forests*, 10(1), 6.
- Zhao, X., Zhou, J., Tian, R., & Liu, Y. (2022). Microbial volatile organic compounds: Antifungal mechanisms, applications, and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2022.922450>.

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN APÍCOLA DE LA COSTA CHICA DE GUERRERO

CHARACTERIZATION OF THE BEEKEEPING PRODUCTION SYSTEM OF THE COSTA CHICA OF GUERRERO

^{1§}José Cámara-Romero^{id}, ²Luis Alaniz-Gutiérrez^{id}, ³Agustín Rojas-Herrera^{id}, ⁴William Cetral-Ix^{id}

Universidad Autónoma de Guerrero, ¹Centro de Ciencias de Desarrollo Regional, Privada de Laurel No. 13, El Roble, 39640, Acapulco, Guerrero, México. ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia No 2, Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional, Km. 198, 41940, Cuajinicuilapa, Guerrero, México. ³Facultad de Ecología Marina, Gran Vía Tropical, No 20, Fraccionamiento Las Playas, Acapulco, Guerrero, México. ⁴Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11, Col. Centro Chiná, 24050, Campeche, México. [§]Autor de correspondencia: (josecamara84@gmail.com).

RESUMEN

En el estado de Guerrero se desconoce la situación actual de la producción apícola. El objetivo del estudio fue analizar la evolución de producción de miel e inventarios de colmenas en el estado de Guerrero. La investigación se realizó bajo un enfoque exploratorio-descriptivo. Para obtener una tendencia de la producción estatal se realizó una encuesta semiestructurada a 75 apicultores de la región Costa Chica. La producción de miel en los 81 municipios del estado de Guerrero fue en promedio de 2218 t/año en el periodo 2010 a 2022. El inventario de colmenas en promedio fue de 84,375. Se cuantificó una pérdida de 28,525 colmenas a nivel estatal, lo que equivale a un decremento acumulado del 26.6 %, y a una tasa media anual de 2.2 %. Por regiones, la Costa Chica es la más importante. El análisis de las entrevistas en la Costa Chica mostró que el número de apiarios promedio fue de 2.8 por apicultor, cada apiario tiene 27.8 colmenas con una producción por colmena de 26.9 kg/año en promedio. Este trabajo muestra la evolución de la producción apícola del estado de Guerrero y permite estimar la tendencia a futuro.

Palabras clave: apicultura tradicional, inventario apícola, regiones de Guerrero.

ABSTRACT

In the Guerrero State the current situation of beekeeping production is unknown. The objective of the study was to analyze the evolution of honey production and hive inventories in the state of Guerrero. The research was carried out under an exploratory-descriptive. To obtain a trend in state production, a semi-structured survey was conducted among 75 beekeepers in the Costa Chica region. Honey production in the 81 municipalities of Guerrero State averaged 2218 t/year in the period 2010 to 2022. The average inventory of hives that were exploited was 84,375. In this period there was a loss of 28,525 hives at the state level, which is equivalent to a cumulative decrease of 26.6 %, and an average annual rate of 2.2 %. By region, the Costa Chica is the most important. The survey analysis in the Costa Chica showed that the average apiary number was 2.8 per beekeeper, each apiary has 27.8 hives with a production per hive of 26.9 kg/year on average. This work shows the evolution of beekeeping production in the Guerrero State and allows us to predict a future trend.

Index words: traditional beekeeping, beekeeping inventory, regions of Guerrero.

INTRODUCCIÓN

La apicultura es una de las actividades que maneja de manera sostenible los recursos naturales de una región y requiere relativamente poca inversión, además de que provee un ingreso importante que contribuye a la estabilidad económica en la vida de los productores (Dolores-Mijangos et al., 2017). Actualmente la apicultura se ubica entre los tres primeros lugares en el sector pecuario como generadora de divisas, con una producción nacional de 64,320 t y una derrama económica de \$3,057,614 que beneficia principalmente a pequeños productores (SIAP 2023), además de que brinda beneficios alimenticios, curativos y ambientales (Hernández-Cuevas et al., 2019; Sosenski y Domínguez, 2018).

A pesar de las bondades de esta actividad, enfrenta diversos problemas como la africanización de las colonias (Ramos-Cuellar et al., 2023; Guzmán-Novoa et al., 2020), presencia de parásitos como la *Varroa destructor* (Roth et al., 2020) y *Aethina tumida* (Bulacio et al., 2023), poco fomento al desarrollo tecnológico de la actividad (Pat-Fernández et al., 2020), incipiente incorporación de nuevas tecnologías por el apicultor (Neira, 2021). Estos factores aceleran el decrecimiento en cuanto al volumen de producción apícola a nivel nacional. Por tales situaciones, es necesario caracterizar las unidades de producción apícola, con la finalidad de comprender el impacto en los procesos productivos, y para generar información que apoye la toma de decisiones que contribuyan al desarrollo de esta actividad.

Se han realizado estudios de estructura y diversidad de la vegetación en el estado de Guerrero (Gallardo-García, et al., 2023; Morales-Saldaña et al., 2015), sin embargo, ninguno relacionado con el sector apícola, como consecuencia se desconoce la situación actual de esta actividad en el estado, así como los principales recursos nectaríferos-polínferos de la vegetación (Castellanos-Potenciano et al., 2015).

Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue analizar la evolución de la producción en inventarios de colmenas y en productividad de miel en el estado de Guerrero, así como un obtener un panorama general de la apicultura en sus siete regiones bioculturales y una caracterización de la producción apícola en la Costa Chica de Guerrero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de muestreo

Para obtener información primaria sobre la producción en la Costa Chica (**Figura I**), se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia (Hernández-Sampieri, y Mendoza 2018), donde los individuos se seleccionaron por su disposición para proporcionar información detallada sobre el número de colmenas y su producción apícola. Se diseñó un cuestionario y se aplicó una encuesta, durante las reuniones de las cooperativas y asociaciones de apicultores de la Costa Chica.

La investigación se realizó bajo un enfoque exploratorio-descriptivo soportada en fuentes secundarias y primarias (Hernández-Sampieri, y Mendoza 2018), sobre inventarios y producción apícola a partir de datos históricos y recientes (2010-2022), del comportamiento del sector apícola guerrerense y el análisis en sus siete regiones bioculturales. Para obtener la caracterización de la producción de miel para el estado de Guerrero y sus regiones, se consultaron tres fuentes de información secundarias: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), Padrón Ganadero Nacional (PGN) y el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Estas fuentes consideran solo los datos oficiales, lo que ciertamente permite afirmar que los valores alcanzan números mucho más altos, si consideramos el sector apícola no registrado en las instancias gubernamentales.

El cuestionario estuvo integrado por dos apartados: I) Datos generales del apicultor (edad, escolaridad y tiempo en esta actividad) II) Producción apícola (número de apiarios, colmenas, cosechas, producción anual). La muestra final fue de 75 apicultores encuestados en el periodo de enero a diciembre de 2021.

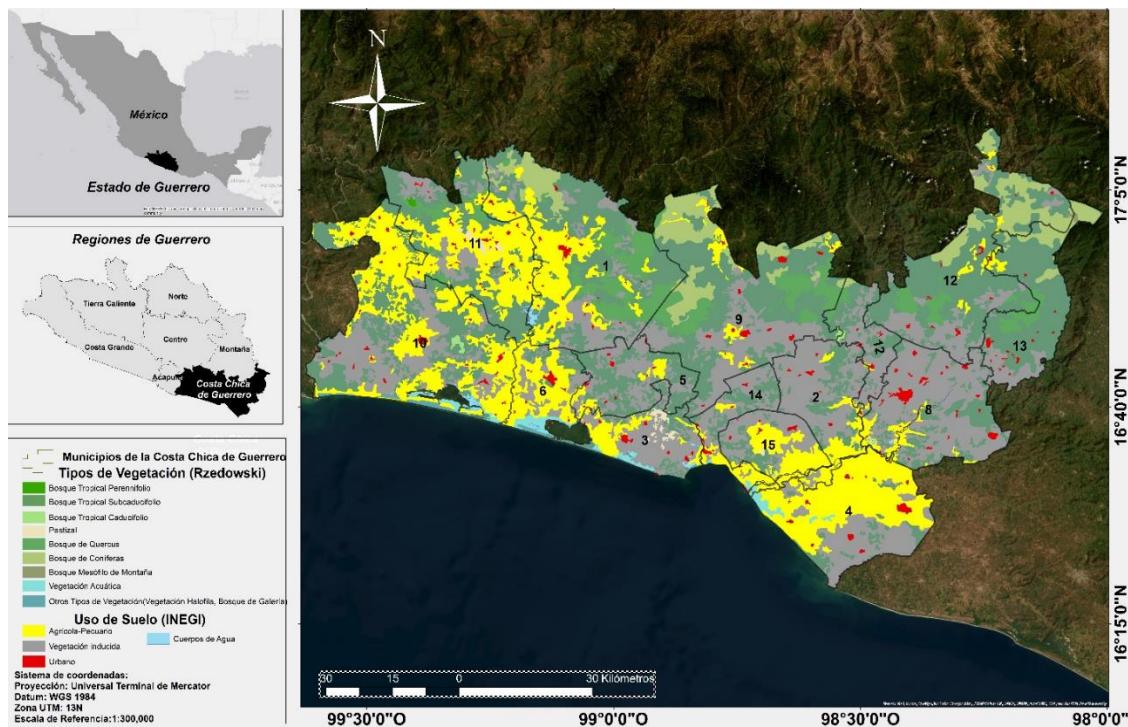


Figura 1. Tipos de vegetación y uso de suelo de los municipios donde se realizaron las entrevistas a los apicultores en la Costa Chica de Guerrero, México. 1 = Ayutla de los Libres, 2 = Azoyú, 3 = Copala, 4 = Cuajinicuilapa, 5 = Cuautepec, 6 = Florencio Villarreal, 7 = Igualapa, 8 = Juchitán, 9 = Marquelia, 10 = Ometepec, 11 = San Luis Acatlán, 12 = San Marcos, 13 = Tecuanapa, 14 = Tlacoachistlahuaca, 15 = Xochistlahuaca.

Manejo y análisis de datos

Para el análisis de los datos se empleó estadística descriptiva. Se clasificaron los apicultores según el número de colmenas y su nivel tecnológico: tradicionales de 5 a 50, semitecnificado de 51 a 200 y tecnificado con más de 200 colmenas respectivamente (Contreras-Escareño et al., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción apícola estatal

El análisis de los datos de la producción de miel en el estado de Guerrero fue en promedio de 2218 t/año en el periodo 2010 a 2022 (Figura 2). El comportamiento mostrado en este periodo indica una reducción de 1098 t, lo que equivale a un decremento en la tasa media anual de 3 %, estos

datos concuerdan con lo reportado por Magaña et al. (2016), en donde señalan la reducción de la actividad apícola en Guerrero. En el 2010, el estado se ubicó en el séptimo productor de miel en el país, con 3179 t y para el 2022 se ubicó en el décimo lugar con 2081 toneladas, una caída de tres lugares en el ranking nacional (SIAP, 2023). La reducción de la actividad apícola, puedes estar acelerándose debido a la problemática del cambio climático (Castellanos-Potencianos et al., 2017), disminución de precipitaciones pluviales (Martínez-Austria, Díaz-Delgado, Moeller-Chavez, 2019), embate de huracanes sobre la infraestructura de producción, y el exceso de agroquímicos en la agricultura (Martin-Culma y Arenas-Suarez, 2018), problemáticas recientes en esta actividad.

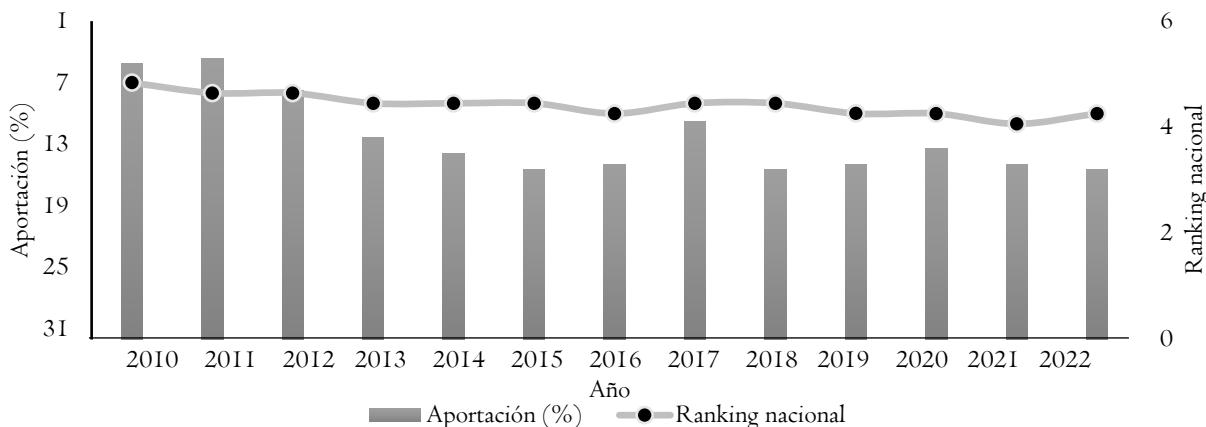


Figura 2. Aportación de la producción de miel del estado de Guerrero (Fuente: Elaborado con base a datos del SIAP 2010-2023).

En el periodo analizado, se encontró un decrecimiento constante en la producción estatal, con una reducción de 1.14 mil toneladas (**Figura 3**), estos valores encontrados difieren a otros estados que se encuentran en las mismas regiones apícolas, por ejemplo, Sánchez-Gómez et al. (2022), mencionan que el estado de Jalisco se ha mantenido dentro de los primeros cinco estados productores de miel a nivel nacional, con un

promedio de 5.8 mil toneladas, por otro lado, el estado de Yucatán se ha mantenido en el primer lugar como productor de miel, con un volumen promedio anual de 9.1 mil toneladas en los últimos 15 años, siendo la apicultura tradicional (unidades de producción de pequeña escala) la de mayor producción de miel en el estado de Yucatán (Contreras-Uc Magaña-Magaña, y Sanginés-García, 2018).

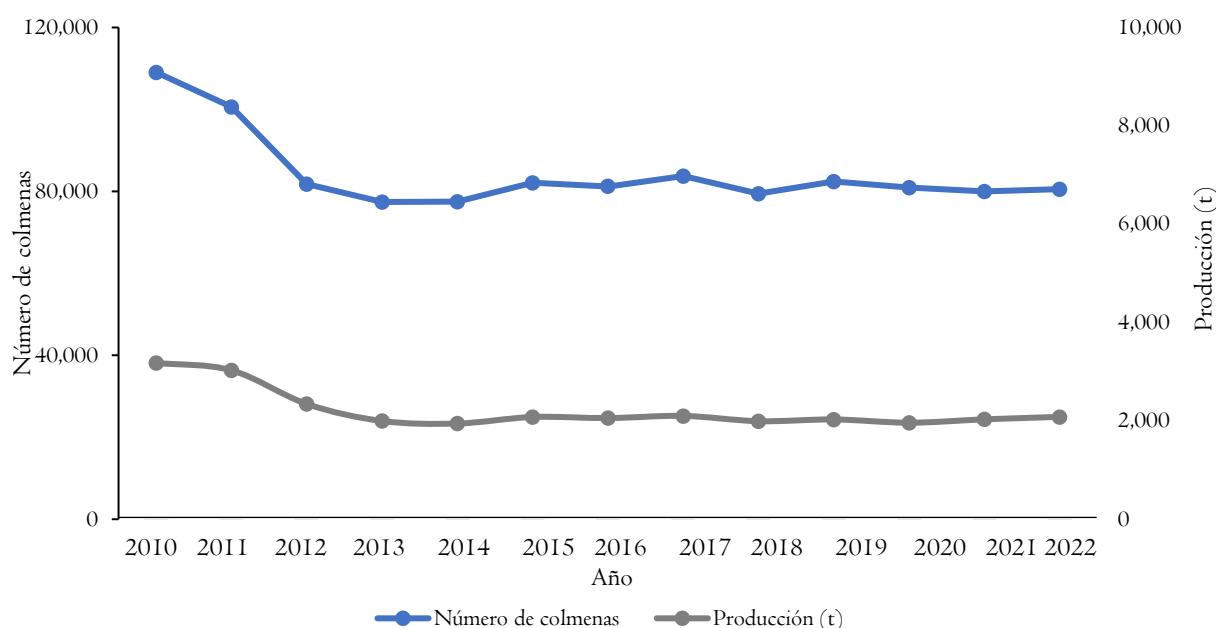


Figura 3. Número de inventario de colmenas y producción de miel en el estado de Guerrero (Fuente: Elaborado con base a datos del SIAP 2010-2023).

En México, la capacidad de producción (número de colmenas por apiario), es variada, en Jalisco el promedio es de 335 colmenas, Veracruz con 88; Yucatán con 37 colmenas y Chiapas con 21 colmenas, la menor registrada para los estados de interés productivo. (Magaña-Magaña et al., 2016). A pesar de que Chiapas ocupa el promedio más bajo en inventario de colmena, (SIACON, 2021), señala que el estado de Chiapas ha incrementado su inventario de colmenas y producción en el periodo 2015-2019.

Magaña-Magaña et al. (2017) mencionan que la producción nacional estimada por colmena es de 29.1 kg de miel y pueda estar sujeta a múltiples variables, entre las más factibles está la fortaleza de los núcleos de la colmena; disponibilidad de recursos forrajeros (flora melífera), la fenología floral (frecuencia y duración del período de senescencia), la calidad, abundancia, temporalidad en el volumen del flujo del néctar y polen (Insuasty-Santacruz, Martínez-Benavides y Jurado-Gámez, 2016), por otro lado, cifras oficiales del SADER (2022), estiman una producción por colmena de 35.6 kg de miel por año.

Un evento que ha ocasionado la reducción de colmenas y producción considerable, son los fenómenos climatológicos, Echazarreta et al. (2004) reportaron los impactos ocasionados por el huracán Isidoro en la península de Yucatán. Del periodo analizado, el año en el que se registró la

reducción más alta en la producción de miel para el estado de Guerrero fue en 2014, un año después del impacto de los huracanes Ingrid y Manuel. Debido a que estos eventos naturales no se pueden pronosticar, la actividad apícola, queda indefensa ante el embate de los huracanes y productivamente tienen un impacto significativo en la actividad apícola.

Tendencia del inventario de colmenas apícolas en las siete regiones de Guerrero

El inventario de colmenas que fueron explotadas en promedio fue de 84,375 por año en el periodo 2010 a 2022. En este periodo hubo una pérdida de 28,525 colmenas a nivel estatal, lo que equivale a un decremento acumulado del 26.6 %, y a una tasa media anual de 2.2 %. En el año 2010 se obtuvo el mayor número de colmenas con 109 065 y en el 2013 el pico más bajo con 77 417 colmenas. Cruzando los datos de número de colmenas entre la producción por tonelada, resulta en una productividad promedio aproximada de 26.3 kk de miel por colmena.

En cuanto a las regiones, la Costa Chica es la más importante, seguida de la Costa Grande, Centro, Norte, Montaña, Acapulco y Tierra Caliente respectivamente. En la costa Chica se ubican los municipios con el mayor número de productores y colmenas como Ometepec, Xochistlahuaca, Cuautepec, San Luis Acatlán y Tecoaanapa (**Tabla I**).

Tabla I. Inventario de colmenas en el Padrón Ganadero Nacional en las siete regiones del estado de Guerrero.

Regiones	*UPP	**Colmenas	Región (%)
Costa Chica	763	38 136	43.2
Costa Grande	321	15 630	17.7
Centro	161	14 917	16.9
Norte	191	8095	9.2
Montaña	292	7542	8.5
Acapulco	76	2575	2.9
Tierra Caliente	31	1385	1.6
Total	1835	88 280	100

*UPP = unidades de producción pecuaria. **Datos obtenidos por el Padrón Ganadero Nacional con datos estatales del año 2022.

Tabla 2. Municipios con el mayor inventario de colmenas.

Municipio	*UPP	**Colmenas	Municipio (%)
Ometepec	242	13 893	15.7
Atoyac de Álvarez	267	13 474	15.3
Xochistlahuaca	129	9908	11.2
Cuautepec	32	6392	7.2
Malinaltepec	158	5318	6.0
Mártir de Cuilapa	17	2095	2.4
Acapulco de Juárez	76	2575	2.9
San Luis Acatlán	71	1776	2.0
General Heliodoro Castillo	15	2753	3.1
Iliatenco	87	1520	1.7
Resto	741	28 576	32.4
Total	1,835	88 280	100

*UPP = unidades de producción pecuaria. **Datos obtenidos por el Padrón Ganadero Nacional con datos estatales del año 2022.

Los 10 municipios con el mayor inventario de colmenas en Guerrero son: Ometepec, Atoyac de Álvarez, Xochistlahuaca, Cuautepec, Malinaltepec, Mártir de Cuilapa, Acapulco de Juárez, San Luis Acatlán, General Heliodoro Castillo e Iliatenco, estos municipios tienen el 68 % de las colmenas del estado (Tabla 2).

Características de la producción apícola en la Costa Chica

Los resultados obtenidos después de analizar las 75 encuestas a los productores de la Costa Chica (Figura 4) se observa que los apicultores tradicionales son los más representados, le siguen los semitecnificados y por último los tecnificados con 37, 35 y 3 respectivamente. El promedio de apiarios por productor es 2.8 con 27.5 colonias por apiario, datos superiores a lo reportado por Contreras-Uc et al. (2018) con 20 colmenas por apíario, en el estado de Jalisco.

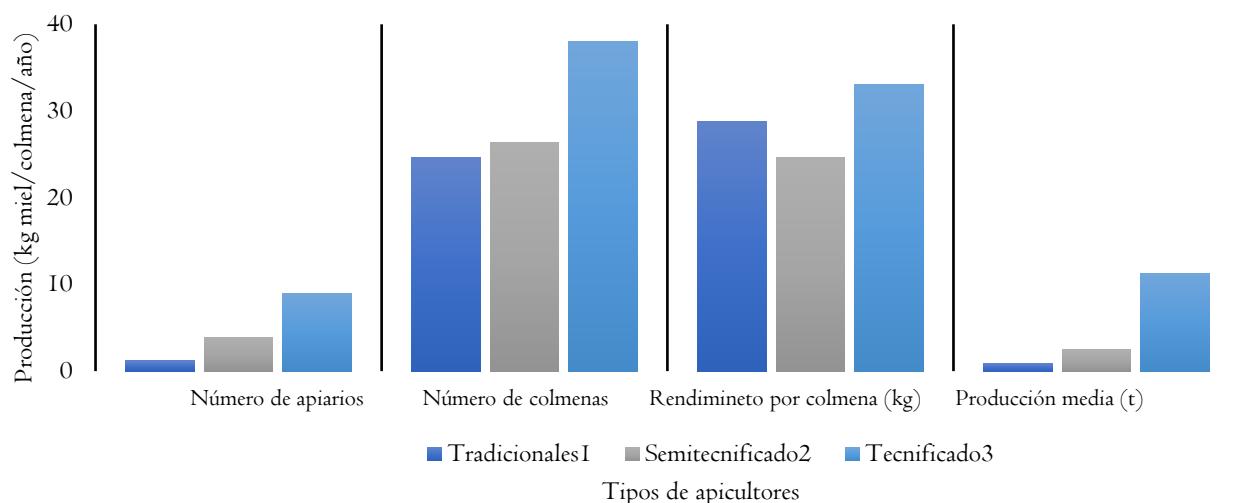


Figura 4. Productividad por tipos de apicultores de la Costa Chica. Número de colmenas por apicultor: I-50¹, 51-200², +200³.

El grupo de apicultores mejor representados son los tradicionales y semitecnificados con el 49 % y 47 %, mientras que los tecnificados tienen el 4 %, el rendimiento de miel anual por grupo se ubica entre 24 kg y 33 kg respectivamente; siendo los tecnificados los que obtienen mayor rendimiento por colmena. Los apicultores tradicionales, priorizan las zonas con menor competencia de abejas y más recursos melíferos, con la finalidad de obtener mayores rendimientos por colmena, por el contrario, los tecnificados, ponderan más la saturación de la zona de pecoreo. Dolores-Mijangos et al. (2017), mencionan que los apicultores semitecnificados son los más numerosos, seguidos de los tradicionales, para la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. En general, los apicultores tecnificados son quienes poseen un mayor número de apiarios y tienen un mejor rendimiento por colmena.

En el estudio encontramos que la media de apiarios por apicultor es de 2.8, valores similares a lo reportado por Martínez-Pérez, Martínez-Puc y Cetral-Ix (2017), en el estado de Campeche, donde reportan un promedio de 2.27 apiarios por apicultor.

Magaña-Magaña et al. (2016) señalan que el rendimiento por colmena en el estado de Guerrero es de 24.8 kg, diferente a lo encontrado en este estudio con una producción promedio de 26.9 kg anual, posiblemente esta diferencia se deba a las consecuencias indirectas de los huracanes que impactaron en el estado previamente, también señala que el estado con un mayor rendimiento por colmena es el estado de Veracruz con 36.6 kg, seguido de Yucatán con 35.6 kg. Sin embargo, Sánchez-Gómez et al. (2022) reportan que en el 2021 el estado de Jalisco ha tenido rendimientos cercanos a los 40 kg, valores superiores a la media nacional, estos valores pueden estar influenciados por el número de empresas exportadoras y por su alta representatividad de apicultores tecnificados.

De las siete regiones geoculturales del estado, la Costa Chica, es la que tiene más producción, con el 43.2 % de lo producido por el estado, esto

puede estar relacionado con la comunidad indígena Amuzga, la cual tiene una larga tradición apícola con abejas nativas, similar a lo que ocurre en el estado de Yucatán (Rosales y Rubio, 2010), que pudieron transitar de manera más experimentada a la abeja *Apis mellifera*.

CONCLUSIONES

A nivel nacional la apicultura tradicional (pequeña escala) es la que tiene mayor número de apicultores. De acuerdo con la revisión de literatura, la apicultura en el estado de Guerrero muestra una tendencia negativa en los últimos 12 años, con una pérdida anual de 3 % en producción de miel. La región geocultural que más aporta a la producción apícola estatal es la Costa Chica con el 43 %, y por el total de municipios del estado (81), en conjunto 10 municipios, aportan el 68 %. El análisis de campo mediante entrevistas en la Costa Chica mostró que el número de apiarios promedio fue de 2.8 por apicultor, cada apiario tiene 27.8 colmenas con una producción por colmena de 26.9 kilos por año en promedio.

REFERENCIAS

- Bulacio, N., Aldea-Sánchez, P., Branchicella, B., Calderón-Fallas, R., Medina-Medina, L., Palacio, M., Velarde, R., Teixeira, E., y Antúnez, K. (2023). Current status of the small hive beetle *Aethina tumida* in Latin America. *Apidologie*, 54, 23. <https://doi.org/10.1007/s13592-023-00995-0>
- Castellanos-Potenciano, B., Gallardo-López, F., Díaz-Padilla, G., Pérez-Vázquez, A., Landeros-Sánchez, C. y Sol-Sánchez, A. (2015). Apiculture in the humid tropics: Socio-economic stratification and beekeeper production technology along the Gulf of Mexico. *Global Journal of Agricultural Economics, Extension and Rural Development*, 3(9), 321-329. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1504_163175

- Castellanos-Potenciano, B., Gallardo-López, F., Díaz-Padilla, G., Pérez-Vázquez, A. y Landeros-Sánchez, C. (2017). Spatio-temporal mobility of apiculture affected by the climate change in the beekeeping of the Gulf of Mexico. *Appl. Ecol. Environ. Res.*, 15(4), 163-175.
- Contreras-Escareño, F., Pérez, B., Echazarreta, C., Cavazos, J., Macías-Macías, J. y Tapia-González, J. (2013). Características y situación actual de la apicultura en las regiones Sur y Sureste de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(3), 387-398.
- Contreras-Uc, L., Magaña-Magaña, A. y Sanginés-García, J. (2018). Características técnicas y socioeconómicas de la apicultura en comunidades mayas del Litoral Centro de Yucatán. *Acta Universitaria*, 28(1), 77-86. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1390>
- Dolores-Mijangos, G., Santiago-Cruz, M., Arana-Coronado, J. y Utrera-Quintana, F. (2017). Estudio del impacto de la actividad apícola en el istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14, 187-203.
- Echazarreta, G., Gutiérrez, V., y Ricalde, G. (2004). *El impacto del huracán Isidoro en la apicultura yucateca*. ECOSUR, UADY. 48 p
- Gallardo-García, M., Herrera, D., y López-Soto, M. (2023). Estudio florístico y de vegetación del cerro del Peregrino, en los municipios de Acapulco de Juárez y Juan R. Escudero, Guerrero, México. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 12(23), 22-52. <https://doi.org/10.23913/ciba.v12i23.117>
- Guzmán-Novoa, E., Morfin, N., De la Mora, A., Macías-Macías, JO., Tapia-González, JM., Contreras-Escareño, F., Medina-Flores, CA., Correa-Benítez, A., y Quezada-Euán, J. (2020) The process and outcome of the africanization of honey bees in México: lessons and future directions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 404. DOI: 10.3389/fevo.2020.608091.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación, las rutas cuantitativa cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill.
- Hernández-Cuevas, F., Becerril, J., y López, M. (2019). El trabajo verde agropecuario y su contribución al ingreso de los hogares rurales de Yucatán, México. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*, 4(7), 79-112.
- Insuasty-Santacruz, E., Martínez-Benavides, J. y Jurado-Gámez, H. (2016). Identificación de flora y análisis nutricional de miel de abeja para la producción apícola. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 37-44. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)37-44](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)37-44)
- Magaña-Magaña, M., Sanginés-García, J., Lara-Lara, P., Salazar-Barrientos, L. y Leyva-Morales, C. (2017). Competitividad y participación de la miel mexicana en el mercado mundial. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 43-52 <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4304>
- Magaña-Magaña, M., Tavera-Cortés, M., Salazar-Barrientos, L. y Sanginés-García, J. (2016). Productividad de la apicultura en México y su impacto sobre la rentabilidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1103-1115.
- Martin-Culma, N. y Arenas-Suarez, N. (2018). Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*, 14(1), 232-240.
- Martínez-Austria, P.F., Díaz-Delgado, C., Moeller-Chavez, G. (2019). Water security in Mexico: general diagnosis and main challenges. *Revista Ingeniería del Agua*, 23(2), 107-121. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10502>
- Martínez-Pérez, A., Martínez-Puc, J. y Cetzel-Ix, W. (2017). *Apicultura: manejo, nutrición, sanidad y flora apícola*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Campeche. 112 p.
- Morales-Saldaña, S., Martínez-Ambriz, M. y Valencia-Ávalos. (2015). Estudio florístico y de la vegetación del municipio de Buenavista de Cuéllar, Guerrero, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 73-95.

- Neira, J. (2021). Estudio documental sobre la aplicación del Internet de las cosas en procesos agrícolas enfocado a la apicultura Colombiana. *Revista Sinapsis*, 1(19). DOI: <https://doi.org/10.37117/s.v19i1.438>
- Pat-Fernández, L., Romero-Durán, H., Anguebes-Franceschi, F. y Pat-Fernández, J. (2020). Eficiencia económica y organización de la cadena productiva de miel en Campeche, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17, 71-90. <https://doi.org/10.22231/asyd.v17i1.1323>
- Ramos-Cuellar, A., De la Mora, A., Contreras-Escareño, F., Morfin, N., Tapia-González, J., Macías-Macías, J., Petukhova, T., Correa-Benítez, A., y Guzmán-Novoa, E. (2023). Efectos altitudinales en la africanización de las colonias de abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) en Jalisco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(3), e3457. DOI: 10.19136/era.a10n3.3457
- Rosales, G.M. y Rubio, H.A. (2010). Apicultura y organizaciones de apicultores entre los mayas de Yucatán. *Estudios de Cultura Maya*, 35, 163-186.
- Roth, M., Wilson, J., Tignor, K. and Gross, A. (2020). Biology and Management of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) Colonies, *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmz036>
- Sánchez-Gómez, J., Vázquez-Alfaro, M., Alaníz-Gutiérrez, L., González-Álvarez, V. y Saavedra-Jiménez, L. (2022). Características y necesidades tecnológicas de los apicultores de la región centro-sur de Jalisco. *Acta Universitaria*, 32, e3493. <https://doi.org/10.15174/au.2022.349>
- Secretaría de Desarrollo Rural (SADER). (2022). *La apicultura en México*. Nota informativa. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/1-a-apicultura-en-Mexico>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2021). Base de datos de SIACON. México, DF <https://nube.siap.gob.mx/index.php/s/>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). Anuario estadístico de la producción ganadera 2022 en México. *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. México, D.F. <https://nube.siap.gob.mx/cierre pecuario/>
- Sosenski, P. y Domínguez, C. (2018). El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(3), 961-970.

LA DIFÍCIL TAREA DE LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD: RESERVA DE LA BIOSFERA ISLAS MARÍAS

THE DIFFICULT TASK OF THE CONSERVATION OF BIODIVERSITY: ISLAS MARÍAS BIOSPHERE RESERVE

§Santana Navarro Olmedo 

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tlaxiaco, Boulevard Tecnológico Km. 2.5, Llano Yosovee C.P. 69800. Tel. (953) 5520405. §Autor de correspondencia: (sanavarro@ecosur.edu.mx).

RESUMEN

El Archipiélago de las Islas Marías alberga importante flora y fauna endémica del Pacífico Tropical Mexicano. También, alojó por más de un siglo una de las colonias penales más antiguas del mundo. Su reciente cierre como complejo penitenciario (2019) y apertura al turismo ambiental representan un reto de cambio de paradigma para el imaginario del mundo penitenciario. El objetivo de la investigación fue documentar cómo la carga histórica de control y segregación social en la antigua cárcel de Islas Marías se traduce actualmente en problemáticas y retos concretos para realizar acciones de conservación de los ecosistemas terrestre y marinos por parte de los funcionarios públicos responsables de la protección del medio ambiente. Se realizó trabajo etnográfico que incluyó 12 entrevistas a profundidad y dos talleres de percepción de la fauna, y se analizaron las actividades y acciones desarrolladas en la Reserva de la Biosfera Islas Marías. Los resultados indicaron que las actividades realizadas por los funcionarios públicos carecen de una orientación a la conservación de la biodiversidad, lo cual se ve reflejada en las tareas de acompañamiento turístico que ocupan el mayor tiempo de las actividades del personal de la reserva. Se concluye que las representaciones del archipiélago como antiguo espacio penitenciario sigue desempeñando un papel preponderante en las actividades turísticas, lo cual tiene efectos negativos para la conservación de la biodiversidad en la Reserva de la Biosfera Islas Marías.

Palabras clave: colonia penal, percepciones, recursos naturales, turismo.

ABSTRACT

The Marías Islands Archipelago is home to important flora and fauna endemic to the Mexican Tropical Pacific. It also housed one of the oldest penal colonies in the world for more than a century. Its recent closure as a prison complex (2019) and opening to environmental tourism represent a paradigm shift challenge for the imaginary of the prison world. The objective of the research was to document how the historical burden of control and social segregation in the old Isla Marías prison currently translates into specific problems and challenges for carrying out conservation actions for terrestrial and marine ecosystems by public officials responsible for the environmental protection. Ethnographic work was carried out that included 12 in-depth interviews and two fauna perception workshops, and the activities and actions developed in the Islas Marías Biosphere Reserve were analyzed. The results indicated that the activities carried out by public officials lack an orientation towards the conservation of biodiversity, which is reflected in the tourist accompaniment tasks that occupy the greatest time of the activities of the reserve staff. It is concluded that the representations of the archipelago as a former penitentiary space continue to play a predominant role in tourist activities, which has negative effects on the conservation of biodiversity in the Islas Marías Biosphere Reserve.

Index words: penal colony, perceptions, natural resources, tourism.

INTRODUCCIÓN

En México, durante el presente sexenio que está por concluir, se han desarrollado diversos proyectos estratégicos presidenciales. Uno de ellos, es el llamado Proyecto Integral Islas Marías, inaugurado en diciembre de 2022 con el propósito de formar a jóvenes en temas de conservación ambiental y defensa del territorio, así como abrir la Isla María Madre al turismo ecológico (Gobierno de México, 2021).

Tras el cierre de la antigua colonia penal federal en marzo de 2019, el gobierno actual busca modificar el significado histórico de un espacio caracterizado por la represión, el temor y el destierro de los delincuentes (Madrid-Mulia y Barrón-Cruz, 2002; Malo-Camacho, 1985; Navarrete, 1965) para dar paso a una nueva percepción, asociada a la protección y conservación ambiental (CONANP, 2022; Garduño, 2021), lo cual ha representado un reto de la política gubernamental desde la declaración del archipiélago de Islas Marías como Reserva de la Biosfera en el año 2000 (DOF, 2000).

Este cambio de paradigma es relevante porque la presencia de las Islas Marías en la literatura sobre conservación de la biodiversidad y cultura ambiental insular está ausente o se ha invisibilizado, debido a las restricciones que por décadas (1905-2019) estableció la colonia penal para la investigación científica (Aguirre-Muños et al., 2020; Tholan et al., 2020). Predominan en la literatura los estudios históricos de la colonia penal (Guzmán, 2015; Piña y Palacios, 1970; Bojórquez, 1937), las condiciones de vida de hombres y mujeres reclusas y la cultura carcelaria (Pulido-Estreva, 2020; Avilés-Quevedo, 2019; Álvarez-Licona, 1998; Meléndez, 1960).

Basta recorrer las distintas narrativas sobre cómo se ha construido la idea de la actual Reserva de la Biosfera Islas Marías (RBIM), la cual ha sido,

y sigue siendo, una compleja red de diversos testimonios, informes y estudios de académicos, periodistas, escritores, visitantes y expresionistas, que muestran múltiples representaciones de las condiciones de vida, sociabilidad y una cultura jurídica de control social de la población recluida que recrean imágenes de escenas crudas de trabajo extenuantes y maltratos, epidemias de escorbuto y paludismo, aislamiento, inclemencias climáticas, olvido y destierro de aquellos primeros relegados: rateros, vagos, malvivientes y comunistas que vivieron en la excolonia penal de Islas Marías de principios del siglo XX (Pulido-Estreva, 2017; Avilés-Quevedo y Barrón-Cruz, 2016; Picatto, 2010; Gregor-Campuzano, 2002; Revueltas, 1978).

Solo recientemente ha resurgido el interés por la biodiversidad de las islas marías. Su excepcional fuente de biodiversidad y endemismo de diversas especies de flora y fauna las han puesto en la agenda de investigadores y organizaciones ambientalistas (González-Jaramillo et al., 2022; Ramírez-Silva et al., 2021). Destacan por su importancia los hallazgos sobre nuevos registros de ciempiés (*Scolopendra polymorpha*) (Flores-Guerrero et al., 2018) y hormigas (*Hymenoptera: Formicidae*) (Cupul-Magaña y Vásquez-Bolaños, 2019), respectivamente. Así como el registro de dos anfibios en la Isla María Cleofas (*Smilisca baudinii* y *Eleutherodactylus pallidus*), y el reporte de un individuo *Rhadinaea hesperia* como parte de la herpetofauna insular de Nayarit (Nolasco-Luna et al., 2022; Nolasco-Luna et al., 2016). Los estudios sobre biodiversidad de peses revelan como las comunidades de peses están asociadas a mayores cantidades de rocas en el hecho marino (Tholan et al., 2020).

Otros estudios han registrado una nueva especie de gecko (*Phyllodactyidae, Phyllodactylus*) endémico insular (Ramírez-Reyes et al., 2021). Los estudios de Hart (2021) sobre tortugas marinas en islas marías muestran eventos de anidación de *Chelonia mydas* y *Lepidochelys olivacea* en prácticamente todas playas arenosas de la reserva, así como avistamientos de la tortuga

carey (*Eretmochelys imbricata*), lo cual es un indicador del buen estado de conservación del área natural (Herzka et al., 2020). También destacan los estudios geológicos desarrollados por Pompa-Mera et al. (2013) en el archipiélago por ser los primeros en describir la evidencia de la actividad volcánica, así como los trabajos de Núñez et al. (2021) sobre la evolución tectónica en el Pacífico mexicano. Ambos trabajos aportan importantes evidencias para explicar los procesos ecológicos evolutivos en las plantas endémicas de las islas (Stuessy, 2020).

En este estudio examinamos cómo los distintos actores que confluyen en la RBIM contribuyen a alimentar el imaginario de significados históricos del antiguo penal, lo cual contribuye a la invisibilidad de un espacio de gran biodiversidad y conservación de recursos naturales. El objetivo fue documentar cómo esta carga histórica de control social y segregación de la antigua colonia penal se traduce en problemáticas y retos concretos para llevar a cabo prácticas de conservación de los ecosistemas terrestre y marinos.

DESARROLLO

Antecedentes

Los primeros intentos de establecer las colonias penales en México datan de la segunda mitad del siglo XIX (Pulido-Esteva, 2017; Avilés, 2020). Sin embargo, el modelo de colonia penal insular surgió en Europa durante los siglos XVIII y principios del XIX (Avilés, 2020). Inglaterra, creó este modelo de colonia penal insular bajo el instrumento jurídico de la pena de deportación para desahogar hacia lugares lejanos las conglomeradas cárceles de criminales y enfermos de tifus; mientras que Francia justificó la deportación como una forma de colonizar sus territorios insulares, en tanto que España llevó a cabo su proyecto de colonización Ultramarina bajo la pena de relegación perpetua y temporal, con la cual trato de aislar a los delincuentes de la sociedad, al tiempo que buscó a provechar los recursos insulares en su dominio colonial (Avilés, 2020). Estos modelos y experiencias en Europa tuvieron gran influencia en los primeros Códigos

Penales y proyectos de colonias insulares en América Latina. En México, la relegación aparece vinculada a políticas represivas hacia los rateros y la creación de la primera colonia penal en las Islas Marías en 1905 durante el gobierno de Porfirio Díaz (Picatto, 2010; Pulido-Esteva, 2017).

En estos primeros años del siglo XX la pena de relegación se convirtió en un instrumento para inventar rateros y liberar las ciudades de delincuentes que eran transportados desde la ciudad de México a la colonia penal de Islas Marías (Picatto, 2010). La pena de relegación fue utilizada no solo para limpiar las calles de aquellos sectores considerados por las élites como amenazas contra la seguridad: vagos, rateros, malvivientes, traficantes y disidentes políticos que integraban las columnas de colonos, sino que, además, estigmatizó entornos sociales y espacios de sociabilidad como pulquerías, barrios y colonias populares, correccionales, así como todos a aquellos entornos susceptibles de supuesta generación de criminales (Pulido-Esteva, 2017).

Esta galería de presidiarios que habitaron las Islas Marías y la percepción de segregación social pronto se convirtió en el cimiento que dio identidad a la colonia penal del Pacífico como un espacio de temor y destierro de sujetos considerados como improductivos (Avilés, 2020; Pulido-Esteva, 2017). Esta atmósfera social que se conformó alrededor de la colonia penal de Islas Marías llamó interés de periodistas y visitantes que alimentaron el mar de representaciones discusivas al describir las formas de vida dentro de la colonia como un espacio atemorizante evocadas en epígrafes como la “Tumba del Pacífico” o la “Isla del hampa” (Pulido-Esteva, 2017). Cabe mencionar que estas representaciones de las Islas Marías han predominado al parecer en el imaginario de la sociedad mexicana sobre un espacio de biodiversidad y de contenido evolutivo invaluable para la ciencia.

Encuentros con la naturaleza de Islas Marías

De acuerdo con la cronología de estudios científicos de García-Aldrete (1986), las primeras

observaciones científicas de fauna marina en las Islas Marías fueron registradas en 1703 por el botánico inglés William Dampier, quien registró avistamientos de focas en las cercanías de las islas, así como del ornitólogo estadounidense Andrew Jackson Grayson, quien realizó diversos estudios durante 1865-1867 de la geografía física e historia natural de Islas Marías. Madrid-Mulia (2016), destaca los estudios de Overlan (1872) y Nelson

(1899) sobre historia natural y reptiles de las Islas Marías, respectivamente. Sin embargo, el trabajo de García-Aldrete (1986) resume de manera relevante el interés científico de las Islas Marías, y cómo a lo largo del tiempo (1703 a 1985), 282 años, las distintas instituciones e investigadores han generado una fuente significativa de información que aquí reproducimos por su importancia ecológica (**Tabla I**).

Tabla 1. Trabajos biológicos en las Islas Marías, Nayarit.

Institución e/o investigadores	Año	Fechas	Actividad
Dampier	1730	...	Registro de primeras observaciones biológicas en las islas. Indicación de presencia de focas.
Grayson	1865-1867	...	Estudio sobre la geografía física e historia natural de las islas. Colecta de aves, observaciones sobre reptiles. Colecta de aves y reptiles para el Museo Británico.
Forrer	1881	...	Colecta de insectos, registrados en la Bilogía Centrali Americana.
Nelson, Goldman, Hernick & Maltby	1897	2-30 de mayo	Estudio y colecta de mamíferos, aves, reptiles, crustáceos y plantas.
California Academy of Sciences	1925	13-24 de mayo	Colecta de aves, reptiles, anfibios y fósiles diversos.
Mclellan (CAS.)	1925	21-26 de octubre	Colecta de aves.
Colbum	1926	Noviembre	Colecta de aves.
Heilfurth	1930	25 de mayo-22 de junio	Estudio y colecta de aves
Burth, Willet & Pemberton	1938	9-12 de febrero	Colecta de aves.
los Angeles County Museum, Stager	1955	20 de abril-1º de mayo	Estudio y colecta de aves.
American Museum of Natural History (Expedición del 'Puritan')	1957	23 de marzo-7 de abril	Estudio y colecta de mamíferos, reptiles y anfibios, así como de diversos grupos de invertebrados, fósiles y recientes.
University of British Columbia, Grant & Cowan	1957	29 de marzo-3 de abril	
	1958	1-26 de febrero	
	1959	20 de febrero-5 de abril (fechas discontinuas)	
	1960	23 de febrero-4 de marzo	
	1961	23 de febrero-25 de marzo 6-12 de marzo	Colecta y estudio de peces y aves.
	1962	23-30 de junio	
	1963	28 de julio- 1º de agosto 18-19 de marzo 21-27 de abril 19-26 de junio	
Dirección General de la Flora y Fauna Silvestre México y Fish and Wildlife Service E.U. de N.A., Wilson, Scott.	1976	6-27 de marzo	Estudios y colectas de mamíferos, reptiles y anfibios, así como observaciones sobre cambios faunísticos en las islas.

Geluso, Robbins y Huerta				
Universidad de Nuevo León	1979	26 de octubre-3 de noviembre	Estudio y colecta de aves y mamíferos.	
Dirección General de la Flora y Fauna Silvestre	1980-1984	I-20 días cada año	Estudio de las aves de las islas.	
Instituto Ecología, A.C.	1982	Mayo	Estudio prospectivo para establecer un área de reserva ecológica en las islas.	
Konrad	1984	2 de mayo-13 de abril	Estudio faunístico de las aves de las islas. Censo y estatus de las dos especies de pericos: <i>Amazona oratrix</i> subsp. <i>tresmariae</i> y <i>Forpus cyanopygius insularis</i> así como observaciones varias sobre historia natural de las islas.	
Instituto de Biología, U.N.A.M. García Aldrete	1984	26-30 de marzo	Colecta general de insectos; estudio de Psocóptera de María Madre y San Juanito	
Secretaría de Marina, Toral, Silvia	1985		Muestreo prospectivo de los crustáceos de María Madre.	

Fuente: García-Aldrete (1986).

Cabe señalar que al tiempo que se generaba un interés científico por las Islas Marías, también llamaron la atención de compañías pesqueras y madereras, quienes veían en las Islas una fuente considerable de recursos naturales susceptibles de ser explotados (Guzmán, 2015). Pulido-Esteva (2017), mencionan que los primeros intentos de explotación de los recursos naturales de las Islas Marías se dieron a mediados del siglo XIX, a través de solicitudes de arrendamiento al gobierno por compañías pesqueras interesadas en la extracción de la concha perla, así como, de aventureros que buscaban comercializar sus productos en las solitarias costas mexicanas instalando campamentos en las Islas Marías.

Tras fracasar los intentos de extracción de recursos naturales por particulares, el gobierno de Benito Juárez ordenó dar en propiedad el archipiélago de Islas Marías al general José López Uruaga para crear una colonia penal, la cual no se concretó ante la invasión francesa a México, sin embargo, años más tarde el general Uruaga decide vender las Islas al señor Carpén a quien abrió brechas para extraer la madera y otros recursos naturales, al grado que el gobierno instaló una sección aduanal en Isla María Madre (Pulido-Esteva, 2017). Con la muerte del señor Carpén su esposa decide vender las islas Marías al gobierno

de Porfirio Díaz, quien crea en 1905 una colonia penal (Avilés, 2020). Durante su existencia como penitenciaría insular (1905-2019) se crearon áreas agrícolas y ganaderas, una granja camaronera y se explotaron recursos como la sal, madera, henequén y leña de la Isla María Madre (Madrid-Mulia, 2016).

Particularmente, la extracción de maderas duras como el guayacán o el palo prieto fueron utilizados por los colonos para la construcción de muebles, puentes de caminos y hasta una figura de Tiburón como símbolo de temor, el cual se convirtió en el monumento emblemático de Balleto. En Isla San Juanito, se establecieron campamentos temporales para el cultivo y corte de henequén, el cual era industrializado en Isla María Madre (Vázquez-Hurtado y Avilés-Quevedo, 2016). En 2019, la penitenciaría de Islas Marías fue cerrada por el presidente Andrés Manuel López Obrador para crear el Centro de Educación Ambiental y Cultural “Muros de Agua José Revueltas” y Conservar el Archipiélago como Área Natural Protegida (ANP), así como abrir la Isla María Madre al turismo de conservación (Gobierno de México, 2021).

Además de este interés científico y de explotación de los recursos naturales de las Islas

Marías, los reos establecieron una importante interacción con la fauna y flora terrestre y marina del lugar. Su acercamiento cotidiano con la biodiversidad de la Isla María Madre ha quedado de manifiesto en escritos de quienes estuvieron presos en el lugar (Pulido-Esteve, 2017). Revueltas (1978), por ejemplo, describe cómo la fauna se comercializaba entre los delincuentes más peligrosos como un símbolo de hombría y prestigio. Otras descripciones muestran las percepciones que se tenía de las especies más emblemáticas del archipiélago, y otras más, revelan imágenes de escenas crudas del trabajo en el corte de la madera entretejidas con la admiración y la belleza de la naturaleza de aquellos presos que cotidianamente acudían a la selva tropical seca de la Isla María Madre. Vázquez-Hurtado y Avilés-Quevedo (2016), mencionan que durante los años de 1960 a 1970 los colonos extraían diversas especies de tiburón, tortugas, crustáceos y peces de las costas de Isla María Madre para la planta pesquera que pertenecía a la Secretaría de Industria y Comercio.

Sin duda estos encuentros con la biodiversidad marina y terrestre revelan la riqueza biológica y de recursos naturales de Islas Marías, no obstante, la copiosa representación del mundo penitenciario al parecer ha predominado en el imaginario social de los viajeros a las Islas Marías.

Área de estudio

El archipiélago de Islas Marías se localiza en el Pacífico Tropical Mexicano, a 116 km de Punta Mita, Bahía de Banderas, Jalisco (región continental más cercana), 132 km de San Blas, Nayarit, y 176 km de Mazatlán, Sinaloa (**Figura I**). Jurisdiccionalmente el archipiélago pertenece al estado de Nayarit. Fue declarado Reserva de la Biosfera en 2010 con una superficie de 641,284 ha, integrada por cuatro Islas (Isla María Madre, Isla María Magdalena, Isla María Cleofas y San Juanito). Sus ecosistemas más representativos son la selva seca (baja caducifolia y selva mediana subperennifolia) con altitudes entre 616 m y 700 m; presenta dunas costeras a lo largo del litoral y manglar, así como importantes áreas arrecifales y medio marino pelágico (García-Aldrete, 1986; DOF, 2000).

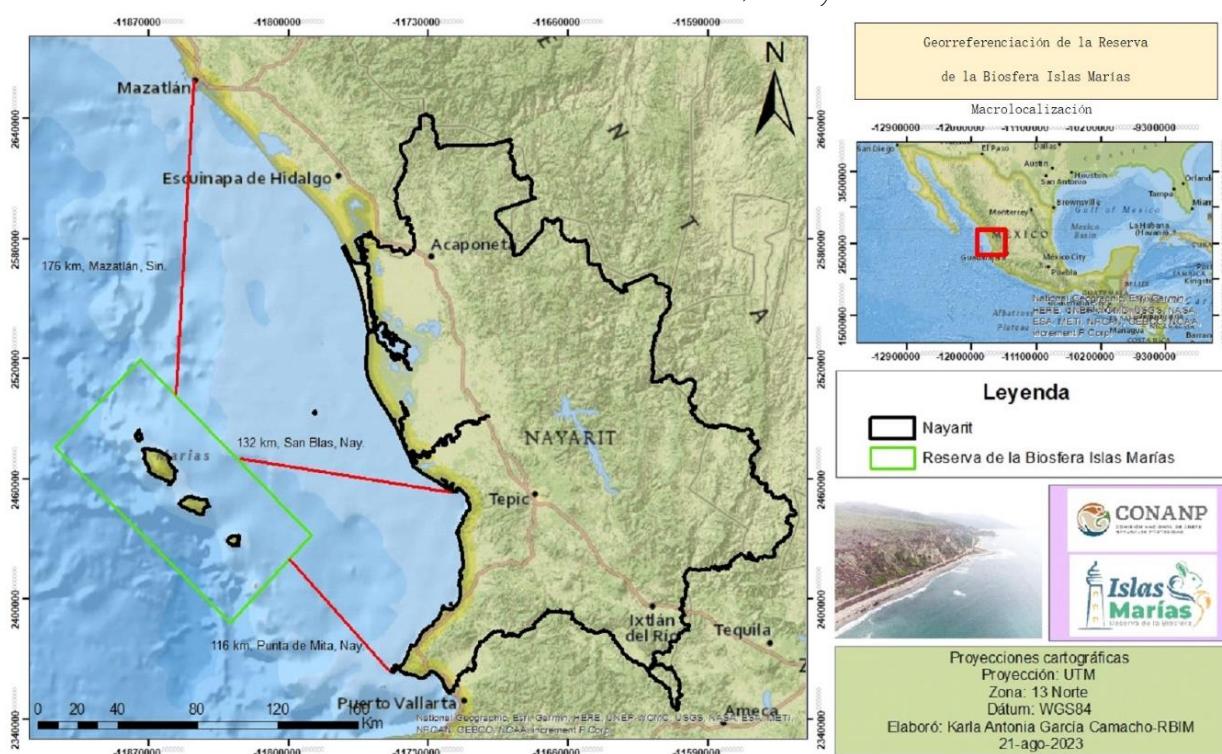


Figura I. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Islas Marías. Fuente: CONANP.

La RBIM es una importante área para la conservación de aves por su endemismo. Concentra una considerable biodiversidad marina y terrestre reconocidas por la NOM-059-SEMARNAT-2001 en alguna categoría de riesgo de extinción, incluyendo 17 especies endémicas como el loro de cabeza amarilla de las tres Marías (*Amazona oratrix tresmariae*), el mapache de las tres Marías (*Procyon insularis*), y el conejo de las tres Marías (*Sylvilagus graysoni*) (DOF, 2000; CONANP, 2022). De acuerdo con datos registrados en mayo de 2023 por la estación meteorológica instalada en la Isla María Madre, la temperatura máxima registrada fue de 37.8 °C y los niveles de evaporación alcanzaron 8.3 mm³ (CONANP, 2023a). Cabe resaltar que por su ubicación en el Pacífico Tropical la RBIM es proclive a huracanes y tormentas tropicales que han causado importantes daños a la infraestructura en la zona urbana de Puerto Balleto en isla María Madre. De las cuatro Islas que integran el archipiélago, Isla María Madre es la más grande y la única habitada, donde se crearon diversos campamentos penitenciarios durante la colonia penal. Estos campamentos (Balleto, Nayarit,

Bugambilias, Laguna del Toro, Papelillo, Rehilete, Aserradero, Hospital, Camarón, Morelos y Zacatal), -la mayoría abandonados-, están comunicados por una carretera perimetral de terracería (Figura 2). Actualmente, en el antiguo campamento de Morelos se encuentra asentado el Sector Naval de la Secretaría de Marina (SEMAR) encargada de la protección y vigilancia del lugar; mientras que Puerto Balleto, es el sitio de asentamientos humanos donde se ubica el muelle que recibe a turistas y personal de las dependencias gubernamentales.

La zona urbana de Puerto Balleto cuenta con pozos profundos para la obtención de agua dulce y concentra la mayor infraestructura de toda la isla: áreas habitacionales para el turismo y personal gubernamental. En Balleto, se ubican distintas dependencias gubernamentales como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Estación Naval de Búsqueda, Rescate y Vigilancia Marítima (ENSAR) de la SEMAR y la Unidad de Gubernatura (DOF, 2021).

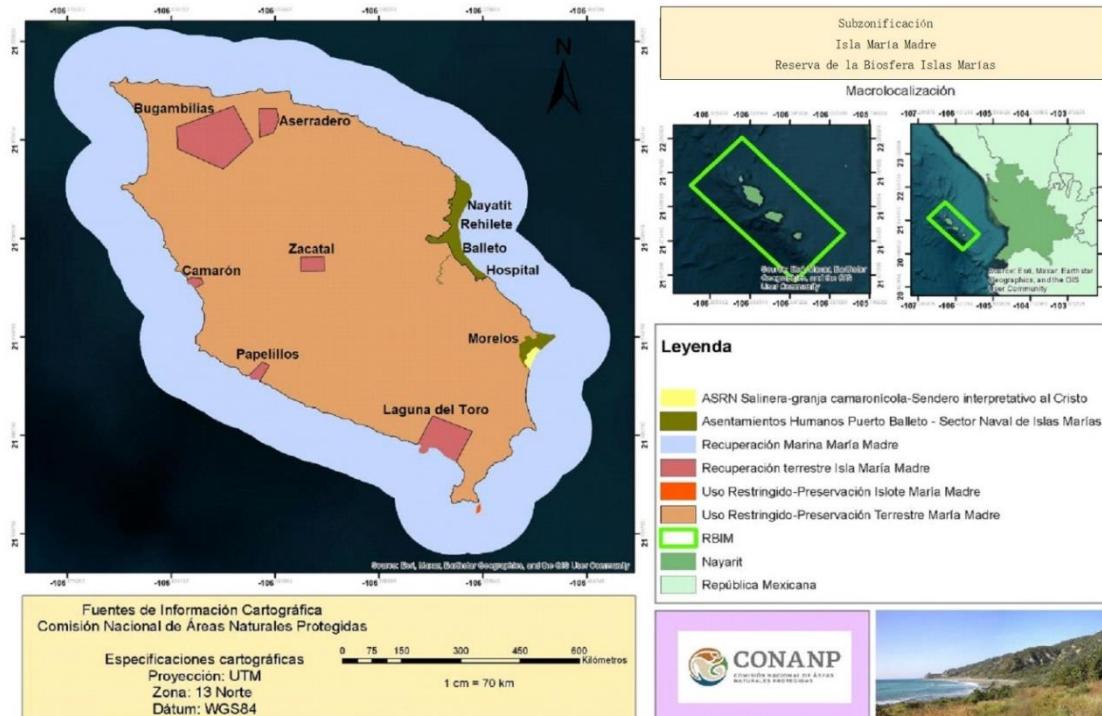


Figura 2. Subzonificación Isla María Madre. Fuente: CONANP.

En Isla María Madre también opera la empresa estatal Turística Integral Islas Marías (TURIIMAR) a cargo de la Secretaría de Marina y responsable de brindar los servicios turísticos considerados de bajo impacto ambiental y coordinada por la Unidad de Gobernatura quien es el encargado de administrar los servicios turísticos del lugar (Murillo, 2022). Paralelamente, en Isla María Madre trabaja personal de empresas contratadas por la Secretaría de Marina para realizar trabajos de limpieza y mantenimiento de la infraestructura. Isla María Madre, concentra una población flotante de alrededor de 150 personas y hasta poco más de 500 entre visitantes y personal gubernamental en días de turismo (CONANP, 2023b).

Metodología

El método de trabajo desarrollado se basó en la etnográfica (Taylor y Bogdan, 1987; Hammersley y Atkinson, 1994), que incluye entrevistas a profundidad y observación participante. La recolección de datos se realizó durante los meses de febrero a julio de 2023. Se entrevistaron a 12 personas de la CONANP, por ser quienes tienen a su cargo las actividades operativas en la *RBIM*. Las entrevistas a profundidad (aproximadamente 18 horas grabadas) se transcribieron y sistematizaron para su análisis, arrojando información sobre sus responsabilidades y cómo se organiza el trabajo de la CONANP para atender tareas de conservación y protección del ambiente. Además, se obtuvo información sobre antecedentes de las prácticas y acciones de conservación posterior al cierre del complejo penitenciario en 2019.

Las entrevistas se realizaron a manera de binomios debido a las formas en que se organiza el personal que trabaja en la Isla para atender las diversas actividades de conservación y descansos laborales. La observación participante en las tareas que lleva a cabo el personal de la CONANP fueron una fuente de información (Delgado y Gutiérrez, 1995) para conocer las estrategias de manejo, y cómo se atienden las problemáticas de conservación. El análisis se complementó con

informes mensuales del personal de la CONANP y documentos oficiales (solicitudes de Gobernatura, minutos de trabajo, oficios, entre otros). Además, se efectuaron dos talleres con personal flotante de la Secretaría de Marina y la Unidad de Gobernatura para conocer la percepción frente a la fauna endémica (Ceballos Magón y Chivers, 2010) que habita la zona urbana de Puerto Balleto. En el primer taller participaron 40 personas, mientras que en el segundo taller se tuvo una asistencia de 42 participantes.

Durante los talleres se pidió a los asistentes anotar el nombre de una especie con la cual han interaccionado, y describir la idea que poseen de ella (especie) en el ANP. La información obtenida en estos talleres se sistematizó y se clasificó por especie para su análisis comparativo con los niveles de atropellamientos que se presentan en la zona urbana. También, durante los días del 10 al 13 de junio de 2023 se acompañó al personal de la CONANP a un recorrido de campo en las Islas San Juanito y María Cleofas como parte de las acciones de manejo y conservación que realiza trimestralmente la reserva. Los recorridos se llevaron a cabo sobre la línea costera de San Juanito y María Cleofas.

La difícil tarea de la conservación

De acuerdo con la estructura de responsabilidades al interior de la *RBIM*, está se integrada por un director del área natural protegida; un jefe de departamento operativo; un jefe de departamento administrativo y ocho enlaces de alto nivel de responsabilidad. Los enlaces tienen a cargo las siguientes tareas: un responsable para actividades de monitoreo terrestre que incluye: avistamiento de aves y manejo de fauna terrestre; un responsable de monitoreo marino que incluye: vigilancia, manejo de fauna marina y fomento a la investigación; un responsable de bioseguridad y seguimiento del Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST) que incluye: un protocolo para evitar la introducción de especies de flora y fauna continental.

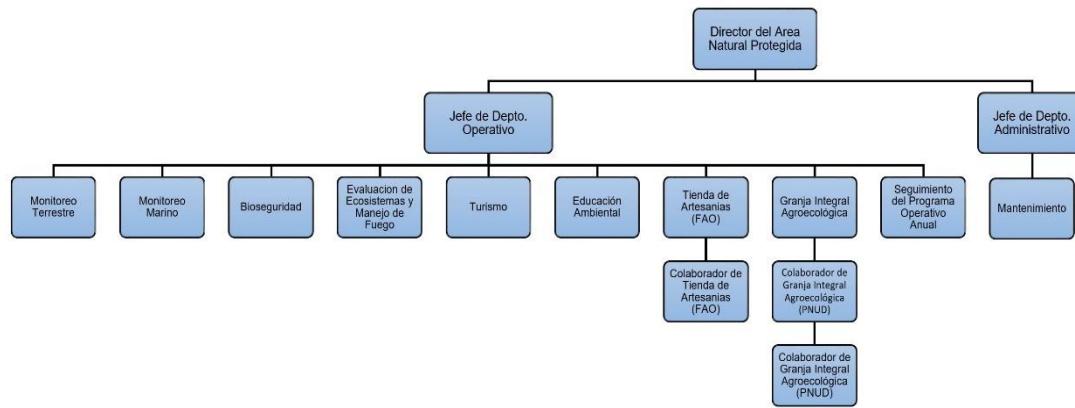


Figura 3. Estructura de responsabilidades de la Reserva de la Biosfera Islas Marías. Fuente: Elaboración propia a partir de información de campo.

Un responsable de evaluación de ecosistemas, manejo del fuego y protección civil; un responsable de acompañamiento al turismo que incluye: control de brazaletes y capacitación a los prestadores de servicios turísticos; un responsable de Educación Ambiental y seguimiento del Programa Educativo Guardianas y Guardianes del Territorio; un responsable de la Granja Integral Agroecológica (GIA) con dos colaboradores adscritos al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); un responsable de seguimiento de la agenda del director; dos colaboradores encargados de la tienda de artesanías adscritos a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y un responsable de mantenimiento. En la siguiente imagen (**Figura 3**) se observa la cadena de mando y la asignación de responsabilidades (tareas) del personal de la CONANP.

Durante el trabajo de campo se observó que el personal de la CONANP está organizado en binomios con el propósito de combinar descansos y trabajo en Isla, de forma que cuando uno de los integrantes se encuentre ausente su binomio pueda cubrir las tareas de su compañero. El personal debe cumplir al menos un mes de estancia en Isla María Madre, y dos semanas de descanso en continente. En este período de estancia en la isla, se programa cada semana las actividades y se asignan responsables para dar acompañamiento a los

grupos de turistas que proviene de Mazatlán, Sinaloa y San Blas, Nayarit. Cabe señalar que este acompañamiento a los sitios de acceso al turismo tiene la función de vigilancia y no de guía de turistas, tarea más bien a cargo de los Protectores de la Biosfera quienes son elementos de la SEMAR.

En los recorridos a los sitios turísticos el personal de la CONANP realiza intervenciones de tipo prohibitivas ante la extracción de coral muerto, alimentación de la fauna y utilización de drones o cámaras de video por parte de los visitantes, entre otras. Se identificó que durante los meses de abril y mayo el número de personal en la isla fue de 10 elementos, mientras que los meses de junio y julio solo fue de 5 elementos. Esta situación sugiere que hay un desequilibrio en el calendario de estancias en isla y descansos en continente. Se observó que aun cuando el número de personal era considerable en la Isla, la mayor parte tiempo y de sus actividades eran dedicadas al acompañamiento del turismo y no propias a las tareas de conservación y manejo de la biodiversidad. En consecuencia, cuando el personal disminuía en la Isla, las tareas de conservación eran prácticamente nulas.

Por otra parte, la información de las entrevistas reveló que la mayoría del personal de enlace carecía de un plan sistemático de trabajo que permitiera

atender problemáticas como la pesca furtiva y la depredación natural de huevos de tortuga; la introducción de fauna exótica (gatos, chivos, vacas y caballos) que afectan la vegetación endémica. Particularmente, en el caso de los gatos que se alimentan de aves endémicas la *RBIM* carece de un plan de atención para tal problemática. Además de que los esfuerzos realizados a través del Programa para Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST), no ha tenido continuidad para eliminar especies exóticas como la cabra y los gatos.

En el caso de la granja integral agroecológica, se observó la falta de un plan de colecta de semillas para la reforestación y la ausencia de material vegetativo en el vivero. Se identificó que la *RBIM* carece de un banco de datos de investigaciones de universidades u organizaciones ambientalistas llevadas a cabo en años recientes en el archipiélago, además, de que no existe un plan extracción de aceites usados y chatarra en la isla María Madre (Del Parado-Gasca et al., 2006), todo lo cual podría explicar porque la mayoría de las actividades que realizan el personal de la CONANP se centran en el turismo y no en la conservación de la biodiversidad del área natural protegida.

Al revisar las metas y actividades registradas en el Programa Operativo Anual (POA) de la *RBIM*, se encontró que éstas se hallaban aisladas de las acciones que realiza el personal en la isla debido a que se carece de un plan sistemático de trabajo en cada una de las tareas asignadas para la conservación ambiental. Se detectó que cuando se acercaba la fecha de entrega de avances del POA, el personal se apresuraba a realizar algún recorrido o acción que pueda justificar avances de las actividades. En particular, las investigaciones que realizan académicos de otras instituciones en las Islas Marías suelen ser utilizados por el personal de la CONANP como evidencias de los avances de monitoreo terrestre o marino en la reserva.

Adicionalmente, se registró cómo el personal de la CONANP dedica parte de sus actividades a

realiza tareas de limpieza de oficinas y cuartos de alojamiento, actividades de bioseguridad, deshierbe de vivero y reparación de alambrado perimetral en la granja agroecológica, lavado de autos, entre otras que surgen cotidianamente, lo cual refuerza la idea de la ausencia de un trabajo institucional orientado a la conservación de la biodiversidad.

También se documentó diversos casos en que eran solicitando el personal de la CONANP para atender fauna herida en la zona urbana de Balleto y Morelos. Sin embargo, el personal que acudía difícilmente podía atender la fauna herida ante el desconocimiento de su tratamiento, falta de medicamentos o espacios para resguardo de la fauna lastimada. En todos los casos se encontró que la fauna era llevada a alguna de las casas del personal de CONANP y alimentada con atún o croquetas para gato (CONANP, 2023b), lo cual parece ir en sentido contrario a la misión de la CONANP de no alimentar la fauna endémica.

¿Turismo de naturaleza?

La apertura de Isla María Madre al turismo de bajo impacto ambiental en diciembre de 2022 abrió la puerta para visitar los espacios naturales de la isla con el fin de disfrutar, apreciar y estudiar los atractivos naturales (CONANP, 2022). Los servicios turísticos están a cargo de la empresa estatal TURIIMAR. Esta empresa es la responsable de programar el itinerario de actividades y guiar los recorridos a los diferentes sitios de Isla María Madre a través de los llamados Protectores de la Biosfera, quienes guían y dan las explicaciones a los visitantes. Las actividades turísticas en la Reserva de la Biosfera Islas Marías son: recorrido Balleto Sur (celdas, panteón, museo, artesanos); senderismo al Cristo; recorrido Chapingo (Casa de Gobierno, Mirador y Playa Chapingo); bóveda Celeste; recorrido Balleto Norte (Museo de Agua, Henequenera, Iglesia, Casa Monja); y senderismo al Faro.

Durante los recorridos a los sitios turísticos se observó que los Protectores de la Biosfera solían describir las historias del mundo penitenciario,

tanto en el recorrido al Panteón como a Laguna del Toro o Sendero al Cristo, se recurría a personajes como José Revueltas, el Sapo, el Padre Trampitas o La Madre Conchita para explicar la vida en la antigua colonia penal de Islas Marías. En sitios como la Calera, Salera y Camaronera se narra las difíciles condiciones de trabajo que vivían los reos como lugares de castigo. Mientras que en los recorridos de Balleto a la Henequenera, Iglesia, Casa del Gobernador y el Museo de Agua se resalta la arquitectura y los privilegios de los responsables del penal.

Estos recorridos turísticos muestran hallazgos relevantes de cómo las historias del mundo penitenciario descrito por los Protectores de la Biósfera se superponen sobre las descripciones de la historia ambiental de las Islas Marías. En la mayoría de los recorridos las referencias a la fauna y flora del lugar estaban ausente en las explicaciones de los Protectores de la Biósfera. Por ejemplo, en Sendero al Cristo y al Faro, además de no contar con letreros que hagan referencia a la vegetación, los senderos muestran una considerable erosión que hace difícil la explicación de los recursos naturales. Aunado a ello, las explicaciones de los Protectores de la Biósfera se centran exclusivamente en la historia penitenciaria. De manera particular resulta relevante el recorrido al Museo, donde además de predominar la historia del penal de Islas Marías, la única sala destinada a la CONANP -última del recorrido- carece de información sobre los ecosistemas y la biodiversidad de la Reserva de la Biosfera. La sala muestra algunos esqueletos de coral y pelícano, una piel de Boa, información sobre la GIA y del programa muros de agua, información sobre energías limpias y de la colaboración de la reserva con la SEMAR. Se observó que los visitantes suelen evadir esta última sala del recorrido del museo.

Alatriste (2023), retoma el informe de la SEMAR sobre la problemática actual que presenta la Isla María Madre respecto de los riesgos de seguridad para los visitantes debido al deterioro que presenta la infraestructura de sitios con mayor

atractivo turístico. De los trece miradores que hay en la isla solo dos funcionan (El Faro y Sendero al Cristo), y los caminos presentan cortes y socavones que hacen difícil su tránsito. Esta situación hace difícil un acercamiento e interacción con los recursos naturales y con la historia ambiental del archipiélago.

Percepciones de la fauna en Isla Marías

Los resultados obtenidos en los talleres de percepciones de la fauna en Islas Marías muestran que el 18.3 % percibe al mapache de las Islas Marías (*Procyon lotor susp. Insulare*) como una criatura nocturna que se alimenta de noche, son amigables, inteligentes, territoriales y agresivos. El 8.5 % describió a la iguana (*Ctenosaura pectinata*) como una especie ágil ante la presencia de peligro, que habita las Islas Marías y que les gusta tomar el sol. Mientras que el 18.3 % identifica al loro cabeza amarilla de Tres Marías (*Amazona oratrix subsp. tresmariae*) como un ave muy inteligente que desarrolla la habilidad de hablar, son nobles, se adaptan rápidamente a un entorno diferente, son coloridos y tienen la libertad de ir a donde quieran. El 15.9 % de los participantes mencionaron que las cabras (*Capra hircus*) andan en rebaños, se alimentan de pasto, árboles y son territoriales. El 3.7% la describieron al cardenal de Tres Marías (*Cardinalis cardinalis subsp. mariae*) como elegantes, coloridos y bonitos que beben ser cuidados.

El 11 % percibe al conejo de las Islas Marías (*Sylvilagus graysoni*) como una especie importante, que son agiles y poseen un hermoso pelaje suave. El 3.7 % de los participantes percibieron al alacrán (*Chactas Keyserlingi*) como peligroso y venenoso. El 6.1 % de los participantes del taller mencionaron a los gatos (*Felis catus*) como animales domésticos que ayudan con plagas de ratones, son juguetones, nobles, de ojos peculiares, considerados limpios y muestran afecto cuando quieren conseguir algo. El 1.2 % perciben al tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) como una especie fuerte y peligrosa, además que son muy silenciosos para atacar a su presa. Mientras que 2.4 % perciben al delfín (*Delphinidae*) como

inteligentes, que transmiten cariño y son considerados importantes para terapias. Mientras que el 11 % de los participantes en los talleres no contestaron.

Como se puede observar, las percepciones sobre el mapache (*Procyon lotor susp. Insulares*), los chivos (*Capra hircus*) y la iguana (*Ctenosaura pectinata*) fue predominantemente neutras, mientras que especies como el cardenal (*Cardinalis cardinalis subsp. mariae*), loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix subsp. tresmariae*), conejo (*Sylvilagus graysoni*), delfín (*Delphinidae*) y gatos (*Felis catus*) fueron percibidas de manera positiva. En tanto que el tiburón (*Carcharodon carcharias*) y alacrán (*Chactas Keyserlingi*) presentaron percepciones negativas. Llama la atención que un porcentaje significativo (11 %) no presentó interés por alguna de las especies emblemáticas de la reserva.

Esta población representa una oportunidad para implementar un plan de educación ambiental y conservación de la fauna endémica. Por otra parte, al comparar las percepciones del personal flotante con el registro histórico de atropellamientos en el área urbana de Balleto

(Figura 4), no se encontró evidencia de percepciones negativas que pudiera explicar el atropellamiento de la fauna como iguanas, culebras y conejos. El análisis de las percepciones y el registro de atropellamientos más bien sugiere una falta de conciencia ambiental que pudiera estar presente en el 11 % que no presenta interés en la fauna local.

Isla & Continente

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de recorridos de 1.5 km (Figura 5) y 1.2 km (Figura 6) sobre la línea de costa de San Juanito y María Cleofás, respectivamente, se observó sitios de depredación de especies de tortuga marina y una gran cantidad de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) entre los que destacan el PET, vidrios, encendedores, calzado, cuerdas y redes de pesca. También se encontraron residuos peligrosos como latas de gas butano. Se identificó que una parte de los residuos presentes en San Juanito y María Cleofás son abandonados por pescadores furtivos que ocupan ocasionalmente la isla, mientras que otra parte provienen del continente producto del arrastre de las mareas que lleva diversos residuos a las playas del Archipiélago de Islas Marías.

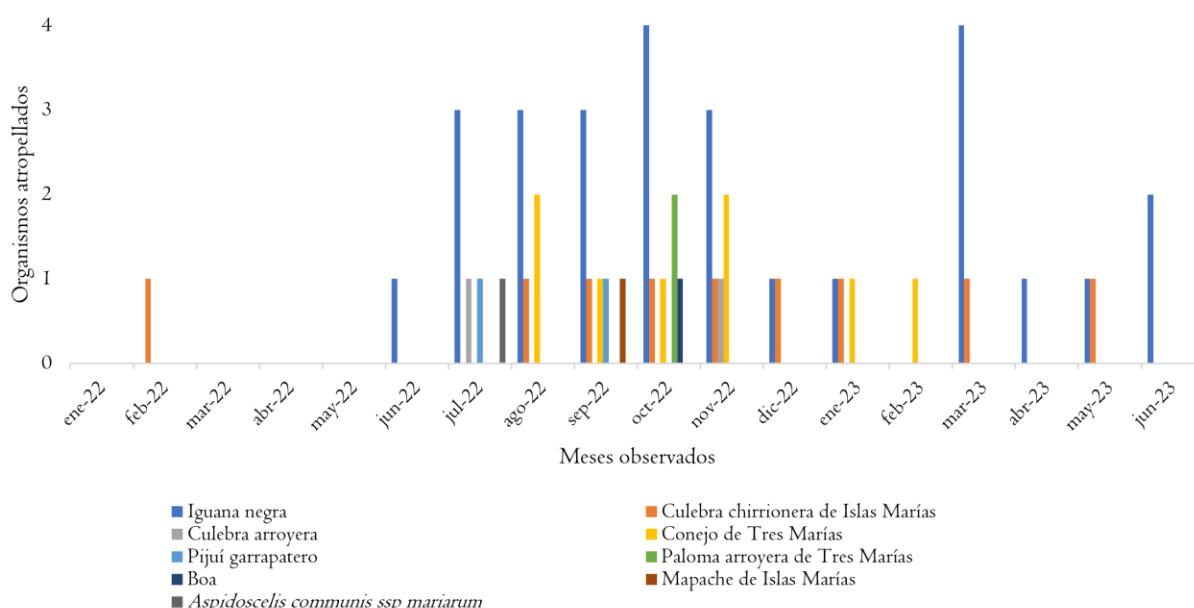


Figura 4. Tendencia de atropellamientos de fauna (año 2022 y 2023). Fuente: CONANP.

Un hallazgo importante que se documentó de estos RSU es el período largo que han permanecido en las islas bajo la exposición solar, lo cual se refleja en su fragilidad al momento de querer recolectarlos. Su fragmentación en micro

plásticos (pequeñas partículas de plástico) a lo largo de la línea de costa facilita su incorporación al medio ambiente marino, y al cuerpo humano a través de las cadenas alimenticias al consumir mariscos y pescados (Leslie et al., 2022).

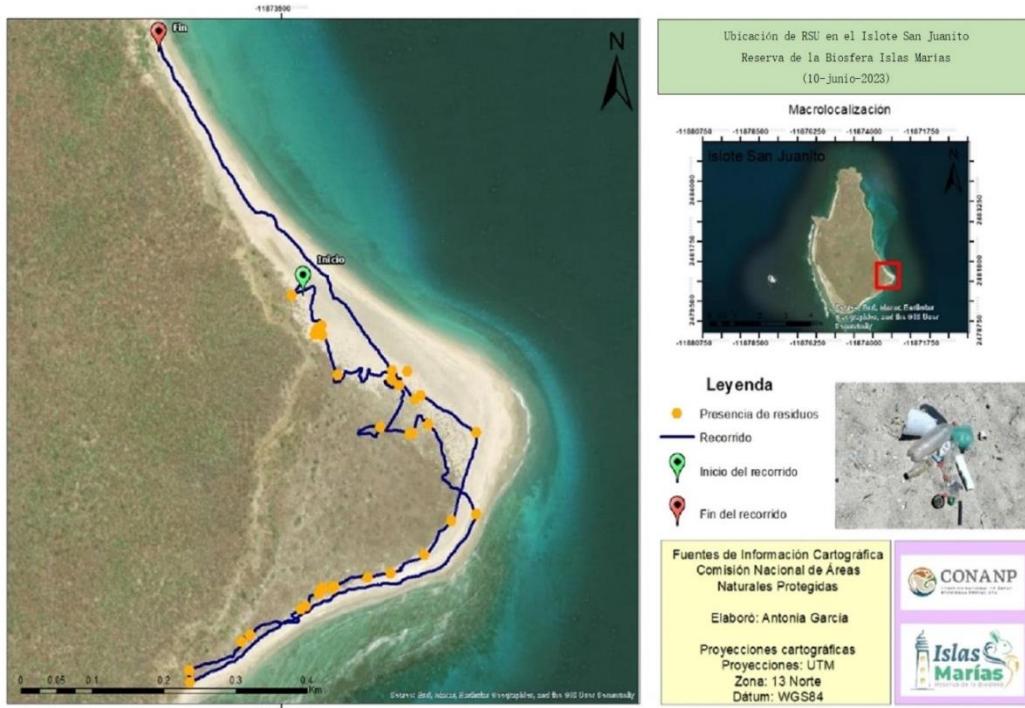


Figura 5. Recorrido Isla San Juanito. Fuente: CONANP.

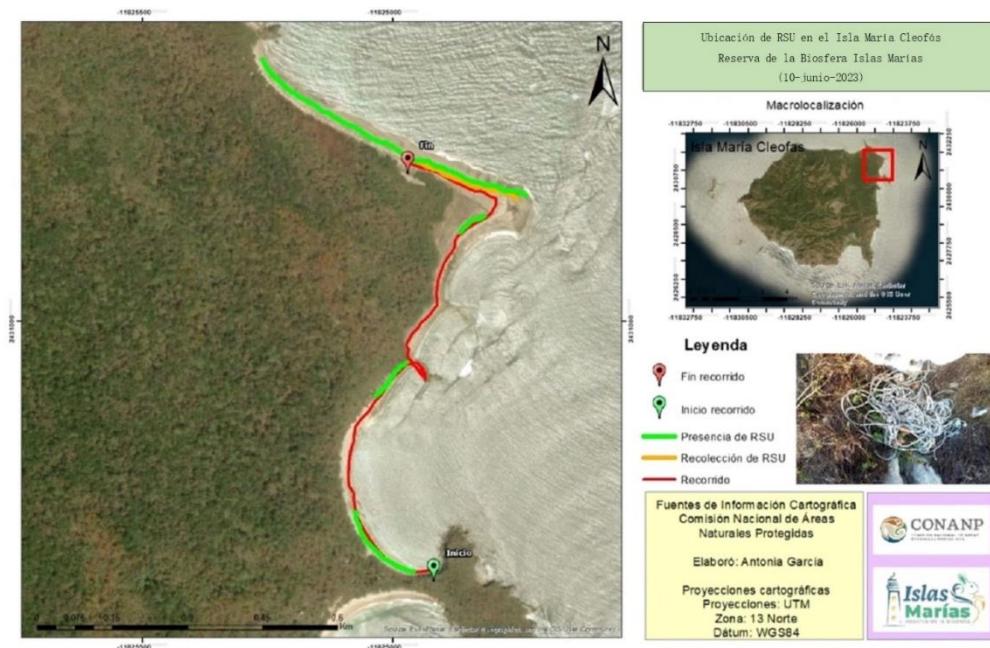


Figura 6. Recorrido Isla María Cleofas. Fuente: CONANP.

Además, estos RSU presentan un peligro para las especies marinas ya que pueden morir al quedar atrapadas en estos contenedores o enredarse en redes y cuerdas. Es relevante señalar que muchos de estos RSU tienen su origen en el programa gubernamental denominado Programa de Inversiones Públicas para el Desarrollo Rural (PIDER) que tuvo vigencia entre 1970 a 1982, con el objetivo de fomentar el aprovechamiento de los recursos marinos entre los pescadores riverenos de Nayarit y Sinaloa (Díaz y Iturbide, 1985). En Isla María Cleofás los campamentos de pescadores que se instalaron con el PIDER para extraer caracol burro y otras especies generaron una cantidad de RSU importante que aún se observan en las islas.

COMENTARIOS FINALES

Aunque la creación de la *RBIM* data del año 2000, su reciente manejo como Centro de Educación Ambiental y Cultural (2019), le impone diversos retos que deben ser atendidos de manera estratégica. Es importante equilibrar la historia penitenciaria y la historia ambiental de la reserva sin perder de vista su origen como un espacio de constante evolución biológica y social. Este trabajo muestra la relevancia de visibilizar la historia ambiental y generar sinergias en el trabajo de conservación. Las actividades en la reserva deben estar orientadas a la conservación y protección ambiental y no solo al turismo o a las iniciativas personales de los funcionarios de la CONANP. Respecto a los resultados obtenidos, es necesario elaborar un plan de manejo encaminado a realizar acciones de investigación y cubrir los vacíos que requieren la atención en el manejo de la biodiversidad. Es necesario cambiar la orientación del trabajo cotidiano del personal de la *RBIM* y capacitar en líneas que permitan robustecer el conocimiento de los recursos naturales del archipiélago.

Se considera importante aplicar a las tareas cotidianas de conservación un método que oriente las acciones frente a los nuevos cambios climáticos que afectan a la biodiversidad del Pacífico

Mexicano. En este sentido, el proyecto ambiental de Islas Marías ofrece la oportunidad de conjugar un nuevo paradigma del turismo-naturaleza en la *RBIM*, pero requiere del compromiso y disposición de los diversos actores involucrados en la conservación del archipiélago.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación es un esfuerzo compartido con hombres y mujeres que trabajan en la Reserva de la Biosfera de Islas Marías; agradecemos a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas por brindarme su hospitalidad durante mi estancia en este bello lugar del Pacífico Mexicano; a la maestra Astrid Mildred García Hernández por su apoyo informático en el manuscrito y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por fomentar la investigación en México.

REFERENCIAS

- Aguirre-Muños, A., Bezaury-Creel, J.E., De La Cueva, H., March-Mifsut, I.J., Peters-Recagno, E., Rojas-González De C.S., y Santos-Del Parado Gasca, K. (2020). *Islas de México, un recurso estratégico*. Instituto Nacional de Ecología (INE)/The Nature Conservancy (TNC)/Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI)/Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/ine_islas_mexico.pdf
- Alatroste, A. (2023). *Islas Marías, la atracción ambiental y turística incompleta*. EME AQUIS. https://www.mx.com.mx/investigaciones/islas-marias-la-atraccion-ambiental-y-turistica-incompleta-de-amlo?utm_source=telegram&utm_medium=islas+marias&utm_id=investigaciones
- Álvarez-Licona, N. E. (1998). Las Islas Marías y la subcultura carcelaria. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 91, 13-29.

- Avilés, E. (2020). Última colonia penal insular de América Latina: Islas Marías, México (1905-2010). *Religación, Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(26), 200-217. <https://doi.org/10.46652/rgn.v5i26.708>
- Avilés-Quevedo, E. (2019). Las mujeres reclusas en Islas Marías. Desde colonia penal, hasta complejo penitenciario. *GénEroos. Revista de Investigación y Divulgación sobre los Estudios de Género*, 26(25), 43-76.
- Avilés-Quevedo, E., y Barrón-Cruz, M. G. (2016). *Islas Marías. De colonia penal a complejo penitenciario*. Instituto Nacional de Ciencias Penales (INACIPE).
- Bojórquez, J. D. (1937). *María Madre, del archipiélago Islas Marías del Océano Pacífico*. Talleres tipográficos de A. del Bosque. México.
- Ceballos-Mago, N., y Chivers, D. J. (2010). Local knowledge and perceptions of pet primates and wild Margarita capuchins on Isla de Margarita and Isla de Coche in Venezuela. *Inter-Research Science Publisher*, 13, 63-72. <https://doi.org/10.3354/esr00321>
- CONANP. (2022). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Islas Marías*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). <https://www.conanp.gob.mx/programademanejop/PMIslasMarias.pdf>
- CONANP. (2023a). *Información meteorológica*, mayo de 2023. Estación GIA-Rehilete, Reserva de la Biosfera Islas Marías. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).
- CONANP. (2023b). *Informe de trabajo mayo-junio de 2023*. Reserva de la Biosfera Islas Marías. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).
- Cupul-Magaña, F.G., y Vásquez-Bolaños, M. (2019). Nuevos registros de hormigas (*Hymenoptera: Formicidae*) en la Isla María Cleofas, Golfo de California, México. *Dugesiana Revista de Entomología*, 26(1), 27-29.
- Del Parado-Gasca, K.S., Negrete-Fernández, G., y Gabriel-Morales, J. (2006). Diagnóstico ambiental participativo en la Colonia Penal Federal Islas Marías. Hacia la conservación y el manejo sustentable. *Gaceta Ecológica*, 81, 5-18.
- Delgado, J. M., y Gutiérrez, J. (1995). *Métodos y técnicas cualitativas de investigación en ciencias sociales*. Editorial Síntesis, España.
- Díaz, M., y Iturbide, G. (1985). *Los pescadores de Nayarit y Sinaloa*. Cuadernos de la casa chata. CIESAS.
- DOF. (2000). *Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se Declara Área Natural Protegida, con el Carácter de Reserva de la Biosfera, el Archipiélago Conocido como Islas Marías*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2064034&fecha=27/11/2000#gsc.tab=0
- DOF. (2021). *Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se crea la Comisión Presidencial encargada de la Coordinación Interinstitucional del Archipiélago Islas Marías*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634485&fecha=04/11/2021#gsc.tab=0
- Flores-Guerrero, U.S., Huerta de la Barrera, I.E., & Cupul-Magaña, F.G. (2018). Registro del Ciempiés *Scolopendra Polymorpha* Wood, 1861 (Chilopoda: Scolopendromorpha: Scolopendridae). *Acta Zoológica Mexicana*, 34, 1-4. <https://doi.org/10.21829/azm.2018.3411194>
- García-Aldrete, A. N. (1986). Especies de *Psocoptera* (Insecta), de las Islas María Madre y San Juanito, Nayarit. *Acta Zoológica Mexicana*, 13, 1-29. <https://doi.org/10.21829/azm.1986.13131635>
- Garduño, R. (2021). Rescatar el significado histórico, centro del proyecto Islas Marías AMLO. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/03/13/politica/visitas-guiadas-a-islas-marias-podrian-iniciar-en-julio-lopez-obrador/>
- Gobierno de México. (2021). Proyecto Integral Islas Marías. Blog: Muros de Agua.

- <https://www.gob.mx/semarnat%7Cmurosdeagua/articulos/proyecto-integral-islas-marias>
- González-Jaramillo, M., De la Cueva, H., Martínez-Romero, E., y Esparza-Olgún, L.G. (2022). Una fuente de biodiversidad en las islas mexicanas. *Ecofronteras*, 26(74), 26-29.
- Gregor-Campuzano, J.M. (2002). Comunistas en las Islas Marías. *Signos Históricos* 4(8), 139-150.
- Guzmán, M.L. (2015). *Islas Marías*. Editorial Joaquín Mortiz. México.
- Hammersley, M., & Atkinson, P. (1994). *Etnografía: Métodos de Investigación*. Paidós. España.
- Hart, C. (2021). Monitoreo de tortuga carey en la región de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. *Investigación, Capacitación y Soluciones Ambientales y Sociales A.C.*
- Herzka, S.Z., Zaragoza-Álvarez, R.A., Peters, E. M., y Hernández-Cárdenas, G. (2020). *Atlas de línea base ambiental del Golfo de México*. Tomo VII. Hábitats críticos y hotspots de tortugas marinas. María de los Ángeles Liceaga Correa, Editora. CIGoM/Cinvestav. https://atlascigom.cicese.mx/map_data/T007/ATLAS-TOMO-07.pdf
- Leslie, H.A., van Velzen, M. J.M., Brandsma, S. H., Vethaak, A.D., García-Vallejo, J.J., & Lamoree, M.H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Madrid-Mulia, H. (2016). *La relegación penal en México: Islas Marías un espacio punitivo*. En Avilés-Quevedo, E. y Barrón-Cruz, M.G. *Islas Marías de colonia penal a complejo penitenciario* Instituto Nacional de Ciencias Penales (INACIPE).
- Madrid-Mulia, H. y Barrón-Cruz, M.G. (2002). *Islas Marías: una visión iconográfica*. Instituto Nacional de Ciencias Penales (INACIPE). México.
- Malo-Camacho, G. (1985). El sistema penitenciario mexicano y la Colonia Penal de Islas Marías. *Revista Mexicana de Justicia*, 85(1), 97-119.
- Meléndez, A. (1960). *Las Islas Marías: cárcel sin rejas*. Editorial Jus. México.
- Murillo, E. (2022). Autorizan a Semar creación de empresa para administrar las Islas Marías. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/09/22/politica/autorizan-a-semar-a-crear-empresa-para-administrar-las-islas-marias/>
- Navarrete, H. (1965). *En las Islas Marías*, No. 40. Colección México Heroico. Editorial Jus. México.
- Nolasco-Luna, J.R., Barraza-Soltero, I.K., López-Montes, M.A., Moreno-López, J.A., y Escobedo-Galván, A.H. (2022). An updated checklist of the herpetofauna from Isla María Cleofas, Mexico. *Check List the Jounal of Biodiversity Data*, 18(1), 241-252. <https://doi.org/10.15560/18.1.241>
- Nolasco-Luna, J.R., López-Luna, M.A., Cupul-Magaña, F.G., y Escobedo-Galván, A.H. (2016). Nuevos registros de anfibios y reptiles en la Isla María Cleofas, Nayarit. *Ciencias y Mar*, 20(58), 29-33.
- Núñez, D., Acosta-Hernández, J.A., Escalona-Alcázar, F.J., Pilia, S., Núñez-Cornú, F.J. y Córdoba, D. (2021). The Extended Continental Crust West of Islas Marías (México). *Frontiers in Earth Science*, 9, 1-17. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.666272>
- Picatto, P. (2010). *Ciudad de sospechosos: crimen en la ciudad de México, 1900-1931*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS)/CONACULTA.
- Piña y Palacios, J. (1970). *La Colonia Penal de las Islas Marías: su historia, organización y régimen*. Ediciones Botas. México.
- Pompa-Mera, V., Schaaf, P., Hernández-Treviño, T., Weber, B., Solís-Pichardo, G., Villanueva-Lascurain, D., y Layer, P. (2013). Geology, geochronology, and geochemistry of Isla María Madre, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(1), 1-23.

- Pulido-Esteve, D. (2017). *Las Islas Marías Historia de una colonia penal.* Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH).
- Pulido-Esteve, D. (2020). Sexualidades recluidas: "invertidos", "jotos" y visitas conyugales en las cárceles mexicanas, 1920-1940. *Revista de Historia de las Prisiones*, 10, 27-47.
- Ramírez-Reyes, T., Barraza-Soltero, I.K., Nolasco-Luna, J.R., Flores-Villela, O., y Escobedo-Galván, A.H. (2021). A new species of leaf-toed gecko (Phyllodactylidae, *Phyllodactylus*) from María Cleofas Island, Nayarit, Mexico. *ZooKeys*, 1024, 117-136. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1024.60473>
- Ramírez-Silva, J.P., Figueroa-Esquivel, E.M., y Puebla-Olivares, F. (2021). *Mamíferos.* En: La biodiversidad en Nayarit. Estudios de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México., II, pp. 251-256. https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/15520.pdf?fbclid=IwAR3fPd_L720gnCBNxDPYIjJcIReCP-sfUC0xoYXGFj7O2WeGyoQ86qTnVw
- Revueltas, J. (1978). *Los Muros de Agua.* ERA. México.
- Stuessy, T.F. (2020). The importance of historical ecology for interpreting evolutionary processes in plants of oceanic islands. *Journal of Systematics and Evolution*, 58(6), 751-766. <https://doi.org/10.1111/jse.12673>
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados.* Paidós. España.
- Tholan, B., Carlson, P., Tortolero-Langarica, J. A., Ketchum, J. T., Trejo-Ramírez, A., Aceves-Bueno, E. y Caselle, J. E. (2020). The biodiversity of fishes at the Islas Marías Biosphere Reserve, Mexico, as determined by baited remote underwater video. *Ciencias Marinas*, 46(4), 227-252. <https://doi.org/10.7773/cm.v46i4.3104>.
- Vázquez-Hurtado, M., y Avilés-Quevedo, S. (2016). *Recursos Naturales de las Islas Marías*, En Avilés-Quevedo, E. y Barrón-Cruz, M.G. Islas Marías de colonia a complejo penitenciario. Instituto Nacional de Ciencias Penales (INACIPE). pp. 241-270.

EL PAPEL BIOLÓGICO DEL SILICIO EN CULTIVOS AGRÍCOLAS: CONTRIBUCIÓN AL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

THE BIOLOGICAL ROLE OF SILICON IN AGRICULTURAL CROPS: CONTRIBUTION TO PEST AND DISEASE CONTROL

¹María Yesenia Ruiz-Aguilar^{ORCID}, ¹Luis Alberto Aguirre-Uribe^{ORCID}, ²Sonia Noemí Ramírez-Barrón^{ORCID},
³Yolanda del Carmen Pérez-Luna^{ORCID}, ¹Epifanio Castro-del Ángel^{ORCID}, ^{1§}Agustín Hernández-Juárez^{ORCID}

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista, Saltillo, México. C.P. 25315. ² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Ciencias Básicas. Calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista, Saltillo, México. C.P. 25315. ³ Universidad Politécnica de Chiapas, Departamento de Agroindustrial. Carretera Tuxtla Gutiérrez - Portillo Zaragoza Km 21+500, Suchiapa, Chiapas, México. C.P. 29150. [§]Autor de correspondencia: (chinoahj14@hotmail.com).

RESUMEN

El silicio (Si), un oligoelemento disponible, se distingue por su capacidad de ser fácilmente absorbido, por su elevada solubilidad y una especificidad en las plantas. Este aspecto resulta esencial, debido a que siete de 10 cultivos más importantes a nivel mundial son reconocidos por su acumulación de Si y su respuesta positiva a su aplicación. Sin embargo, el avance y desarrollo de los cultivos agrícolas se ven restringidos por factores de estrés, como bióticos o abióticos. El objetivo del presente análisis de información consistió en examinar la capacidad del silicio para estimular las barreras físicas y bioquímicas en las plantas, proporcionando mecanismos eficaces de resistencia ante plagas y enfermedades. La investigación fue realizada mediante un minucioso análisis de artículos científicos obtenidos de diversas bases de datos, incluyendo Google Scholar, Scielo, Science Direct, Scopus y Redalyc. La incorporación de silicio en prácticas agrícolas posee un potencial significativo para contribuir a la seguridad alimentaria, al facilitar el desarrollo de cultivos optimizados en términos de producción. En consecuencia, se considera el uso estratégico del silicio como una fuente sostenible y beneficiosa en la producción agrícola, ofreciendo perspectivas prometedoras para mejorar la eficiencia y resiliencia de los sistemas agrícolas.

Palabras clave: ciclo biogeoquímico, defensa natural, fitolitos, hormesis, resistencia vegetal.

ABSTRACT

The silicon (Si), a highly available trace element, is distinguished by its ability to absorb quickly, elevated solubility, and specificity in plants. This aspect is crucial, as seven of the 10 most important crops worldwide are known for their Si accumulation and positive response to its application. However, the progress and development of crops have become constrained by biotic and abiotic stress factors. The objective of this data analysis was to examine the ability of silicon to stimulate physical and biochemical barriers in plants, providing effective mechanisms of resistance to pests and diseases. The research was carried out through a meticulous analysis of scientific articles obtained from various databases, including Google Scholar, Scielo, Science Direct, Scopus, and Redalyc. The incorporation of silicon in agricultural practices has significant potential to contribute to food security by facilitating the development of yield-optimized crops. Consequently, the strategic use of silicon is considered beneficial and sustainable in agricultural production, offering promising prospects for improving the efficiency and resilience of agriculture systems.

Index words: biogeochemical cycle, natural defense, phytoliths, hormesis, plant resistance.

INTRODUCCIÓN

El silicio (Si) es un elemento químico clasificado como metaloide, que se encuentra en la naturaleza principalmente como dióxido de silicio (SiO_2), se sitúa como el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (Tréguer et al., 2021; Ahmad et al., 2020). Su liberación proviene de la desmineralización del cuarzo y el feldespato, así como de fitolitos que se encuentran en las hojas, estos llegan al suelo tras el desprendimiento y degradación de las hojas (Barão, 2023; De-Tombeur et al., 2020;).

En el ámbito agrícola, el Si se destaca por aumentar el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Interviene en procesos metabólicos vitales y fortalece las estructuras celulares, confiriendo resistencia ante factores bióticos y abióticos (Akhtar et al., 2021). A pesar de que el Si no es un componente esencial para el crecimiento vegetal, su capacidad para absorberlo a través de las raíces en forma de ácido silícico o monosilícico, junto con las variaciones anatómicas entre plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas, sugiere que es casi necesario para el desarrollo vegetal (Khan et al., 2021; Zargar et al., 2019). El Si se utiliza en sistemas de agricultura protegida, como los invernaderos, aplicando directamente sobre las hojas de las plantas; sin embargo, a pesar de sus beneficios, su uso como fertilizante en la producción agrícola todavía no se ha generalizado (Artyszak, 2018). La solubilidad y movilidad de silicio en la planta aumenta de acuerdo con el tamaño de partícula, optimizando su distribución en el tejido vegetal.

La adición de silicio a las plantas puede generar características químicas y físicas singulares, lo cual podría realzar su función biológica (Sarai et al., 2021; Petkowski, Bains y Seager, 2020); por lo cual, una de las principales funciones que desempeña el Si es la activación de la barrera mecánica, donde se identificó la polimerización del

Si en las paredes epidérmicas de las células y vasos xilemáticos, siendo las principales vías de ataque de plagas y enfermedades, pero también se inducen respuestas de defensa inducible como fitohormonas, enzimas (Song et al., 2021).

Paralelamente, el Si desempeña un papel crucial en la rigidez y resistencia de los tejidos vegetales, lo que disminuye su palatabilidad y digestibilidad para los insectos herbívoros (Saw et al., 2023, Islam et al., 2020). Estas defensas pueden desencadenar modificaciones en los compuestos volátiles liberados, atrayendo así a los parasitoides o depredadores de los herbívoros (Vu et al., 2022). Esta combinación de efectos resulta la importancia del Si como factor de protección y fortalecimiento en las plantas frente amenazas externas.

La incorporación de la nanotecnología en el sector agrícola se ha convertido en el inicio de una revolución tecnológica con gran potencial en el siglo XXI. Esta innovación ha transformado las prácticas agrícolas convencionales y facilita el avance hacia métodos de agricultura más eficientes (Sharma et al., 2023). En este contexto, el uso de la nanotecnología en la elaboración de nanomateriales de Si presenta una mayor estabilidad como fertilizantes debido a su resistencia al calor, luz ultravioleta, la desecación y la disminución de la pérdida de lixiviación y volatilización (Zulfiqar et al., 2019). Estas características se atribuyen a la inercia de las nanopartículas de Si ante variaciones en el pH, un tamaño entre 4 y 100 nanómetros, y una composición aproximada de un 53.3% de oxígeno y un 46.8% de Si (Bhat et al., 2021). De igual manera, el empleo de nanopartículas de Si en la prevención y manejo de plagas y enfermedades vegetales se caracteriza también por su eficacia, durabilidad y una relación superficie-volumen que facilita su implementación (Ramezani, Ramezani y Gerami, 2019). La producción de nanomateriales de Si ha experimentado un aumento significativo a nivel global en las últimas décadas, lo que demuestra un gran potencial en la protección de cultivos debido a su menor impacto

ambiental en comparación con los pesticidas convencionales (Shoaib et al., 2018).

En esta revisión se propuso explorar los mecanismos de resistencia activados por el Si en plantas y así comprender la interacción planta-plaga ante respuestas inducidas que generan este proceso. Recientemente se ha generado evidencia donde el silicio puede ser beneficioso, especialmente en situaciones de estrés, tanto en cultivares susceptibles como resistentes (Gomes et al., 2005) con mecanismos de defensa tanto químicos (terpenos, fenoles, alcaloides, enzimas) como mecanismos físicos (tricomas, espinas, ligninas, etc.) (Acevedo et al., 2021). El objetivo de la investigación fue abordar aspectos fundamentales que abarcan la relevancia del silicio en la agricultura, la translocación de silicio en las plantas, los mecanismos de defensa y las formas de interacción del silicio en cultivos de importancia agrícola. Esta investigación se llevó a cabo mediante un exhaustivo estudio de artículos científicos recopilados de múltiples bases de datos, entre las cuales se destacan Google Scholar, Scielo, Science Direct, Scopus y Redalyc.

DESARROLLO

Ciclo biogeoquímico del silicio

El ciclo biogeoquímico del silicio ha sido poco estudiado debido a que el silicio (Si) no es un elemento esencial para el crecimiento y la reproducción de las plantas, pero es importante conocerlo por su relación con el ciclo del carbono (Tréguer et al., 2021; De-Tombeur et al., 2020; Vander y Delvaux, 2019). El Si en la corteza terrestre está asociado a minerales como el cuarzo y el feldespato (Barão, 2023), también se ha encontrado en formas como caolín, esmectita y vermiculita (Raturi et al., 2021).

La disponibilidad de silicio en el suelo está determinada por el silicio mineral o silicio disuelto (ácido monosilícico), Si(OH)_4 , ácido polisilícico o complejo de ácido silícico y compuestos orgánicos (Schaller et al., 2021) y el silicio reciclado proveniente de las plantas (fitolitos), todos estos se encuentran en una fase líquida (De-Tombeur et

al., 2020); sin embargo, solo una pequeña fracción de Si se activa dentro del ciclo biogeoquímico (Vander y Delvaux, 2019).

El ciclo se inicia con la meteorización de los minerales, que se lleva a cabo por la descomposición de ácido carbónico a partir del dióxido de carbono (CO_2) y la liberación de Si(OH)_4 (Vander y Delvaux, 2019), pasando a través de ciclos hidrológicos; el tiempo de conversión dependerá de la temperatura, el pH, el potencial redox, el contenido de agua, microorganismos descomponedores del suelo y la concentración de CO_2 (Raturi et al., 2021).

La interacción de suelo-planta se incluye en el ciclo biogeoquímico del Si, dado que afecta la reserva del suelo, esto sucede cuando absorben las plantas Si, formado como fitolitos en los tejidos vegetales (principalmente hojas), el retorno del silicio al suelo se da por la senescencia de las hojas (Vander y Delvaux, 2019), mientras que los recursos minerales se agotan con el tiempo, el Si foliar aumenta con el envejecimiento del suelo (De-Tombeur et al., 2020), sin embargo, se ha demostrado que el tipo de suelo, el clima y la vegetación modifican la cantidad de Si en el suelo (Barão, 2023).

Absorción del silicio en la planta

Regularmente el silicio se encuentra en el suelo y mediante las raíces se activan mecanismos activos, pasivos o de rechazo (Vander y Delvaux, 2019). La planta toma el silicio en forma de ácido silícico a través de canales de tipo acuaporina hacia la membrana celular (Luyckx et al., 2017). El Si se deposita de manera regular como un gel en el lumen celular, la pared celular o el espacio intercelular antes de que se produzca la evapotranspiración en la planta (Maceda et al., 2021). Asimismo, se ha observado la acumulación de Si en áreas de salificación en diversos tejidos, tales como la epidermis, el haz vascular, el esclerénquima, el lumen celular y los espacios intercelulares de brotes y raíces (Mandlik et al., 2020). La acumulación de Si en tejidos epidérmicos crea una membrana de celulosa con

silicio, y al estar presentes iones de Calcio y pectinas, se genera una protección a la planta (Sahebi et al., 2015).

Las plantas que mayormente acumulan Si son gramíneas y los cultivos como arroz, trigo, cebada, maíz, caña de azúcar, remolacha azucarera o tomates acumulan concentraciones de Si superior al 0.1-10.0% de materia seca (Barão, 2023; Mandlik et al., 2020). La cantidad de Si absorbida dependerá de la concentración en el suelo y las condiciones ambientales (Islam et al., 2020).

La distribución del Si en las plantas varía en función del tipo de planta y la especie. En maíz (*Zea mays* L., Poaceae), se ha comprobado que los genes *ZmLsi6* tienen un papel crucial en transportar el Si desde el parénquima de las hojas hacia el xilema, mientras que *ZmLsi1* facilita la absorción del Si en las raíces (Bokor et al., 2015). En arroz (*Oryza sativa* L., Poaceae) se ha constatado que los genes *Lsi1*, *Lsi2*, *Lsi3* y *Lsi6* son los encargados del transporte de Si en el haz vascular del tallo, el cual se absorbe desde la raíz hasta las hojas (Mandlik et al., 2020; Yamaji et al., 2015).

Activación de mecanismos de defensa vegetal ante plagas y enfermedades mediante la influencia del silicio

El papel esencial del Si en las plantas radica en su acumulación en las paredes celulares, donde se presenta la penetración de patógenos y el ataque de insectos plaga; como resultado, el Si activa mecanismos de resistencia de manera directa como indirecta (Fawe et al., 2001; Alhousari y Greger, 2018;). El Si protege a la planta frente a situaciones de estrés abiótico y biótico, mejorando sus propiedades mecánicas como una barrera física y fisiológica, actuando como una barrera bioquímica o molecular (Wang et al., 2017). Asimismo, se ha demostrado que el Si es capaz de inducir el control biológico a través de la atracción de parásitoides, depredadores y microorganismos entomopatógenos para el control de las plagas (Reynolds et al., 2016).

Reforzamiento de barreras físicas mediante la incorporación de silicio en la planta

Las plantas requieren de Si para crecer y desarrollarse. El Si se absorbe rápidamente por las plantas mediante el xilema, lo que propicia una rápida oscilación y translocación (Pozza, Pozza y Dos Santos-Botelho, 2015). El mecanismo directo que se activa en la planta se debe a la polimerización mecánica del Si, que se acumula debajo de la cutícula y paredes de la hoja (principalmente), y también se puede hallar en las raíces, partes aisladas de la planta como espinas, tricomas o macropelos (Ahamed y Yang, 2021). En general, las plantas monocotiledóneas presentan una acumulación de Si con mayor facilidad que las dicotiledóneas (Debona, Rodrigues y Datnoff, 2017).

La acumulación de Si constituye un componente fundamental de la defensa que propicia un endurecimiento y disminución de la digestibilidad de los tejidos vegetales de la planta ante el ataque de insectos herbívoros (Yang et al., 2017). Este mecanismo se debe a los fitolitos, que son una forma amorfa de óxido de silicio que se origina a partir del ácido monosilícico. Los fitolitos se transportan por el sistema vascular y se depositan en diferentes partes de la planta, adoptando la forma de la célula (Nawaz et al., 2019).

Los fitolitos pueden presentar diversas formas (cúbicas, cilíndricas, hexagonales, globulares, esféricos, cúpula, mancuerna, cuenco, bulliforme, polilobados y silla de montar) y pueden ser localizadas en diferentes partes de la planta como brotes, raíces, hojas y tallos (Mandlik et al., 2020; Luyckx et al., 2017), con dimensiones entre 20 a 200 μm , un índice de refracción de 1.458 y su peso oscila entre 1.5 a 2.3 g cm^{-3} (Calegari et al., 2022). En sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench Poaceae) se adquirió un fitolito debido a la deposición de Si en forma de cúpula, situado en la pared tangencial interna de la pared de la endodermis de la raíz (Mandlik et al., 2020).

Otro componente responsable de una barrera física generada por el Si es el compuesto fenólico lignina, un heteropolímero de la pared celular del tejido vascular de la planta. Las monocotiledóneas presentan monómeros fenilpropanoides del tipo p-cumarílico (H), coniferílico (G) y sinapílico (S) (Maceda et al., 2021). Estos compuestos fenólicos pueden generar una rigidez en la estructura de la planta, una presión hídrica, el almacenamiento y soporte de células especializadas; esto se pudo apreciar en los tallos de rosa de monte (*Paeonia lactiflora* Pall Paeoniaceae), a la que se le aplicó Si y se consiguió una acumulación de lignina del tipo G y S (Zhao et al., 2021). Se observó que en las plantas de pepino (*Cucumis sativus* L. var. Corona Cucurbitaceae) tratadas con silicato de potasio, en los vasos del xilema, las paredes y membranas celulares adyacentes presentaban una alta densidad de compuestos lignocelulósicos que se extendían hasta el lumen del vaso (Cherif et al., 1992).

Se ha constatado que, al momento de que la planta experimenta una acumulación de Si, se puede activar la formación de calosa como un mecanismo físico de defensa adicional (Kulich et al., 2018). Este polisacárido se produce en diferentes partes, tales como la pared celular, estomas, floema y tubo polínico, y se compone de glucosas que se unen por los enlaces β -1,3-glucosídicos (Brugière y Exley, 2017). En *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (Brassicaceae), se ha identificado al gen EXO70H4 como el factor esencial en la acumulación de calosa, este proceso se llevó a cabo mediante una estructura llamada anillo de Ortmann, la cual se originó en tricomas maduros, así como en la pared delgada basal del bulbo y la pared gruesa apical. La finalidad principal de esta acumulación radica en preservar la eficacia de la planta contra infecciones y acelerar la cicatrización de las heridas causadas por insectos o patógenos (Kulich et al., 2018).

Reforzamiento de barreras bioquímicas a través de la incorporación de silicio en la planta

La relevancia del Si en la planta radica en su participación en la gestión del estrés debido a condiciones ambientales adversas, tales como salinidad, la sequía, el desequilibrio de nutrientes, la radiación solar y la presencia de metales pesados en el suelo (Thind et al., 2020; Alhousari y Greger, 2018;). También, el Si desempeña un papel fundamental en la producción de elementos que fortalecen la resistencia a plagas y enfermedades, incrementando la producción de enzimas, metabolitos secundarios, fitohormonas y efectores (Mandlik et al., 2020; Sahebi et al., 2015). La planta posee la capacidad de emitir compuestos orgánicos volátiles como respuesta a la presencia de Si, lo que puede generar un impacto positivo en la atracción de enemigos naturales de los insectos polífagos, que son plagas de gran importancia en la agricultura (Yang et al., 2017).

A pesar de la perspectiva de incorporar Si como parte de una estrategia innovadora en el manejo integrado de plagas y enfermedades, con el propósito de alcanzar un efecto más favorable en la producción de componentes físicos y bioquímicos de la planta (Verma et al., 2021), es esencial considerar la adecuada dosificación de Si, la fase de desarrollo en la que se encuentre la planta, considerado estos elementos fundamentales para alcanzar resultados más eficaces. En la Tabla I se proporciona información detallada acerca de ciertos componentes producidos por la planta ante la presencia de Si.

El impacto hormético de silicio en las plantas

A pesar de la evidencia que respalda la aplicación de Si para el control de diversas plagas y enfermedades en las plantas, resulta crucial abordar la cuestión de cómo discernir cuándo este oligoelemento funciona como un estimulante, activando las defensas de la planta y cuándo podría tener efectos perjudiciales.

Tabla I. Componentes bioquímicos relacionados en la inducción de defensa de la planta ante el ataque de plagas y enfermedades.

Inducción de respuesta de defensa de la planta	Componentes/compuestos	Referencia
Hormonas vegetales	Ácido abscísico, ácido salicílico (SA), ácido jasmónico (JA) y etileno (ET).	Ahammed & Yang (2021), Luyckx et al. (2017)
Metabolitos primarios	Calosa y lignina.	Maceda et al. (2021), Zhao et al. (2021), Alhousari & Greger (2018)
Metabolitos secundarios	Fitoalexinas (momilactonas), fenoles, flavonoides, antocianinas, n-heptadecano y sesquiterpenos.	Mandlik et al. (2020), Alhousari & Greger (2018)
Compuestos orgánicos volátiles	Cedrol, jasmonato de metilo (MeJA), salicilato de metilo (MeSA), acetato de (z)-3-hexenilo (HA), α -bergamoteno, hexanal 2-etyl, β -sesquifellandreno y β -cariofileno	Liu et al. (2017), Kvedaras et al. (2010), James & Grasswitz (2005)
Especies reactivas de oxígeno (ERO)	Enzimas: ascorbato peroxidasa (APX), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (Gpx), polifenol oxidasa (PPO), superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD) y lipoxygenasa (LOX). Compuestos no enzimáticos: glutatión, ascorbato y malondialdehído.	Greger (2018), Yang et al. (2017), Alhousari & Greger (2018)
Especies reactivas de nitrógeno (ERN)	Enzimas: nitrogenasa, óxido nítrico sintasa 2 (NO ₂) y S-nitrosoglutatión-reductasa (GSNOR). Compuestos no enzimáticos: óxido nítrico (NO), peroxinitrito y S-nitrosotiol.	Basu et al. (2020), Li et al. (2019)
Otras enzimas	Fenilalanina amonio liasa (PAL), chalcona sintasa (CHS), chalcona isomerasa, β -1,3 glucanasa y quitinasa.	Ahammed & Yang (2021), Yang et al. (2017)

Con el fin de abordar esta problemática, se puede explorar el concepto introducido por primera vez en el año 1940, conocido como la hormesis. Esta teoría sostiene que dosis bajas de sustancias tóxicas pueden generar efectos positivos, mientras que a dosis elevadas provocan inhibición en las plantas (Erofeeva, 2022). El estudio llevado a cabo por Hugo Paul Friedrich Schulz en 1887 fundamentó la creación de modelos biológicos en la teoría de la hormesis, conocida como Ley de Arndt-Schulz (Kendig et al., 2010).

La hormesis y el estrés vegetal son respuestas adaptativas bifásicas, puesto que la relación dosis-respuesta afecta a todos los organismos biológicos (Agathokleous y Calabrese, 2019). La hormesis, por tanto, es un mecanismo adaptativo que desencadena en la planta funciones destinadas a

contrarrestar tanto el estrés biótico como el abiótico, mediante una plasticidad fenotípica (Erofeeva, 2022). Los insectos, hongos, bacterias y virus presentes en áreas agrícolas están sujetos a sustancias tóxicas que provocan un fenómeno de hormesis; en dosis bajas, estas sustancias estimulan el desarrollo o resistencia, mientras que en dosis altas ejercen un control efectivo sobre estos organismos (Cutler et al., 2022).

La identificación del comportamiento hormético en modelos epidemiológicos se consigue mediante la aplicación de curvas dosis-respuesta. Estas curvas, de tipo sigmoideo, U invertida, bifásica y en forma de J, son empleadas para describir y entender dicho comportamiento (Vargas-Hernández et al., 2017; Davison et al., 2009; Se utilizan modelos sólidos para confirmar

la presencia de este fenómeno y determinar la dosis que maximiza la respuesta hormética, siendo los más frecuentes el logístico, Probit, Gompertz y Weibull (Cedergreen et al., 2005).

Para evaluar la toxicidad en dosis repetidas, se emplean modelos estadísticos robustos que permiten determinar los efectos cuantitativos. Un modelo esencial es el nivel sin efecto adverso observable (NOAEL, por sus siglas en inglés no observed adverse effect level), el cual indica la dosis más elevada de un xenobiótico administrado, sin inducir alteraciones significativas en el organismo objetivo (Noruzi et al., 2024; Rezvanfar, 2014; Ochoa, 2013). Asimismo, se utiliza el modelo del nivel de efecto no observado (NOEL, por sus siglas en inglés: no observed effect), el cual representa la concentración máxima del xenobiótico sin ocasionar alteraciones morfológicas o de desarrollo visibles en el organismo (Belz y Duke, 2022; Ochoa, 2013). Además, se considera el modelo del nivel mínimo de efecto adverso observado (LOAEL, siglas en inglés: lowest observed adverse effect level), que identifica la concentración más baja del xenobiótico, capaz de provocar alteraciones adversas en lo funcional, morfología y desarrollo del organismo objetivo (Noruzi et al., 2024; Ochoa, 2013).

Se han documentado aproximadamente 5000 estudios que abordan la hormesis inducida por sustancias químicas y factores físicos en organismos (Agathokleous y Calabrese, 2019). De este conjunto, 32 ensayos se centran específicamente en explorar el efecto hormético en las plantas. Dentro de estos estudios, se observa que el 66 % optó por utilizar una regresión no lineal como método para representar la relación entre la dosis y la respuesta, mientras que el 34 % restante prefirió emplear un modelo estadístico con el mismo propósito (Belz y Duke, 2022). Este análisis evidencia la amplia diversidad de enfoques metodológicos utilizados en la investigación de la hormesis, destacando la prevalencia de la regresión no lineal como herramienta para analizar la dosis-respuesta en las plantas. Sin embargo, la

investigación específica de la hormesis por Si todavía es escasa.

Algunos estudios acerca de la hormesis se han enfocado en la aplicación foliar del silicato de calcio (CaSiO_3) en chile (*Capsicum annuum* L. Solanaceae) durante las etapas iniciales de desarrollo. Se observó que, a una dosis de 60 mg L^{-1} , se produjo un aumento en el diámetro del tallo, al igual que en el contenido de aminoácidos en las raíces y hojas. A una dosis de 125 mg L^{-1} se registró un incremento en los azúcares solubles totales, el contenido de clorofila (a y b), el área foliar, así como en el peso fresco y peso seco de tallos y hojas. Sin embargo, con una dosis alta de 250 mg L^{-1} , se evidenció una disminución en el diámetro del tallo, la longitud de la raíz más larga, y los niveles de aminoácidos en las raíces y hojas aumentaron en la dosis de 60 mg L^{-1} (dosis baja); en contraste con dosis mayores se observó una reducción de variables agronómicas (Trejo-Téllez et al., 2020). En un estudio adicional llevado a cabo en el invernadero con *C. annuum* y mediante una nutrición basada en CaSiO_3 , se pudo identificar que 16 genes Lsi1 se relacionan con los canales de absorción de Si en las raíces de la planta debido a un efecto hormético, así como tres genes vinculados con el canal de excreción Lsi2. Estos genes demostraron la capacidad de activar la síntesis de múltiples hormonas vegetales, incluyendo la auxina, el ácido giberélico, el ácido salicílico, el ácido jasmónico y el etileno (Gómez-Merino et al., 2020).

El silicio como un nanomaterial

La implementación de la nanotecnología con silicio en la agricultura se está convirtiendo en un campo interdisciplinario en expansión, puesto que desempeña un papel positivo en la estimulación del crecimiento y la tolerancia al estrés en las plantas, lo que representa un potencial significativo para diversas aplicaciones en el ámbito agrícola (Rastogi et al., 2019). De esta manera, se promueve la implementación de prácticas agrícolas sostenibles que disminuyan la dependencia de insumos costosos como pesticidas y fertilizantes (Singh et al., 2021).

Las nanopartículas (NPs) son partículas de dimensiones que varían entre 1 y 100 nm en comparación con los compuestos a granel (Rastogi et al., 2019; Luyckx et al., 2017). Estas NPs poseen propiedades físicas y químicas únicas, que incluyen características ópticas, superficiales, eléctricas y térmica (Vargas-Hernández et al., 2020). Estas propiedades únicas hacen que tengan diversas aplicaciones en los campos de la medicina, la electrónica, la energía, la agricultura, entre otros (Elizabath et al., 2019).

La singularidad de las NPs se aprecia a nivel fisiológico, debido a su reducido tamaño es un factor que contribuye a mejorar la solubilidad y facilitar un transporte más eficiente en las plantas, así como la relación superficie-peso que incide en diversos procesos metabólicos y etapas de crecimiento (El-Shetehy et al., 2021; Vargas-Hernández et al., 2020). Las NPs de Si tienen una notable capacidad para combatir plagas y patógenos que afectan a los cultivos agrícolas, lo que les permite crear una herramienta efectiva en la protección de las plantas contra amenazas biológicas, lo que contribuye a mejorar la salud y la productividad de los cultivos (El-Shetehy et al., 2021).

Las investigaciones indican que las NPs de silicio poseen características destacadas, siendo económicamente asequibles, son hidrófobas, con un elevado volumen de poros, y biocompatibles con otros compuestos, además de no ser tóxicos permitiendo su aplicación en entornos ambientales (Snehal y Lohani, 2018). Con un diámetro que oscila entre 5 y 20 nm, estas nanopartículas tienen la capacidad de penetrar fácilmente la pared celular y la membrana plasmática, así como de ingresar a través de las aberturas estomáticas o la base de los tricomas cuando se aplica de manera foliar. La eficacia de la absorción de silicio dependerá del método de aplicación (Goswami et al., 2022).

En el ámbito agrícola, la aplicación foliar de nanopartículas de silicio en plantas de maíz ha demostrado incrementar los niveles de compuestos fenólicos y enzimas como la fenilalanina amonio

lasa, la peroxidasa y polifenol oxidasa. Este aumento contribuye a desarrollar resistencia frente a patógenos como *Fusarium oxysporum* Schltdl. (Nectriaceae) y *Aspergillus niger* Tieghem (Aspergillaceae) (Suriyaprabha et al., 2014).

La investigación en nanomateriales de Si está ganando impulso en el ámbito de la agricultura. La capacidad del Si para fortalecer las plantas y mejorar su autodefensa ofrece una alternativa prometedora a los pesticidas sintéticos, ayudando así a prevenir la resistencia de plagas (Král'ová y Jampílek, 2022). Este enfoque no solo es eficaz, sino también sostenible, lo que lo convierte en una solución muy atractiva para abordar los desafíos agrícolas.

COMENTARIOS FINALES

El papel del silicio (Si) en los cultivos agrícolas es multifacético y esencial para el desarrollo y la resistencia de las plantas, y lo convierte en un componente importante en la gestión de cultivos para mejorar la productividad y la sostenibilidad. Además, el ciclo biogeoquímico del Si y su absorción en la planta revelan su importancia en la salud y el crecimiento de los cultivos. La contribución al control de plagas y enfermedades se debe a la activación de mecanismos de defensa vegetal, lo que mejora la resistencia natural de las plantas. La influencia hormética del Si se caracteriza por su habilidad para estimular respuestas positivas en las plantas, propiciando la producción y la resistencia. La consideración del silicio como un nanomaterial aporta una perspectiva innovadora, evidenciando aplicaciones potenciales en la agricultura sostenible. La comprensión y la aplicación adecuada del Si en la agricultura pueden desempeñar un papel fundamental en la optimización de la productividad, la salud de las plantas y la sostenibilidad de los cultivos. Sin embargo, es crucial llevar a cabo investigaciones exhaustivas, particularmente con nano formulaciones de Si, para comprender mejor su efectividad en diversos entornos agrícolas. Estos experimentos de campo son indispensables para evaluar cómo estas

tecnologías funcionan en condiciones reales y cómo pueden integrarse de manera efectiva en los sistemas de cultivo existentes. Solo con una comprensión sólida y evidencia científica se puede avanzar hacia una agricultura más sostenible y productiva.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT), quien brindó su apoyo a la becaria de doctorado María Yesenia Ruiz Aguilar (CVU 655777).

REFERENCIAS

- Acevedo, F.E., Peiffer, M., Ray, S., Tan, C.W. y Felton, G.W. (2021). Silicon-Mediated Enhancement of Herbivore Resistance in Agricultural Crops. *Frontiers in Plant Science*, 12, e631824. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.631824>
- Agathokleous, E. y Calabrese, E.J. (2019). Hormesis can enhance agricultural sustainability in a changing world. *Global Food Security*, 20, 150-155. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.02.005>
- Ahammed, G.J. y Yang, Y. (2021). Mechanisms of silicon-induced fungal disease resistance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 165, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.031>
- Ahmad, Z., Waraich, E.A., Barutçular, C., Hossain, A., Erman, M., Çiğ, F., Gharib, H. y Sabagh, A.E.L. (2020). Enhancing drought tolerance in wheat through improving morphophysiological and antioxidants activities of plants by the supplementation of foliar silicon. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 89(3), 529-539. <https://doi.org/10.32604/phyton.2020.09143>
- Akhtar, N., Ilyas, N., Mashwani, Z.R., Hayat, R., Yasmin, H., Noureldeen, A. y Ahmad, P. (2021). Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nano-particles for amelioration of drought stress in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 160-176. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.039>
- Alhousari, F. y Greger, M. (2018). Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. *Plants*, 7(2), 1-11. <https://doi.org/10.3390/plants7020033>
- Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. *Plants*, 7(3), e54. <https://doi.org/10.3390/plants7030054>
- Barão, L. (2023). The Use of Si-Based Fertilization to Improve Agricultural Performance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 1096-1108. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01106-1>
- Basu, S., Kumar, G., Kumari, N., Kumari, S., Shekhar, S., Kumar, S. y Rajwanshi, R. (2020). Reactive oxygen species and reactive nitrogen species induce *Lysigenous aerenchyma* formation through programmed cell death in rice roots under submergence. *Environmental and Experimental Botany*, 177, e104118. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104118>
- Belz, G.R. y Duke, O.S. (2022). Modelling biphasic hormetic dose responses to predict sub-NOAEL effects using plant biology as an example. *Current Opinion in Toxicology*, 29, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2022.01.003>
- Bhat, J.A., Rajora, N., Raturi, G., Sharma, S., Dhiman, P., Sanand, S., Shivaraj, S.M., Sonah, H. y Deshmukh, R. (2021). Silicon nanoparticles (SiNPs) in sustainable agriculture: major emphasis on the practicality, efficacy and concerns. *Nanoscale Advances*, 3(14), 4019-4028. <https://doi.org/10.1039/DINA00233C>
- Bokor, B., Bokorová, S., Ondoš, S., Švubová, R., Lukačová, Z., Hýblová, M., Szemes, T. y Lux, A. (2015). Ionome and expression level of Si

- transporter genes (Lsi1, Lsi2, and Lsi6) affected by Zn and Si interaction in maize. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 6800-6811. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3876-6>
- Brugière, T. y Exley, C. (2017). Callose-associated silica deposition in *Arabidopsis*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 39, 86-90. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2016.08.005>
- Calegari, M.R., De-Souza, E., Mozer, J.H., Marcolin, L. y Da Fonseca, C.F. (2022). Fitólitos-Uma ferramenta para estudos de reconstituição paleoambiental. *Derbyana*, 43, 1-24. <https://doi.org/10.14295/derb.v43.778>
- Cedergreen, N., Ritz, C. y Streibig, J.C. (2005). Improved empirical models describing hormesis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24(12), 3166-3172. <https://doi.org/10.1897/05-014r.I>
- Cherif, M., Benhamou, N., Menzies, J.G. y Belanger, R.R. (1992). Silicon induced resistance in cucumber plants against *Pythium ultimum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 41, 411-425. [https://doi.org/10.1016/0885-5765\(92\)90053-X](https://doi.org/10.1016/0885-5765(92)90053-X)
- Cutler, G.C., Amichot, M., Benelli, G., Guedes, R.N.C., Qu, Y., Rix, R.R., Ullah, F. y Desneux, N. (2022). Hormesis and insects: Effects and interactions in agroecosystems. *Science of The Total Environment*, 825, e153899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153899>
- Davison, P.G., Manrique, R.R. y Sánchez, M.G. (2009). Hormesis: antecedentes e implicaciones en los sistemas biológicos. *Latin American Journal of Pharmacy*, 28(6), 954-960.
- Debona, D., Rodrigues, F.A. y Datnoff, L.E. (2017). Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 85-107. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516>
- De-Tombeur, F., Turner, B.L., Laliberté, E., Lambers, H., Mahy, G., Faucon, M.P., Zemunik, G. y Cornelis, J.T. (2020). Plants sustain the terrestrial silicon cycle during ecosystem retrogression. *Science*, 369(565), 1245-1248. <https://doi.org/10.1126/science.abc0393>
- Elizabath, A., Babychan, M., Mathew, A.M. y Syriac, G.M. (2019). Application of Nanotechnology in Agriculture. *International Journal of Pure y Applied Bioscience*, 7(2), 131-139. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.6493>
- El-Shetehy, M., Moradi, A., Maceroni, M., Reinhardt, D., Petri-Fink, A., Rothen-Rutishauser, B., Mauch, F. y Schwab, F. (2021). Silica nanoparticles enhance disease resistance in *Arabidopsis* plants. *Nature Nanotechnology*, 16(3), 344-353. <https://doi.org/10.1038/s41565-020-00812-0>
- Erofeeva, E.A. (2022). Environmental hormesis of non-specific and specific adaptive mechanisms in plants. *Science of the Total Environment*, 804, e150059. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150059>
- Fawe, A., Menzies, J.G., Chérif, M. y Bélanger, R.R. (2001). Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: Silicon in Agriculture. (Vol. 8, pp. 159-169). Elsevier. Nederland. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80013-6](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80013-6)
- Gomes, F.B., Campos-De-Moraes, J., Donizete-dos-Santos, C. y Goussain, M.M. (2005). Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Ciencias Agrícolas*, 62(6), 547-551. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000600006>
- Gómez-Merino, F.C., Trejo-Téllez, L.I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H.F. y Ramírez-Olvera, S.M. (2020). Silicon flow from root to shoot in pepper: a comprehensive in silico analysis reveals a potential linkage between gene expression and hormone

- signaling that stimulates plant growth and metabolism. *PeerJ*, 8, e10053. <https://doi.org/10.7717/peerj.10053>
- Goswami, P., Mathur, J. y Srivastava, N. (2022). Silica nanoparticles as novel sustainable approach for plant growth and crop protection. *Helijon*, 8(7), e09908. <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2022.e09908>
- Islam, W., Tayyab, M., Khalil, F., Hua, Z., Huang, Z. y Chen, H.Y.H. (2020). Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 168, e104641. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641>
- James, D.G. y Grasswitz, T.R. (2005). Synthetic herbivore-induced plant oláitiles increase field captures of parasitic wasps. *BioControl*, 50(6), 871-880. <https://doi.org/10.1007/s10526-005-3313-3>
- Kendig, L.E., Le, H.H. y Belcher, M.S. (2010). Defining hormesis: evaluation of a complex concentration response phenomenon. *International Journal of Toxicology*, 29(3), 235-246. <https://doi.org/10.1177/1091581810363012>
- Khan, I., Awan, S.A., Rizwan, M., Ali, S., Hassan, M.J., Brestic, M., Zhang, X. y Huang, L. (2021). Effects of silicon on heavy metal uptake at the soil-plant interphase: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 222, e112510. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112510>
- Králová, K. y Jampílek, J. (2022). Metal- and Metalloid-Based Nanofertilizers and Nanopesticides for Advanced Agriculture. In: *Inorganic Nanopesticides and Nanofertilizers*. Springer, Cham. pp. 295-361. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94155-0_10
- Kulich, I., Vojtíková, Z., Sabol, P., Ortmannová, J., Neděla, V., Tihlaříková, E. y Záorský, V. (2018). Exocyst subunit EXO70H4 has a specific role in callose synthase secretion and silica accumulation. *Plant Physiology*, 176(3), 2040-2051. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01693>
- Kvedaras, O.L., An, M., Choi, Y.S. y Gurr, G.M. (2010). Silicon enhances natural enemy attraction and biological control through induced plant defences. *Bulletin of Entomological Research*, 100(3), 367-371. <https://doi.org/10.1017/S0007485309990265>
- Li, B., Sun, L., Huang, J., Göschl, C., Shi, W., Chory, J. y Busch, W. (2019). GSNOR provides plant tolerance to iron toxicity via preventing iron-dependent nitrosative and oxidative cytotoxicity. *Nature Communications*, 10(1), e3896. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11892-5>
- Liu, J., Zhu, J., Zhang, P., Han, L., Reynolds, O.L., Zeng, R., Wu, J., Shao, Y., You, M. y Gurr, G.M. (2017). Silicon supplementation alters the composition of herbivore induced plant volatiles and enhances attraction of parasitoids to infested rice plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, e1256. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01256>
- Luyckx, M., Hausman, J.F., Lutts, S. y Guerriero, G. (2017). Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C.B., Trejo, C. y Terrazas, T. (2021). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, 27(2), 1-16. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Mandlik, R., Thakral, V., Raturi, G., Shinde, S., Nikolić, M., Tripathi, D.K., Sonah, H. y Deshmukh, R. (2020). Significance of silicon uptake, transport, and deposition in plants. *Journal of Experimental Botany* 71(21), 6703-6718. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa301>
- Nawaz, M.A., Zakharenko, A.M., Zemchenko, I.V., Haider, M.S., Ali, M.A., Imtiaz, M., Chung, G., Tsatsakis, A., Sun, S. y Golokhvast, K.S. (2019). Phytolith formation in plants:

- From soil to cell. *Plants* 8(8), 249-281.
<https://doi.org/10.3390/plants8080249>
- Noruzi, M., Rezvanfar, M.A. y Daghighi, S.M. (2024). Benchmark dose. In: Encyclopedia of Toxicology. Academic Press. pp. 939-944.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00786-7>
- Ochoa, R. (2013). Pathology Issues in the design of toxicology studies. In: Handbook of Toxicologic Pathology. Elsevier. pp. 595-618.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00019-4>
- Petkowski, J.J., Bains, W. y Seager, S. (2020). On the potential of silicon as a building block for life. *Life*, 10 (6), e84.
<https://doi.org/10.3390/life10060084>
- Pozza, E.A., Pozza, A.A.A. y Dos Santos-Botelho, D.M. (2015). Silicon in plant disease control. *Revista Ceres*, 62(3), 323-331.
<https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030013>
- Ramezani, M., Ramezani, F. y Gerami, M. (2019). Nanoparticles in Pest Incidences and Plant Disease Control. In: Nanotechnology for Agriculture: Crop Production & Protection. Springer, Singapore. pp. 233-272.
https://doi.org/10.1007/978-981-32-9374-8_12
- Rastogi, A., Tripathi, D.K., Yadav, S., Chauhan, D.K., Živčák, M., Ghorbanpour, M., El-Sheery, N.I. y Brestic, M. (2019). Application of silicon nanoparticles in agriculture. *Biotech*, 9(3): e90. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1626-7>
- Raturi, G., Sharma, Y., Rana, V., Thakral, V., Myaka, B., Salvi, P., Singh, M., Dhar, H. y Deshmukh, R. (2021). Exploration of silicate solubilizing bacteria for sustainable agriculture and silicon biogeochemical cycle. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 827-838.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.039>
- Reynolds, O.L., Padula, M.P., Zeng, R. y Gurr, G.M. (2016). Silicon: Potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>
- Rezvanfar, M.A. (2014). Benchmark Dose. Encyclopedia of Toxicology: 3rd. Edition. Academic Press. USA. 5220 p. 402-406.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00588-1>
- Sahebi, M., Hanafi, M.M., Nor, A.A.S., Rafii, M.Y., Azizi, P., Tengoua, F.F., Mayzaitul, A.J.N. y Shabanimofrad, M. (2015). Importance of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants. *BioMed Research International*, 2015, 1-16.
<https://doi.org/10.1155/2015/396010>
- Sarai, N. S., Levin, B. J., Roberts, J. M., Katsoulis, D. E., y Arnold, F. H. (2021). Biocatalytic transformations of silicon—The other group 14 element. *ACS Central Science*, 7(6), 944-953.
- Saw, G., Nagdev, P., Jeer, M. y Murali-Baskaran R. K. (2023). Silica nanoparticles mediated insect pest management. *Pestic Biochem Physiol*, 194 (I05524)
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.I05524>
- Sharma, B., Tiwari, S., Kumawat, K. C., y Cardinale, M. (2023). Nano-biofertilizers as bio-emerging strategies for sustainable agriculture development: Potentiality and their limitations. *Science of The Total Environment*, 860, e160476.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160476>
- Shoaib, A., Elabasy, A., Waqas, M., Lin, L., Cheng, X., Zhang, Q., y Shi, Z. H. (2018). Entomotoxic effect of silicon dioxide nanoparticles on *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory conditions. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 100(I), 80-91.
<https://doi.org/10.1080/02772248.2017.1387786>
- Schaller, J., Puppe, D., Kaczorek, D., Ellerbrock, R. y Sommer, M. (2021). Silicon cycling in soils revisited. *Plants*, 10(2), 1-33.
<https://doi.org/10.3390/plants10020295>

- Singh, P.R., Handa, R. y Manchanda, G. (2021). Nanoparticles in sustainable agriculture: an emerging opportunity. *Journal of Controlled Release*, 329, 1234-1248. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.10.051>
- Snehal, S. y Lohani, P. (2018). Silica nanoparticles: Its green synthesis and importance in agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(5), 3383-3393.
- Song, X.P., Verma, K.K., Tian, D.D., Zhang, X.Q., Liang, Y.J., Huang, X., Li, C.N. y Li, Y.R. (2021). Exploration of silicon functions to integrate with biotic stress tolerance and crop improvement. *Biological Research*, 54(19), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40659-021-00344-4>
- Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Kavitha, K., Yuvakkumar, R., Rajendran, V. y Kannan, N. (2014). Application of silica nanoparticles in maize to enhance fungal resistance. *IET Nanobiotechnology*, 8(3), 133-137. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2013.0004>
- Thind, S., Hussain, I., Ali, S., Hussain, S., Rasheed, R., Ali, B. y Hussain, H.A. (2020). Physiological and biochemical bases of foliar Silicon-induced alleviation of cadmium toxicity in wheat. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(4), 2714-2730. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00337-4>
- Tréguer, P.J., Sutton, J.N., Brzezinski, M., Charette, M.A., Devries, T., Dutkiewicz, S., Ehlert, C., Hawkings, J., Leynaert, A., Liu, S.M., Monferrer, N.L., López-Acosta, M., Maldonado, M., Rahman, S., Ran, L. y Rouxel, O. (2021). Reviews and syntheses: The biogeochemical cycle of silicon in the modern ocean. *Biogeosciences*, 18(4), 1269-1289. <https://doi.org/10.5194/bg-18-1269-2021>
- Trejo-Téllez, L.I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H.F., Ramírez-Olvera, S.M., Bello-Bello, J.J. y Gómez-Merino, F.C. (2020). Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. *PeerJ*, 2020(6), e9224. <https://doi.org/10.7717/peerj.9224>
- Vander, L.C. y Delvaux, B. (2019). The weathering stage of tropical soils affects the soil-plant cycle of silicon, but depending on land use. *Geoderma*, 351, 209-220. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.033>
- Vargas-Hernández, M., Macias-Bobadilla, I., Guevara-González, R.G., Rico-García, E., Ocampo-Velázquez, R.V., Avila-Juarez, L. y Torres-Pacheco, I. (2020). Nanoparticles as potential antivirals in agriculture. *Agriculture (Switzerland)*, 10(10), e444. <https://doi.org/10.3390/agriculture1010044>
- Vargas-Hernández, M., Macias-Bobadilla, I., Guevara-González, R.G., Romero-Gómez, S.J., Rico-García, E., Ocampo-Velázquez, R.V., Alvarez-Arquieta, L.L. y Torres-Pacheco, I. (2017). Plant hormesis management with biostimulants of biotic origin in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 8, e1762. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01762>
- Verma, K.K., Song, X.P., Tian, D.D., Guo, D.J., Chen, Z.L., Zhong, C.S., Nikpay, A., Singh, M., Rajput, V.D., Singh, R.K., Minkina, T. y Li, Y.R. (2021). Influence of silicon on biocontrol strategies to manage biotic stress for crop protection, performance, and improvement. *Plants*, 10(10), e2163. <https://doi.org/10.3390/plants10102163>
- Vu, Q., Dossa, G.S., Mundaca, E.A., Settele, J., Crisol-Martínez, E., y Horgan, F.G. (2022). Combined effects of soil silicon and host plant resistance on planthoppers, blast and bacterial blight in tropical rice. *Insects*, 13(7), e604. <https://doi.org/10.3390/insects13070604>
- Wang, M., Gao, L., Dong, S., Sun, Y., Shen, Q. y Guo, S. (2017). Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00701>
- Yamaji, N., Sakurai, G., Mitani-Ueno, N. y Ma, J.F. (2015). Orchestration of three transporters and distinct vascular structures in node for

- intervascular transfer of silicon in rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(36), 11401-11406. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508987112>
- Yang, L., Han, Y., Li, P., Li, F., Ali, S. y Hou, M. (2017). Silicon amendment is involved in the induction of plant defense responses to a phloem feeder. *Scientific Reports*, 7(1): 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04571-2>
- Zargar, S.M., Mahajan, R., Bhat, J.A., Nazir, M., y Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in plant stress tolerance: opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3. Biotech*, 9(3), e73. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1613-z>
- Zhao, D., Xu, C., Luan, Y., Shi, W., Tang, Y. y Tao, J. (2021). Silicon enhances stem strength by promoting lignin accumulation in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 769-779. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.016>
- Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., y Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, e110270. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.11.0270>

POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ÁRBOLES DE NAVIDAD EN OAXACA

POTENTIAL FOR THE PRODUCTION AND COMMERCIALIZATION OF CHRISTMAS TREES IN OAXACA

¹Isabel Esmeralda Bernardino-Pérez^{1D}, ^{2§}Gerardo Rodríguez-Ortiz^{2D}

^{1,2} Estudiante, investigador, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI). Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. [§]Autor de correspondencia: (esmebernardino.8899@gmail.com).

Introducción. La costumbre de colocar un árbol de navidad es una tradición en el mundo antiguo, remonta a la Edad Media en los territorios escandinavos y el centro de Europa simbolizando la esperanza de un año nuevo colmado de posibilidades; con el paso del tiempo fueron ganando popularidad a nivel mundial llegando en el siglo XVIII a tierras inglesas y posteriormente expandiéndose a Estados Unidos y al resto del mundo donde perviven en nuestros días inspirando el deseo de celebrar la magia de la Navidad; e idealmente se involucra a toda la familia en el proceso de decoración del árbol (Hidalgo-Pérez, 2019). Debido a su uso tradicional y a su importancia económica son ampliamente utilizados en todo el mundo, debido a esto se utiliza una variedad de especies como árboles de navidad (Xu y Braüner-Nielsen, 2023). En México existe una larga tradición y un gran mercado, donde con un promedio de 5 a 8 años las especies como *Pinus ayacahuite*, *Pinus cembroides*, *Abies religiosa*, *Pinus greggii* y *Pseudotsuga menziesii* (Zamora-Martínez, 2015), requieren para completar un ciclo de producción, además posee una superficie potencial de 208 millones de hectáreas para su inclusión en un programa de manejo forestal sostenible, de las cuales 830,000 ha son potencialmente aptas para la forestación comercial (PRONAFOR, 2020). En Estados Unidos, los precios oscilan entre 60 y 140 dólares, según el tamaño y el color, generalmente, cuanto mayor sea el precio más grande y estable será el árbol (Board et al., 2023). Sin embargo, en México el precio se determina en

función de la ubicación del punto de venta y de las características, es decir especie, altura, forma, etc. esto puede oscilar de 200 hasta 2800 pesos (CONAFOR, 2022).

Un factor muy importante a considerar en la importación de productos naturales, implica el riesgo de introducción de plagas y enfermedades en México, por lo tanto, la producción de árboles de navidad de manera local representa una estrategia para evitar patógenos; por otro lado, los productores deben de evaluar la confiabilidad de las prácticas de manejo que implementan y adapten el conocimiento actual sobre el manejo integrado de plagas (MIP) a las condiciones locales (Talgo et al., 2020). Para producir árboles de navidad comercializables de alta calidad, es necesario un buen plan de manejo de malezas ya que estos pueden competir por nutrientes, agua, espacio, luz, oxígeno e incluso albergar plagas y patógenos, para la supervivencia inicial de las plántulas de coníferas y en los primeros tres años después del trasplante (durante el período de establecimiento) en el campo, es fundamental el control eficaz de plagas y enfermedades (Saha, Cregg & Kuar-Sidhu, 2020).

Dado que se trata de una actividad que permite plantar de 2000 a 4000 árboles ha⁻¹, la mayoría de los árboles se cultivan en pequeñas parcelas que superan los 10,000 m² con buenas características ramaje tupido o "pachón", color muy verde (CONAFOR, 2011). A diferencia de los árboles artificiales, que consumen grandes cantidades de recursos naturales en su producción y provocan

contaminación del aire (Torres y Carvajal, 2012). Además, su belleza y confiabilidad lo convierten en una opción muy atractiva para muchas personas que definitivamente aumentará su demanda y aceptación en el mercado (CONAFOR, 2017).

El estado de Oaxaca cuenta con una gran variedad biológica debido a su ubicación geográfica, por consiguiente las comunidades y ejidos del estado aprovechan los recursos, incluyendo las plantaciones forestales las cuales ofrecen una variedad de ventajas, incluidas las ambientales, económicas y sociales, donde los productores y consumidores satisfacen una necesidad social de bienestar; el desarrollo de plantaciones de árboles de navidad no tiene un impacto negativo en el medio ambiente ni viola las normas ambientales; en cambio, genera servicios ambientales (De La Rosa-Zamora, Pérez-Soto y Cruz-Cruz., 2017). Ante el creciente déficit en la producción y comercialización de los árboles de navidad naturales en México, es necesario reconocer la importancia del sector forestal en el estado de Oaxaca. En este contexto, la producción surge como una oportunidad para diversificar las fuentes de ingreso de las comunidades forestales como es el caso de San Pablo Cuatro Venados, Ixtlán de Juárez, Capulalpam de Méndez y San Pedro el Alto, comunidades de gran potencial, ya que poseen factores deseables como precipitaciones superiores a 1200 mm, clima templado-frío y altitudes superiores a 2000 m, suelos profundos y bien drenados, condiciones ideales para los árboles, por lo tanto se obtendrá un árbol de altura, color y forma adecuados para la comercialización, (CONAFOR, 2015). Además de los beneficios económicos y medioambientales, la producción de árboles en Oaxaca podría generar empleo en las comunidades, ofreciendo oportunidades de trabajo y desarrollo local; asimismo, se podrían generar alianzas con el sector turístico, promoviendo el turismo rural y resaltando la belleza de los paisajes oaxaqueños (CONAFOR, 2021).

Desarrollo. En México hay aproximadamente 750 productores de árboles de navidad de los cuales alrededor de 500 cultivan en viveros especializados y el resto en plantaciones forestales comerciales, muchos de estos productores reciben apoyo del Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (CONAFOR, 2022). En los últimos años en México se ha incrementado un aumento en la demanda de árboles de navidad naturales que supera la capacidad de producción del país, por esta razón aproximadamente un millón doscientos de árboles son importados principalmente de Estados Unidos y Canadá (CONAFOR, 2021). Por otro lado, la zona sur oriente del Estado de México es una de las áreas más turísticas de México debido a su amplia gama de recursos naturales y actividades; por lo tanto, es una de las zonas más visitadas durante todo el año, especialmente durante la temporada navideña, ya que cuenta con una gran cantidad de bosques dedicados a la producción y comercialización de árboles de navidad; un ejemplo clave son los parques ecoturísticos donde se realizan actividades e incluso se corta un árbol de navidad para la temporada navideña, por consiguiente son una parte importante del sector turístico de la región (Guzmán-Rojas, 2019). Sin embargo, en el estado de Oaxaca aún no se han establecido plantaciones dedicadas a este cultivo debido a que la mayoría de las comunidades utiliza sus terrenos con fines maderables, es importante destacar que las condiciones naturales en la región tienen potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, lo que representa una oportunidad para impulsar la producción y satisfacer la demanda local y nacional (Caballero-Cruz & Treviño-Garza, 2018).

La producción de árboles de navidad en México se basa en especies que se distribuye en el país, lo que favorece su conservación y así se evita la introducción de especies exóticas; por lo tanto, las especies que más se cultivan son: *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw; *Pseudotsuga menziesii* Mirb; *Pinus greggii* Engelm. ex Parl; *Pinus cembroides* Zucc; *Pseudotsuga macrolepis* Flous, *Abies religiosa* (HBK.) Cham. &

Schltdl; *Pinus halepensis* Miller *Picea* sp. Link; *Cupressus lindleyii* Klotzsch ex Endl (CONAFOR, 2022). Pero, además se conserva el hábitat (referido a alimentación, abrigo, sitio reproductivo y generación de microclimas específicos) para un gran número de especies asociadas; en este caso se pretende trabajar con una especie endémica del estado de Oaxaca *Abies hickelii* Flous & Gaussen, incluida en la NOM-059 (SEMARNAT, 2010) en la categoría: peligro de extinción. *Abies hickelii* tiene potencial para ser un árbol de navidad debido a su forma, color, fragancia, duración y sostenibilidad, además para la conservación de las especies (González-Sánchez, 2015).

Las comunidades con potencial sobresaliente en la producción de árboles de navidad son: San Pablo Cuatro Venados, localizado a 16°59' LN, 96°53' LO y altitud de 2420 m (INEGI, 2010); Ixtlán de Juárez, en 17° 19' 50" LN y 96° 29' 14" LO, a una altitud de 2030 m (INEGI, 2009); Capulálpam de Méndez, 17°18'22" LN y 96°26'46" LO, a una altitud de 2064 m (INEGI, 2011); y San Pedro el Alto, en 16° 02' 00"

LN, 96° 28' 00" LO y 2074 m de altitud (Serrano-Ramírez et al, 2022), (Figura I).

En México se tienen empresas que se dedican a plantaciones forestales comerciales de árboles de navidad, de los cuales se identificaron 14 estados con un total de 302 productores, que cuentan con al menos una empresa dedicada a esta actividad; los estados de Campeche y Tamaulipas tienen un único productor, mientras que el Estado de México lidera en número de productores, con un total de 218. En relación a las especies que más se utilizan en estas plantaciones, destaca: *Abies religiosa* (HBK.) Cham. & Schltdl., *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw., *Abies* sp Mill., *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Pinus eldarica* Medw., *Pinus cembroides* Zucc., *Pseudotsuga* sp Mirb., *Chamaecyparis* sp spach., *Cedro blanco*, *Cupressus lindleyii* Klotzsch ex Endl. *Cupressus lusitanica* Mill y *Pinus halepensis* Miller (Tabla I); estas especies son especialmente seleccionadas ya que cumplen con las condiciones necesarias para ser utilizadas como árboles de navidad, tales como su forma, apariencia, así como su capacidad para mantenerse frescas y decorativas durante las fiestas.

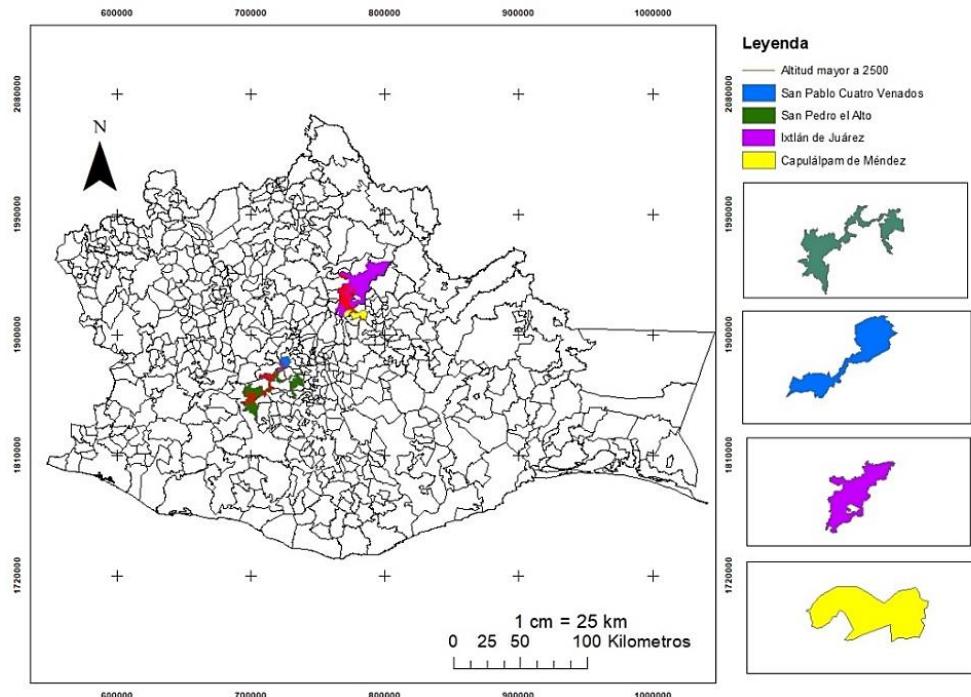


Figura I. Comunidades del estado de Oaxaca con potencial para plantaciones forestales comerciales para árboles de navidad. Fuente: elaboración propia.

Tabla I. Directorio actual de productores de árboles de navidad a nivel nacional. Fuente: elaboración propia, con datos tomado de <https://directoriorboles.cnf.gob.mx/>

Estado	Número total de productores	Especies utilizadas
Campeche	1	<i>Pinus greggii</i> y <i>Pinus eldarica</i>
Coahuila	2	<i>Pinus cembroides</i>
Ciudad de México	13	<i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus ayacahuite</i>
Guanajuato	4	<i>Pinus greggii</i> y <i>Pinus cembroides</i>
Jalisco	2	<i>Pinus ayacahuite</i> y <i>Pseudotsuga</i> sp.
Estado de México	218	<i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus ayacahuite</i> , <i>Pseudotsuga</i> sp. <i>Chamaecyparis</i> sp. <i>Cupressus lusitánica</i> , <i>Cupressus lindleyii</i> y <i>Pinus halepensis</i>
Michoacán	5	<i>Pinus ayacahuite</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> y <i>Abies</i> sp.
Morelos	3	<i>Pinus ayacahuite</i> y <i>Abies</i> sp.
Puebla	13	<i>Pinus ayacahuite</i> , <i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus maximartinezii</i> , <i>Pinus greggii</i> , <i>Cupressus lusitánica</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>
Querétaro	3	<i>Pinus ayacahuite</i>
Tamaulipas	1	<i>Pinus cembroides</i>
Tlaxcala	4	<i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus ayacahuite</i> y <i>Pinus cembroides</i>
Veracruz	31	<i>Abies</i> sp., <i>Cupressus lindleyi</i> , <i>Pinus ayacahuite</i> y <i>Pseudotsuga</i> sp.
Zacatecas	2	<i>Pinus eldarica</i> y <i>Pinus cembroides</i>

La productividad de las especies depende de múltiples factores, tanto del entorno natural (topografía, clima y suelo) como del manejo controlado; dado que los árboles que se utilizan con fines comerciales deben encontrarse en las condiciones óptimas del entorno físico, esto garantizará obtener una productividad sostenida y rentable; para obtener el producto deseado durante toda la temporada las plantaciones deben establecerse en terrenos bien ubicados de fácil acceso y vías de comunicación (CONAFOR, 2015). Específicamente requiere altitudes entre 1200 m y 3500 m, precipitación media anual 600 a 1800 mm, temperatura entre -7 °C min y 40 °C máx., suelos poco profundos bien drenados, medianos pedregosos, húmedos la mayor parte del año, textura arenosa-arcillosa, con pH de 4 a 8, ricos en materia orgánica; normalmente no se adapta al calor y ambientes áridos, pero resiste heladas. Además, se pueden producir más de 2000 árboles ha⁻¹ con buenas características (ramaje tupido o "pachón", color muy verde) (CONAFOR, 2011). La luz o radiación fotosintéticamente activa, disponibilidad de agua, CO₂ atmosférico, temperatura y nutrientes disponibles son los recursos que determinan la productividad del sitio de los árboles (Espinosa-Bancalari et al., 2017). La

selección del sitio adecuado también es uno de los elementos cruciales que debe considerarse con rigor si se desea maximizar el éxito en el establecimiento de plantaciones forestales, por ello, es fundamental estudiar exhaustivamente la capacidad del terreno para provechar el potencial productivo del suelo las condiciones climáticas de las especies seleccionadas (Hernández-Zaragoza et al., 2019).

Abies hickelii se presenta en áreas discontinuas, limitadas a regiones montañosas y templadas (Martínez-Méndez et al., 2016). En condiciones físicas y geográficas difíciles, entre cañones profundos, con pendientes del 46-75 %, principalmente en exposición norte, con nieblas constantes y pocos días soleados, en altitudes elevadas de 2700 a 3600 m (Pineda-López, Sánchez-Velásquez y Noa-Carrazana, 2015). Es una especie del bosque templado más sensible al cambio climático porque su hábitat requiere condiciones de temperatura limitadas; en cuanto a la humedad, se trata de una especie que se encuentra en zonas con altas precipitaciones anuales (1332 a 1792 mm de precipitaciones), con períodos de tiempo más cortos; en zonas con precipitaciones reducidas, se espera que las

condiciones sean inadecuadas para que esta especie viva y sobreviva porque es más sensibles al cambio climático (Gutiérrez y Trejo, 2014).

La comercialización ayuda a los productores a obtener ganancias económicas; sin embargo, la venta de árboles navideños naturales se enfrenta a varios desafíos, incluida la falta de mercados especializados, los intermediarios, la falta de organización entre los productores y sobre todo la competencia contra árboles navideños artificiales fabricados fuera del país; aunque la deforestación es un problema muy grave en el Estado de México, con el establecimiento de plantaciones comerciales de árboles de navidad se ofrece una alternativa para mantener la cobertura arbórea y reducir la presión sobre los bosques naturales (González-Camacho, 2022). Ahora bien, los árboles se pueden llevar a un centro de acopio después de haber terminado su vida útil, donde son triturados y compostados para producir fertilizantes, que luego se aplican en los viveros forestales, cerrando así los ciclos biogeoquímicos de los árboles (PROBOSQUE, 2022).

Prospectiva. Algunas comunidades rurales del estado de Oaxaca cuentan con las condiciones ideales para el crecimiento y desarrollo de los árboles de navidad mejorando el rendimiento y la calidad de las plantas, esto representa una ventaja significativa en el mercado donde la calidad del producto es crucial para el éxito comercial presentando una oportunidad de negocio para los productores locales. Además, las autoridades estatales y el sector forestal han comenzado a apoyar el desarrollo de esta actividad proporcionando programas de capacitación, asistencia técnica y promoviendo la comercialización, esta colaboración fortalece la cadena de producción en Oaxaca como un lugar prominente en la producción de árboles de navidad. Además, sería un medio vida para las comunidades esto puede crear oportunidades de empleo y contribuye al desarrollo económico y mejores condiciones de vida de las personas. Durante la temporada navideña le recomendamos que piense en árboles naturales, cuya compra beneficiará no

solo a la economía del país, sino también al medio ambiente. A pesar de que la incorporación de plantaciones ofrece una serie de oportunidades es necesario considerar detenidamente los posibles efectos negativos que esta actividad pueda provocar en el suelo, el agua, la competencia con especies nativas y la afectación de cultivos agrícolas; es por ello que es fundamental llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los pros y contras antes de tomar una decisión sobre su implementación para poder tomar decisiones que aseguren el máximo beneficio para todas las partes involucradas.

REFERENCIAS

- Board, R. C. T., Pierskalla, C., Deng, J., McGill, D., & Jiang, S. (2023). Christmas tree shopping environments, mental fatigue recovery, and shopping preferences: A nationwide marketing study. Project Number: CTPB Project # 22-11-WVU, WVU OSP #22-922
- Caballero-Cruz, P., & Treviño-Garza, E. J. (2018). Análisis de la pertinencia de las plantaciones forestales en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 400-414.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2011). *Manual para producción de árboles de navidad*. <http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=507>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2015). *Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. A 15 años de su creación*. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documents/ver.aspx?grupo=43&articulo=6042>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2017). *Programas Específicos de Intervención Institucional*. Programa de Plantaciones Forestales 2014-2018. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/262729/16pi_conaforL2016.pdf
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2021). *Producción de árboles de navidad en México*.

- [https://www.gob.mx/inifap/articulos/producción-de-arboles-de-navidad-en-mexico](https://www.gob.mx/inifap/articulos/produccion-de-arboles-de-navidad-en-mexico)
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2022). *Árboles de Navidad naturales y mexicanos, ¿Por qué elegirlos?* <https://www.gob.mx/conafor/articulos/arboles-de-navidad-naturales-y-mexicanos-por-que-elegirlos>.
- De la Rosa-Zamora, A., Pérez-Soto, F., y Cruz-Cruz, N., V. (2017). *Producción de árboles de navidad (Abies hickelii), en México*. F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, R. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-II. ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.
- Espinosa-Bancalari, M., Acuña, C. E., García-Sandoval, S. J., Rodríguez-Leiva, R. y Rubilar-Pons, R. (2017). *Silvicultura de bosques plantados con fines productivos*. Universidad de Concepción, Concepción (Chile). pp. 397.
- González-Camacho, G. (2022). Ventaja de los árboles navideños naturales. *Revista Ciencias*, 6(4I), 70-71.
- González-Sánchez, S. Y. (2015). La importancia del pinabete *Abies guatemalensis* en el departamento de Jalapa; incidencia social, cultural y económica de una especie endémica. *Revista Naturaleza, Sociedad y Ambiente*, 2(1), 71-82.
- Gutiérrez, E. y Trejo, I. (2014) Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 179–188. <https://doi.org/10.7550/rmb.37737>
- Guzmán-Rojas, J. (2019). Marketing ambiental para posicionar al sector turístico de la zona sur oriente del estado de México. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*. 14(2), 195-199.
- Hernández-Zaragoza, P., Valdez-Lazalde, J. R., Aldrete, A. & Martínez-Trinidad, T. (2019). Evaluación multicriterio y multiobjetivo para optimizar la selección de áreas para establecer plantaciones forestales. *Madera y Bosques*, 25(2), e2521819.
- <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521819>
- Hidalgo-Pérez, E. (2019). Algunas tradiciones navideñas españolas. *Revista de Artes y Humanidades*, 67, 8-32.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010*. San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20292.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Anuario estadístico del estado de Oaxaca*. <https://www.inegi.org.mx/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2011). *Información nacional, por entidad federativa y municipios*. Oaxaca, México. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=20>
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E. & Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: Algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Revista Botanical Sciences*, 94(1), 5-24. <https://doi.org/10.17129/botsci.508>
- Pineda-López, M. R., Sánchez-Velásquez, L. R. y Noa-Carrazana, J. C. (2015). *Ecología, biotecnología y Conservación del género Abies en México*. Editorial Académica Española. pp 21–42. https://www.researchgate.net/publication/282651969_Ecología_biotecnología_y_conservación_del_género_Abies_en_Méjico_Estudios_de_Abies_en_Méjico
- PROBOSQUE (Protectora del Bosque). (2022). *Árboles de Navidad*. https://probosque.edomex.gob.mx/arboles_navidad
- PRONAFOR. (Programa Nacional Forestal) (2020). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609275&fecha=31/12/2020#gsc.tab=0

- Saha, D., Cregg, B. & Kuar-Sidhu, M. (2020). A review of non-chemical weed control practices in Christmas tree production. *Forests*, *II*(5), 554. <https://doi.org/10.3390/fl1050554>
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134778/35.-_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-059-SEMARNAT-2010.pdf
- Serrano-Ramírez, E., Valdez-Lazalde, J., R. De los Santos-Posadas, V., M. Mora-Gutiérrez, R., A. Ángeles-Pérez, G. y Hernández-Cortez, M. R. (2022). San Pedro el alto, Oaxaca, México: ejemplo de manejo forestal comunitario que detona avance socioeconómico. *Economía y Sociedad* *27*(61), 1-18.
- Talgo, V., Stensvand, A., Pettersson, M. & Sundheim-Floistad, I. (2020). Management of diseases in Norwegian Christmas tree plantations, Scandinavian. *Journal of Forest Research*, DOI: [10.1080/02827581.2020.1778781](https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1778781) *35*(8), 443-444.
- Torres, G. y Carvajal, D. (2012). *Árboles de navidad: Estado de la reforestación en Costa Rica*. Actividad de fortalecimiento a la investigación. Cartago. Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 61 p.
- Xu, J. & Brauner-Nielsen, U. (2023) Genetic Variation among Somatic Embryo Clones of Nordmann Fir Grown as Christmas Trees. *Forests*, *14*, 279. <https://doi.org/10.3390/fl14020279>.
- Zamora-Martínez, M. C. (2015). Producción de árboles de Navidad. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *6*(32), 4-6.