



Revista Mexicana de Agroecosistemas

Oaxaca, Volumen XII, Número 2, 2025

Vol. 12 Núm. 2. Mayo – Agosto, 2025 ISSN: 2007-9559



Fotografía: resinación en pino, Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca





REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol. 12(2), 2025 es un órgano de difusión científica que se publica semestralmente desde 2014, y a partir de 2025 de manera cuatrimestral 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. 04-2023-041117195200-102 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor y vigentes al 2025.

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 Dr. Marcos Emilio Rodríguez Vásquez. Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233, Tel y Fax. 01 (951) 5170788, <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/index>, rmae@voaxaca.tecnm.mx, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 31 de agosto de 2025.

Para su publicación, los manuscritos 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 presenta como “**artículos científicos**” estudios sobre impacto del cambio climático en bosques de México, estimulantes radiculares en la producción de maíz, enfermedades en cultivo de maguey, análisis de factores que afectan la producción de camarón, así como el uso potencial de residuos de pescado en Oaxaca. El “**artículo de revisión (review)**” trata de los sistemas agroforestales como estrategia de conservación. Finalmente, los “**artículos de difusión**” abordan temáticas referentes al aprovechamiento de resina de pino en México y una descripción de plantas y frutos de chile de agua. Esta contribución tiene asignado el DOI: <https://doi.org/10.60158/1td9th19>



Comité Editorial (DEPI-ITVO)

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo

Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz

Dr. Gustavo Omar Díaz Zorrilla

Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez

Dr. José Raymundo Enríquez del Valle

Dr. Marcos Emilio Rodríguez Vásquez

Dr. Salvador Lozano Trejo

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco

Dr. Yuri Villegas Aparicio

Dra. Gisela Margarita Santiago Martínez

Dra. Gisela Virginia Campos Angeles

Dra. María Isabel Pérez León

Dra. Martha Patricia Jerez Salas

M.C. Judith Ruiz Luna

Coordinación editorial

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz

Diseño de portada y administración de página Web

MC. Arely Concepción Ramírez Aragón, Dr. Marcos Emilio Rodríguez Vásquez



Árbitros de este número

Dr. Arturo Ángel Hernández (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Veracruz).

Dr. Francisco Cadena Cadena (Instituto Tecnológico del Valle de Yaqui, Sonora).

Dr. Alberto Peña Rodríguez (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), Baja California Sur).

Dr. Emilio Martínez Ramírez (Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca).

Dr. Juan Elías Sabino López (Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero).

Dr. Isidro Morales García (Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca).

Dr. Catarino Perales Segovia (Instituto Tecnológico El Llano, Aguascalientes).

Dr. Rubén Barrera Ramírez (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Uruapan, Michoacán).

Dr. Pablo Espinoza Zúñiga (TecNM-ITVO, Unidad Ixcatlán)

Dr. Erasto Domingo Sotelo Ruíz (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Zinacantepec, Estado de México).

Dra. Consuelo López López (Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM, Estado de México).

Dr. Hernández Salinas Gregorio (Instituto Tecnológico superior de Zongolica; Veracruz).

Dr. Rufino Sandoval García (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila).

Dr. Juan Carlos Guzmán Santiago (Centro de Investigación, Divulgación y Asesoría Técnica Forestal y Agropecuaria (SC), Tlaxiaco, Oaxaca).

Dra. Marcia Maribel Martínez Scott (Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra; Guanajuato).

Dr. Faustino Ruíz Aquino (Universidad de la Sierra Juárez; Ixtlán, Oaxaca).

M.C. Cristal Arany Guerrero Ortiz (Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Veracruz).



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 editable), 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. De esa manera se procede a la edición final de los manuscritos.

ATENTAMENTE

Comité editorial



	Contenido	Pág.
	Artículo científico	
I	IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN BOSQUES TEMPLADOS DEL SUR DE MÉXICO / IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON TEMPERATE FORESTS IN SOUTHERN MEXICO ^{1,5} §Juan Carlos Guzmán-Santiago  , ¹ Vicente Espinosa-Hernández  , ² Rogelio Omar Corona-Núñez  , ³ Iván Felipe Benavides-Martínez  , ⁴ Juan Camilo Zapata-Calero 	56 - 69
2	ESTIMULANTES RADICULARES PARA LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ NATIVO RAZA PEPITILLA DEL ESTADO DE GUERRERO / ROOT STIMULANTS FOR THE PRODUCTION OF NATIVE RACE PEPITILLA CORN FROM GUERRERO STATE ¹ Arleth Abigail Reyna-Ayala  , ² César del Ángel Hernández-Galeno  , ^{2§} Noel Orlando Gómez-Montiel  , ³ José Francisco Díaz-Nájera  , ¹ Natividad Delfina Herrera-Castro  , ¹ José Luis Valenzuela-Lagarda  , ¹ Elías Hernández-Castro 	70 - 82
3	DIVERSIDAD DE <i>Trichoderma</i> PRESENTE EN SUELOS DE <i>Agave angustifolia</i> HAW EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA / <i>Trichoderma</i> DIVERSITY PRESENT IN <i>Agave angustifolia</i> HAW SOILS IN CENTRAL VALLEY OF OAXACA ^{1§} Héctor Osvaldo Ahedo-Quero  , ¹ Teodulfo Aquino-Bolaños  , ² Edgar García-Sánchez  , ¹ Yolanda Donají Ortiz-Hernández 	83 - 97
4	VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE <i>Litopenaeus vannamei</i> EN GUERRERO, MÉXICO / VARIABLES AFFECTING THE <i>Litopenaeus vannamei</i> PRODUCTION IN GUERRERO, MEXICO Silberio García-Sánchez  , §Alejandro Juárez-Agís  , Branly Olivier-Salomé  , Jacqueline Zeferino-Torres  , Luis Fernando Rodríguez-Clemente 	98 - 110 -
5	CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL Y SITUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PESCADO EN PUERTO ÁNGEL, OAXACA / NUTRITIONAL CHARACTERIZATION AND FISH WASTE CONDITION IN PUERTO ANGEL, OAXACA ¹ Ana María Hernández-Medina  , ^{1§} María Isabel Pérez-León  , ² Jorge Hernández-Bautista  , ¹ Gerardo Rodríguez-Ortiz  , ¹ Rodolfo Benigno De los Santos-Romero  , ² Héctor Maximino Rodríguez-Magadán 	III - I23 -
	Artículo de revisión	
6	SISTEMAS AGROFORESTALES COMO ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN DEL SUELO: REVISIÓN DEL CASO DE GUERRERO, MÉXICO / AGROFORESTRY SYSTEMS AS A STRATEGY FOR SOIL CONSERVATION: A REVIEW OF THE CASE OF GUERRERO, MEXICO	



¹Celi Gloria Calixto-Valencia , ²Erickson Basave-Villalobos , ³Claudia Fernández-González 

124 - 137

Artículo de difusión

7 RESINA DE PINO EN OAXACA: CIENCIA, CONOCIMIENTO ANCESTRAL Y POTENCIAL PRODUCTIVO / PINE RESIN IN OAXACA: SCIENCE, ANCESTRAL KNOWLEDGE, AND PRODUCTIVE POTENTIAL

8 María Mercedes Cervantes-Machuca , Salvador Lozano-Trejo , Gerardo Rodríguez-Ortiz , Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez 
DESCRIPCIÓN DE PLANTAS Y FRUTOS DE “CHILE DE AGUA” (*Capsicum annuum* L.) EN ETLA, OAXACA / DESCRIPTION OF PLANTS AND FRUITS OF “CHILE DE AGUA” (*Capsicum annuum* L.) IN ETLA, OAXACA

138 - 146

¹Karen del Carmen Guzmán-Sebastián , ¹Estefanía Pérez-López , ²Vicente Arturo Velasco-Velasco , ²Hermila Cruz-García , ²Cira Valeriano-Ruiz 

147 - 152



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- Directora (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)

Dr. Marcos Emilio Rodríguez Vásquez- (marcos.rv@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) - Coordinación de soporte Revista
Institucional DEPI-ITVO

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

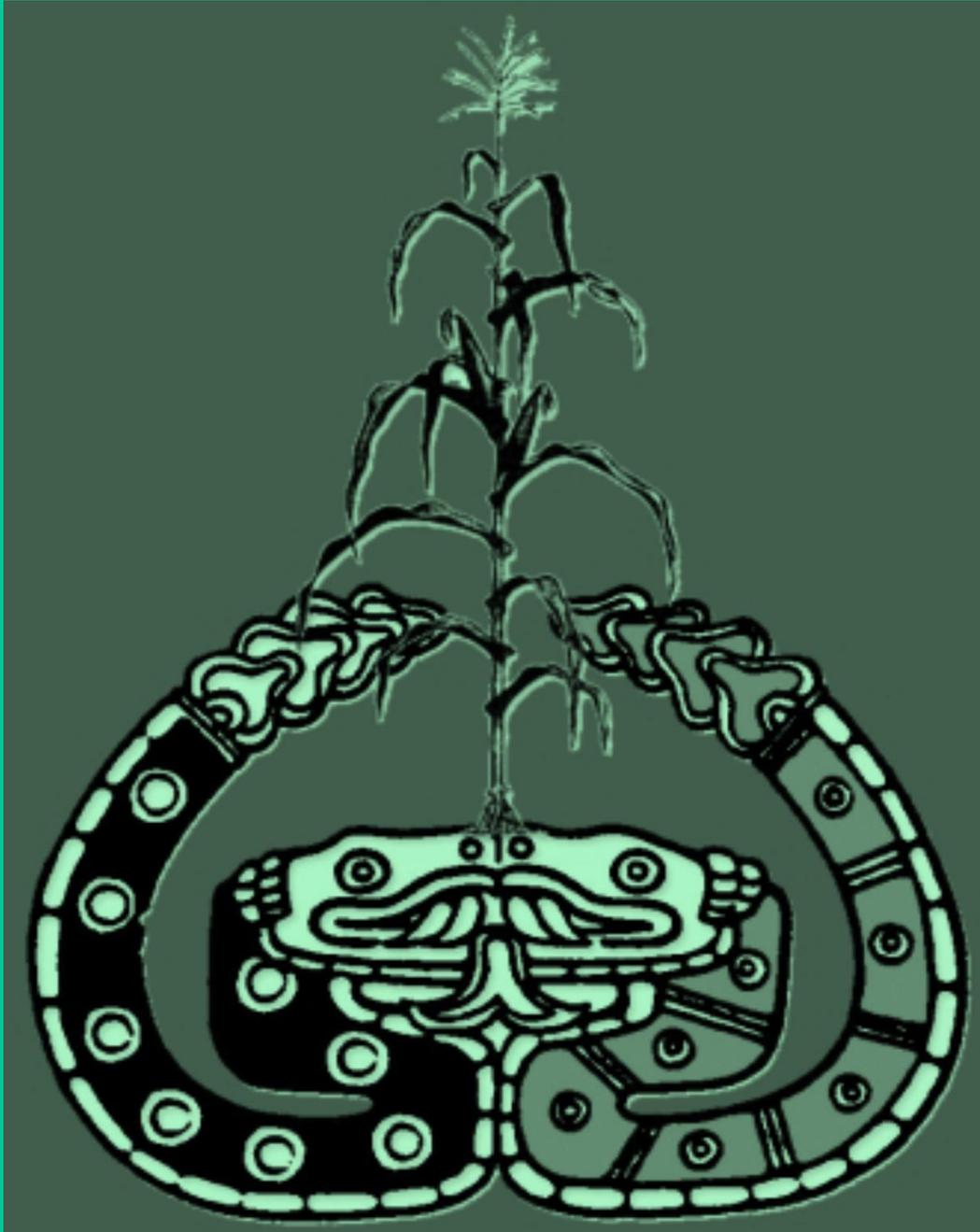
Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71233

Tel. y Fax: 01(951) 5170788

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

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



IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN BOSQUES TEMPLADOS DEL SUR DE MÉXICO

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON TEMPERATE FORESTS IN SOUTHERN MEXICO

^{1,5}Juan Carlos Guzmán-Santiago^{ORCID}, ¹Vicente Espinosa-Hernández^{ORCID}, ²Rogelio Omar Corona-Núñez^{ORCID},
³Iván Felipe Benavides-Martínez^{ORCID}, ⁴Juan Camilo Zapata-Calero^{ORCID}

¹Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Estado de México. México. ²Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Cuajimalpa. Ciudad de México. México. ³Datambiente. Departamento de Analítica de Datos Ambientales. Bogotá. Colombia. ⁴Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Valle del Cauca, Palmira. Colombia. ⁵Centro de Investigación, Divulgación y Asesoría Técnica Forestal y Agropecuaria, Isabel la Católica. Tlaxiaco-Oaxaca. México. [§]Autor de correspondencia: (guzmansa.forest22@gmail.com).

RESUMEN

Los modelos de distribución ayudan a entender los efectos del impacto del cambio climático en las especies vegetales a futuro. El objetivo fue generar un modelo de distribución espacial para 11 especies forestales de bosques templados del sur de México; bajo la hipótesis de que ante los escenarios de cambio climático las especies analizadas experimentarán modificaciones en su área de distribución potencial. Se utilizaron 1383 registros, con 19 variables bioclimáticas bajo las proyecciones de SSP126 y SSP585 al 2040 y 2100 proveniente del modelo CNRM-CM6-I, analizadas mediante tres algoritmos: Random Forest (RF), Modelos Aditivos Generalizados (MAG) y Modelos Lineales Generalizados (MLG). Estos se evaluaron mediante las métricas ROC, TSS y Kappa. El modelo RF fue el que tuvo el mejor desempeño con valores superiores al 98 % para las 11 especies en estudio. Los resultados muestran que entre los escenarios habrá pocos cambios al año 2040, ya que en el escenario pesimista (SSP585) las especies mostrarán una reducción en su distribución de 1.3 ± 0.9 % en comparación con el escenario optimista (SSP-126). Sin embargo, para el año 2100, se estiman reducciones más significativas, ya que, en el escenario optimista, las especies podrían reducir su área de distribución en un promedio de 44.0 ± 9.4 %, mientras que en el pesimista se reduciría un 88.1 ± 6.1 %. Se prevé que para el año 2100 en el escenario SSP585 todas las especies se verán afectadas gravemente, en especial *Pinus devoniana*,

lo cual hace imperativo establecer estrategias de conservación lo antes posible.

Palabras clave: conservación de especies, escenario climático, modelo de distribución, Oaxaca, *Pinus*, *Quercus*.

ABSTRACT

Distribution models help us understand the future effects of climate change on plant species in the future. The objective was to generate a spatial distribution model of 11 forest species of temperate forests in southern Mexico; according to hypothesis that under climate change scenarios the analyzed species will experience changes in their potential distribution area. A total of 1383 records were used, with 19 bioclimatic variables under the SSP126 and SSP585 projections to 2040 and 2100 from the CNRM-CM6-I model, analyzed using three algorithms: Random Forest (RF), Generalized Additive Models (MAG) and Generalized Linear Models (GLM). These were evaluated using the ROC, TSS and Kappa metrics. The RF model had the best performance with values above 98 % for the 11 species under study. The results show that between the scenarios there will be little change by the year 2040, as in the pessimistic scenario (SSP585) species will show a reduction in their distribution of 1.3 ± 0.9 %, then in the optimistic scenario (SSP-126). However, by the year 2100, more significant reductions are estimated, since, in the optimistic scenario, species could reduce their distribution area by an average

of 44.0 ± 9.4 %, while in the pessimistic scenario it would be reduced by 88.1 ± 6.1 %. It is expected that by the year 2100 in the SSP585 scenario all species will be severely affected, especially *Pinus devoniana*, which makes it imperative to establish conservation strategies as soon as possible.

Index words: species conservation, climate scenario, distribution model, Oaxaca, *Pinus*, *Quercus*.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno global que modifica los patrones climáticos a lo largo del tiempo y es variable, lo que suscita preocupación a nivel mundial debido a la rapidez con la que se manifiesta (Nieves, 2020). Ante escenarios de cambio climático se estima que habrá una reducción en la precipitación y aumento de la temperatura (IPCC, 2021).

De acuerdo, con el CMIP6 (Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 6, por sus siglas en inglés) indican que, para fin de siglo, la temperatura global aumentaría entre 0.6 y 2.0 °C en el escenario SSP I26 (concentraciones representativas, por sus siglas en inglés), y hasta 5.7 °C para el SSP585 (Allan et al., 2021). Además, las precipitaciones se reducirían entre un 0.2 % y un 12.9 % para el SSP126 y el SSP585, respectivamente. Mientras, que en México se estima que la temperatura promedio aumentaría entre 0.5 – 2.0 °C para el año 2030 y 3.7 °C para el 2090 (Sáenz-Romero et al., 2010).

El cambio climático impactará sobre todas las formas de vida del planeta. Por ejemplo, obligará a algunas especies a migrar a nuevas áreas y reducir su área de distribución, mientras que otras podrían ampliarla (Cruz-Cárdenas et al., 2016). Sin embargo, también se espera que las especies menos resilientes se extingan (Freeman et al., 2018), particularmente aquellas que deban aumentar su rango altitudinal (Lenoir et al., 2008).

Estos cambios ambientales dificultarán la supervivencia de varias especies, especialmente de aquellas presentes en ecosistemas geográficamente aislados (como las montañas), volviéndolas más sensibles a las perturbaciones (Romero et al., 2016), reduciendo su capacidad de adaptación lo que provocaría pérdidas de vegetación (Schaefer et al., 2008; Villanueva-Díaz et al., 2017).

Existen modelos de distribución de especies (MsDE) que son considerados como representaciones cartográficas que definen la capacidad de las especies de adaptarse en una zona específica en función de variables continuas o categóricas (Guisan y Zimmermann, 2000). Los MsDE son herramientas que permiten hacer proyecciones para identificar áreas de refugio potenciales y prever cómo podrían modificarse los patrones de biodiversidad en respuesta a distintos niveles del cambio climático y con esto, anticipar los impactos de este (Cayuela et al., 2009; Riahi et al., 2017). Con esto se pueden proponer alternativas contra el cambio climático (Ojeda-Bustamante et al., 2011; Wardle & Jonsson, 2014), en especial para especies que están en peligro de extinción (Trejo et al., 2011).

Oaxaca es uno de los estados de mayor biodiversidad biológica de México, donde varias especies del género *Pinus* sobresalen (Sosa-Díaz et al., 2024; Comisión Estatal Forestal [CEF], 2024), sin embargo, poco se conoce sobre temas como MsDE ante escenarios futuros de cambio climático para que se pueda tomar decisiones correctas sobre el manejo de los bosques, en particular de las especies forestales (Guzmán-Santiago et al., 2023). Es por esto, que el objetivo de investigación fue realizar la modelación de la distribución espacial de 11 especies forestales presentes en bosques templados de Oaxaca, México; basado en el modelo CNRM-CM6-1 (Centre National de Recherches Meteorologiques, Toulouse 31057, Francia) para el SSP126 y SSP585. La hipótesis es que, ante los escenarios de cambio climático, las especies bajo estudio experimentarán modificaciones en su área de distribución potencial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Oaxaca se encuentra entre las coordenadas extremas 18°42' y 15°39' N, 93°52' y 98°32' O, con una altitud máxima de 3750 m y mínima de 20 m. Tiene una extensión territorial de 95 354 km², limita al norte con los estados Veracruz y Puebla, al este con Chiapas, al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Guerrero. Se compone por ocho regiones económicas: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Papaloapan, Sierra Norte, Sierra Sur y Valles Centrales (Álvarez, 1994; Instituto Nacional de Estadística y Geografía Información geográfica [INEGI], 2023) (Figura I).

Oaxaca es la entidad federativa con mayor riqueza de especies con respecto al resto del país,

ya que se concentra alrededor del 67.1 % de ecosistemas de México, y se clasifica de la siguiente forma: los bosques templados representan el 54.1 %, las selvas altas y medianas (24.3 %), selvas bajas (18.4), y en menor medida el manglar (0.5 %), zonas áridas y semiáridas (0.4 % cada una) (CEF, 2024).

Las especies analizadas con distinto número de registro fueron: *Arbutus xalapensis* Kunth (302), *Clethra mexicana* DC (108), *Pinus devoniana* Lindl. (57), *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl. (172), *P. teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham. (67), *Quercus acutifolia* f. abrupta Trel. (118), *Q. castanea* Née (94), *Q. crassifolia* Benth. (102), *Q. elliptica* Newberry (81), *Q. magnoliifolia* Née (129) y *Q. rugosa* Née (153) (Figura I).

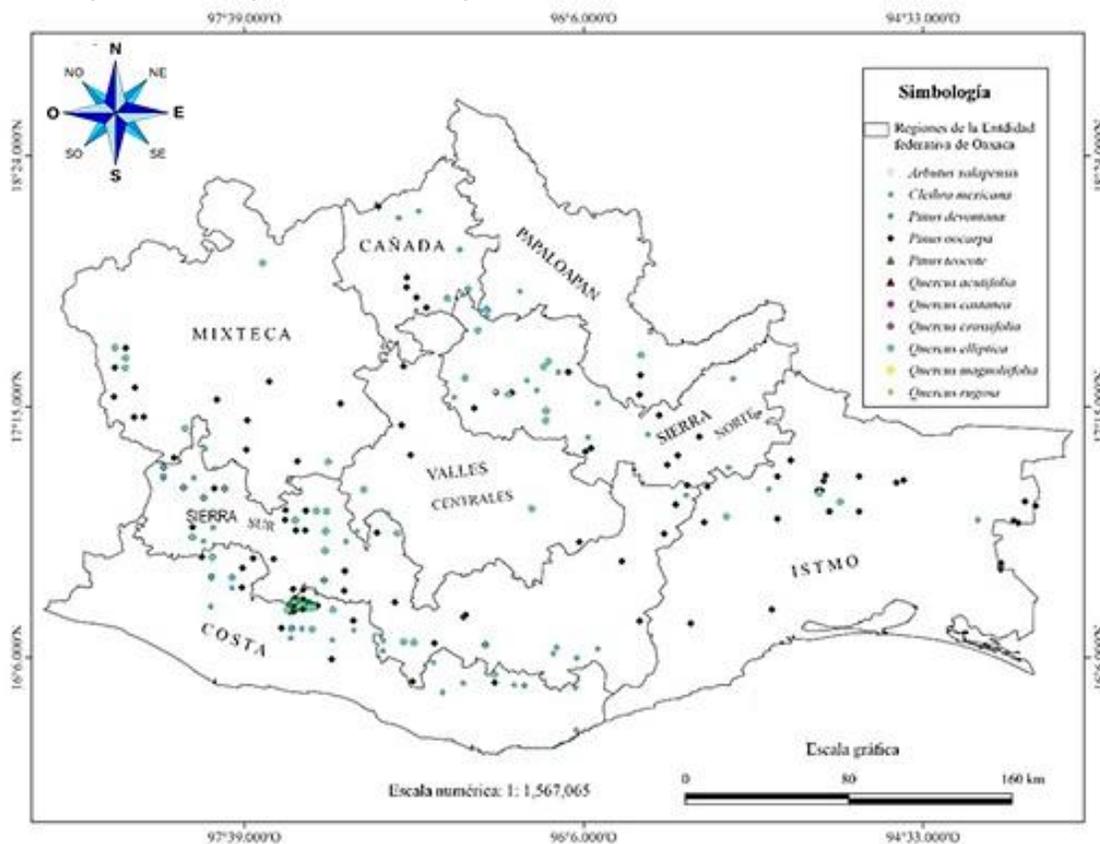


Figura I. Área de estudio y distribución de 11 especies de bosque templado en distintas regiones económicas de Oaxaca, México.

Registro de las especies

Se recopiló un total de 2200 registros de las especies de las diferentes fuentes, como el Inventario Nacional Forestal y Suelos (INFiS) (Comisión Nacional Forestal. Inventario Nacional Forestal y de Suelos [CONAFOR], 2023), iNaturalist (<https://www.inaturalist.org>), Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2023) e Inventario Forestal de la comunidad de San Juan Quiahije (IF_SJQ, esta información fue proporcionada directamente por el comisariado de la comunidad).

Sin embargo, para evitar la sobre representación de los datos se realizó la depuración, quedando finalmente 1383 registros de las 119 especies.

Análisis de las variables bioclimáticas

La información bioclimática consistió en las 19

capas bioclimáticas obtenidas de Worldclim (https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html) de 30 segundos de arco. Las variables bioclimáticas representan tendencias anuales (temperatura media anual, precipitación anual), estacionalidad (rango anual de temperatura y precipitación) y factores ambientales extremos o limitantes (temperatura del mes más frío y cálido, y precipitación de los trimestres húmedo y seco) (Fick & Hijmans, 2017) (Tabla I). Además, se integraron variables topográficas como altitud y pendiente, obtenidas de la página de USGS Earth Explorer; donde el cálculo de la pendiente se derivó de la información altitudinal a través del uso de la librería ráster.

Para analizar la colinealidad entre variables se utilizó la correlación de Pearson y el Análisis de Componentes Principales (PCA).

Tabla I. Variables ambientales empleadas en la modelación de la distribución potencial de las 119 especies

Clave	Descripción (Unidad)
Bio_1	Temperatura media anual (°C)
Bio_2	Rango medio diario (media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima) (°C)
Bio_3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100) (°C)
Bio_4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar × 100) (°C)
Bio_5	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
Bio_6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
Bio_7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6) (°C)
Bio_8	Temperatura media del trimestre más húmedo (°C)
Bio_9	Temperatura media del trimestre más seco (°C)
Bio_10	Temperatura media del trimestre más cálido (°C)
Bio_11	Temperatura media del trimestre más frío (°C)
Bio_12	Precipitación anual (mm)
Bio_13	Precipitación del mes más húmedo (mm)
Bio_14	Precipitación del mes más seco (mm)
Bio_15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación) %
Bio_16	Precipitación del trimestre más húmedo (mm)
Bio_17	Precipitación del trimestre más seco (mm)
Bio_18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
Bio_19	Precipitación del cuarto más frío (mm)

Los rasters utilizados en la modelación corresponden a una resolución de 0.0083 grados en la dimensión “X” como en la “Y”. Cada celda del raster representa un área de aproximadamente de 1-km en el ecuador. Tiene 363 filas y 563 columnas, sumando un total de 204,369 celdas. El sistema de coordenadas utilizado es WGS84. Las celdas son de tamaño de 0.86 km² y distribuidas de forma regular en toda la región en estudio.

Filtrado de datos de presencia

Para asegurar la calidad y precisión de los datos de presencia utilizados en el modelado, se eliminaron los duplicados, utilizando las funciones `duplicated()` y `distinct()` del paquete “`dplyr`”. Esto asegura que cada registro de presencia sea único y evita sesgos de sobrerrepresentación en el análisis.

Análisis geoespacial y generación del modelo de distribución

El modelado de distribución de las especies se realizó utilizando las ocurrencias de las especies, las variables climáticas actuales y los escenarios futuros. Para garantizar la mayor confiabilidad de los modelos se utilizó una convergencia de 0.00001 y una máxima de 1000 iteraciones. La calibración del modelo de distribución potencial de cada una de las 11 especies se realizó a través de la selección aleatoria del 80 % de los datos de las ocurrencias, y el restante 20 % se utilizaron para la validación ciega de la modelación.

Y se completó con la creación del mismo número de pseudo-ausencias para cada especie. Las distribuciones de las especies fueron evaluadas a través del uso de tres algoritmos: Random Forest (RF), Modelos Aditivos Generalizados (MAG) y Modelos Lineales Generalizados (MLG). Los modelos se evaluaron utilizando las métricas de la Curva Característica de Operación del Receptor (ROC), la Estadística de Sensibilidad Verdadera (TSS) y el índice Kappa (Kappa). El modelo que tuvo el mejor desempeño fue utilizado para todos los subsecuentes análisis. Toda la modelación se realizó dentro del lenguaje de programación RStudio (R Core Team, 2024) con el paquete *biomod2*.

El análisis de la distribución potencial de las especies se realizó mediante la información climática histórica del 1970-2000. Mientras que para las distribuciones futuras se empleó la información climática de los periodos 2021-2040 (2040) y 2081-2100 (2100). La información climática futura se basó en el modelo general de circulación utilizado el CNRM-CM6-1. Adicionalmente, se evaluaron dos escenarios para cada periodo futuro, un optimista y un pesimista. Se consideró como escenario optimista la trayectoria socioeconómica compartida SSP126, mientras que el escenario pesimista correspondió al SSP585.

Tasas de pérdida de distribución

A través de la comparación de los escenarios futuros para cada uno de los periodos y la distribución potencial de las especies se calculó la superficie que muestra probabilidades de pérdida, permanencia o ganancia para cada una de las 11 especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contribución de las variables

A pesar de la colinealidad presente y los resultados obtenidos del análisis de componentes principales (PCA), el modelo se desempeñó mejor al incluir todas las variables. Esto puede explicarse por algunos factores, como: interacciones complejas, validación cruzada e información adicional.

La contribución de cada variable al modelo varía en función del número de registros disponibles, el tipo de análisis realizado y el algoritmo empleado (Jiménez-Salazar y Méndez-González, 2021), lo que puede generar diferencias en los resultados, incluso para una misma especie. Aunque se detectó cierto grado de colinealidad entre las variables bioclimáticas, el modelo predictivo mostró un mejor desempeño al integrar todas las variables climáticas. Esto puede explicarse por la adición de información relevante (la inclusión de todas las variables permite capturar mayores detalles y variaciones en los datos), las interacciones complejas (que no siempre son

completamente representadas en un análisis de componentes principales, PCA) y la validación cruzada (que asegura una buena generalización del modelo a datos no observados, justificando la inclusión de todas las variables). De hecho, la exclusión de variables colineales podría limitar la estimación de los efectos de factores ambientales clave (García et al., 2019).

A manera de ejemplo, el análisis revela que *Arbutus xalapensis* tiene una distribución bien definida (diagrama a) (Figura 2).

Las variables bioclimáticas con mayor contribución a la distribución potencial de las especies modeladas fueron principalmente **Bio4** (estacionalidad de la temperatura), **Bio12** (precipitación anual), **Bio18** (precipitación del trimestre más cálido) y **Bio19** (precipitación del trimestre más frío). Estas variables destacan consistentemente en los tres algoritmos de modelado evaluados (MAG, MLG y RF), lo que sugiere que tanto la variabilidad térmica anual como los patrones de precipitación estacional son factores clave en la delimitación ecológica de las especies estudiadas. La fuerte influencia de estas

variables indica que los nichos climáticos de estas especies están estrechamente vinculados con condiciones climáticas específicas, por lo que posibles alteraciones en dichos parámetros derivadas del cambio climático podrían afectar significativamente su distribución futura. No obstante, es importante señalar que, para fortalecer la interpretación ecológica de estos patrones, se requiere el desglose porcentual de la contribución de cada variable por especie y modelo, lo cual permitiría identificar diferencias específicas en la sensibilidad climática de cada taxón.

Capacidad de predicción del modelo

La evaluación de los modelos basado en las métricas Kappa, ROC y TSS muestran que el modelo Random Forest (RF) fue el más robusto al medir la sensibilidad y especificidad de sus predicciones. Para el caso específico de las especies *Pinus teocote*, *Quercus elliptica* y *Q. castanea* tuvo un desempeño de > 98 %. El Modelo Aditivo Generalizado (MAG) tuvo el segundo mejor desempeño alcanzando valores > 86 % (Tabla 2). Mientras que el Modelos Lineales Generalizados (MLG) presentó un desempeño > 49.15 % donde *Quercus acutifolia* obtuvo el valor más bajo.

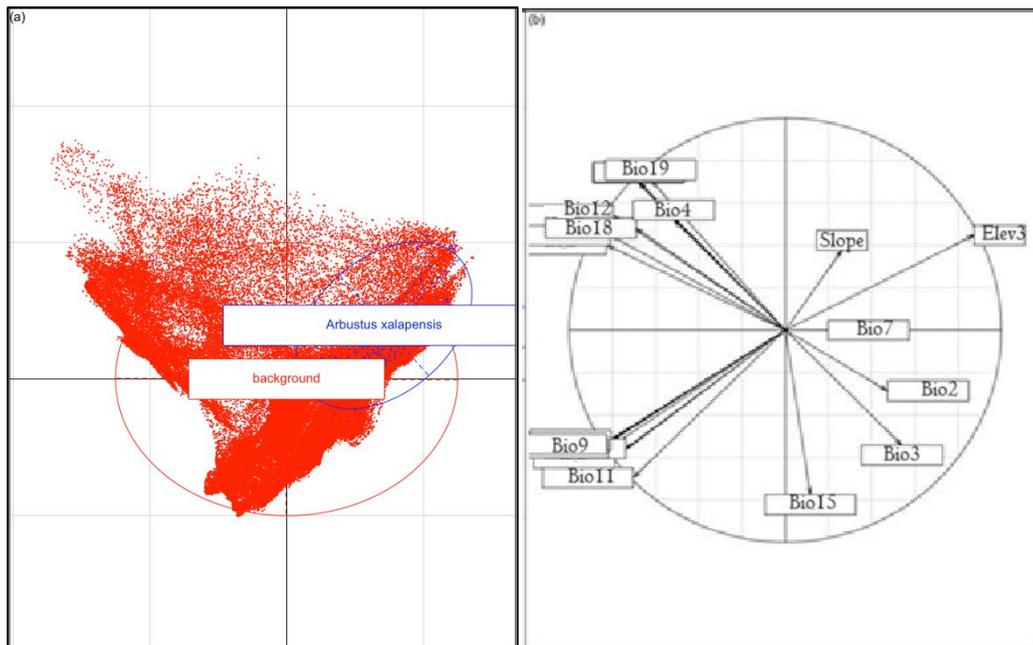


Figura 2. Ejemplo de análisis de componentes principales (PCA) para *Arbutus xalapensis*, donde, a) proyección de nicho ecológico y b) Contribución de las variables ambientales

Tabla 2. Desempeño de los modelos según las métricas de precisión (%)

Especies	Kappa			ROC			TSS		
	MAG	MLG	RF	MAG	MLG	RF	MAG	MLG	RF
<i>Arbustus xalapensis</i>	86.37	92.02	99.33	93.68	92.02	99.33	94.68	92.02	99.33
<i>Clethra mexicana</i>	90.74	82.4	99.07	94.44	82.40	99.07	94.44	82.40	99.07
<i>Pinus devoniana</i>	96.49	89.47	99.98	96.49	89.47	99.98	96.49	89.47	99.98
<i>Pinus oocarpa</i>	94.73	74.85	98.83	94.73	84.79	99.98	95.90	83.62	99.98
<i>Pinus teocote</i>	95.52	79.10	98.50	94.03	98.50	98.50	95.52	88.06	98.50
<i>Quercus acutifolia</i>	94.91	49.15	99.15	94.91	71.18	99.98	94.91	84.74	99.15
<i>Quercus castanea</i>	90.42	69.14	98.93	90.42	80.85	98.93	90.42	86.17	98.93
<i>Quercus crassifolia</i>	86.53	89.15	99.63	93.65	95.63	99.98	93.56	95.64	99.98
<i>Quercus elliptica</i>	96.29	74.07	98.76	96.29	75.30	98.76	96.29	77.77	98.76
<i>Quercus magnoliifolia</i>	86.04	79.07	99.22	89.92	85.27	99.22	90.69	85.27	99.22
<i>Quercus rugosa</i>	88.88	83.00	99.34	91.50	85.62	99.34	92.15	85.62	99.34

Kappa = estadística Kappa de Cohen, ROC = área bajo la curva, TSS = estadística de habilidad verdadera, MAG = Modelos Aditivos Generalizados, MLG = Modelos Lineales Generalizados, RF = Random Forest (bosque aleatorio).

Además, el clima desempeña un papel fundamental en la presencia y distribución de las especies, especialmente al modelar áreas geográficas extensas (Pearson y Dawson, 2003). En este contexto, se observó que el rendimiento del modelo no solo depende de la cantidad de registros, sino también de la variabilidad en la distribución de las especies. Indicadores como la curva ROC, el índice TSS y el coeficiente kappa (Allouche et al., 2006) evidenciaron que el algoritmo Random Forest presentó un desempeño superior, con valores por encima del 98 % para todas las especies evaluadas.

Un ejemplo claro es *Pinus devoniana*, que, a pesar de contar con un número reducido de observaciones, mostró resultados eficientes en las tres métricas bajo el modelo Random Forest, alcanzando un TSS del 99 %. Estos resultados respaldan los estudios de Wisz et al. (2008) y Guzmán-Santiago et al. (2023), quienes también lograron resultados convincentes al emplear modelos de conjuntos. Esto demuestra que no es estrictamente necesario disponer de al menos 80 observaciones para llevar a cabo análisis robustos de este tipo, como lo indican Corona-Núñez et al. (2017).

La mayoría de los estudios de este tipo en México se han centrado sobre el género *Pinus*, para los escenarios SSP245 (nivel medio) y el pesimista, SSP585 (Cruz-Cárdenas et al., 2016; Aceves-Rangel et al., 2018; Pérez-Miranda et al., 2019). Sin embargo, poco se conoce sobre el efecto que tendría el escenario SSP126 por considerarse optimista (mayor cobertura forestal) (O'Neill et al., 2016). Esta investigación muestra cambios en las distribuciones de las especies, resultados similares fueron reportados para la especie *Keteleeria davidiana* en varias regiones de China (Zhang et al., 2023).

Análisis de umbral óptimo de adaptación

El rango de sensibilidad de las especies oscila de 0.62 a 0.99 con un promedio de 0.93 ± 0.11 (Tabla 3). Las curvas ROC muestran que la distribución de las especies está relacionada con las variables climáticas. Por ejemplo, *Clethra mexicana* es la especie que evidencia una sensibilidad baja del 0.62, lo que indica que la capacidad del modelo de identificar los casos positivos es baja. En general el modelo es consistente a la hora de identificar la presencia de las especies con adaptabilidades superiores al 50 %.

Tabla 3. Desempeño predictivo específico por especie

Nombre	Umbral	Precisión	Sensibilidad
<i>Arbutusxalapensis</i>	0.52	0.86	0.97
<i>Clethra mexicana</i>	0.41	0.81	0.62
<i>Pinus devoniana</i>	0.46	0.88	0.98
<i>Pinusoocarpa</i>	0.49	0.91	0.98
<i>Pinusteocote</i>	0.55	0.90	0.97
<i>Quercus acutifolia</i>	0.53	0.92	0.97
<i>Quercus castanea</i>	0.52	0.86	0.95
<i>Quercus crassifolia</i>	0.45	0.86	0.99
<i>Quercus elliptica</i>	0.53	0.95	0.95
<i>Quercus magnoliifolia</i>	0.64	0.92	0.89
<i>Quercus rugosa</i>	0.58	0.92	0.95

Distribución potencial de las especies forestales

Con base en el análisis del modelo *RF* para las 11 especies forestales se aprecia que la mayoría tienen presencia en las altitudes ≤ 2500 m. Las ocho regiones del territorio oaxaqueño tienen condiciones aptas para la distribución de las especies, donde *Pinus devoniana* es la de mayor superficie de distribución actual (23 559.70 km²), en comparación con el resto. En cuanto al género *Quercus*, la especie *Quercus elliptica* es la que muestra una distribución menor, teniendo una superficie de 11 419.70 km² (Tabla 3).

Cambios en la distribución espacial de las especies forestales

Ante escenarios de cambio climático se observa que las especies muestran pocas diferencias en los cambios estimados para el año 2040 para ambos escenarios (SSP126 y 585). Se estima que en el escenario pesimista las especies mostrarán una distribución de 1.3 ± 0.9 % menos, que en el escenario optimista. Los mayores cambios se observan para el año 2100 donde estos cambios son del 44.1 ± 6.5 %. Se estima que en promedio para el escenario optimista las especies tendrán una reducción en su distribución del 44.0 ± 9.4 %, en contraste con el pesimista que sería de 88.1 ± 6.1 %.

Las especies que se espera que muestren mayor reducción de su distribución potencial para el año

2100 para los escenarios optimista y pesimista son *Quercus elliptica* (46.8 % y 94.6 %) < *Quercus acutifolia* (51.2 y 85.6 %) < *Pinus devoniana* (55.5 y 95.2 %) < *Pinus oocarpa* (62.8 y 93.5 %). Para los mismos escenarios *Arbutus xalapensis* y *Quercus crassifolia* podrían reducir su superficie en al menos 33 % en el escenario optimista y hasta el 78 % en el pesimista. No obstante, *Pinus teocote* es la que tiende a ganar más sitios idóneos con 5252.0 km², mientras que *Quercus castanea* es la que menos sitios de idoneidad (54.2 km²) presenta (Tabla 4).

Con base en lo anterior, Guzmán-Santiago et al. (2023), en su estudio con un modelo de conjunto obtuvieron que *Pinus devoniana* y *P. oocarpa* perderían para el año 2030 una superficie de 41.9 %, 31.7 %, respectivamente. Estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio con el escenario SSP126 para el 2040 con SSP126, con cambios similares (36 % y 48 % respectivamente). Mientras que para el año 2090 en el escenario SSP585 estos mismos autores encontraron que las especies más afectadas, serán *Quercus castanea* (91.0 %), *Q. rugosa* (88.18 %), *Q. elliptica* (82.4 %), *Pinus teocote* (56.2 %) y *P. devoniana* (42.3 %), lo cual concuerda con este estudio con el escenario SSP585 para el año 2100.

Tabla 4. Tasa de pérdida total de la distribución de las especies forestales.

Especies	Superficie factible actual (Km ²)	2040-SSP126		2100-SSP585	
		(%)	(%)	(%)	(%)
		Optimista		Pesimista	
<i>Arbustus xalapensis</i>	18071.01	25.51	33.79	25.93	78.42
<i>Clethra mexicana</i>	15513.41	22.23	36.69	24.17	85.91
<i>Pinus devoniana</i>	23559.70	36.98	55.50	38.61	95.19
<i>Pinus oocarpa</i>	13578.00	48.31	62.78	50.70	93.54
<i>Pinus teocote</i>	15582.26	32.23	43.32	32.58	87.79
<i>Quercus acutifolia</i>	19653.59	35.53	51.21	36.06	85.59
<i>Quercus castanea</i>	16023.73	28.16	40.83	30.59	91.80
<i>Quercus crassifolia</i>	18787.00	22.89	32.94	23.70	78.62
<i>Quercus elliptica</i>	11419.70	36.50	46.79	36.64	94.63
<i>Quercus magnoliifolia</i>	17798.21	30.55	43.65	32.06	93.20
<i>Quercus rugosa</i>	15892.06	25.99	36.42	27.96	84.11

Distribuciones futuras de las especies

Para representar todos los escenarios que se trabajaron se utilizó un rango de 0-1000 donde 0 es nula adaptabilidad y 1000 es totalmente adaptado a una escala de tiempo de 2025 a 2100. La **figura 3** ayuda a comprender mejor los cambios significativos en la distribución, sobre todo en el escenario SSP585 del año 2100, que es considerado como el más drástico. De acuerdo con el análisis, la región Costa (Juquila) y Sierra Sur (Sola de Vega) son zonas donde existe una mayor representación de distribución de las especies.

Con base en los modelos se estima una ligera expansión de las especies (*Arbustus xalapensis*, *Pinus devoniana*, *P. oocarpa*, *P. teocote*, *Quercus acutifolia*, *Q. crassifolia*, *Q. castanea*, *Q. elliptica*, *Q. magnoliifolia* y *Q. rugosa*) hacia la región Mixteca, Cañada y Sierra Norte (entre Oeste y Norte), aunque adicionalmente, *P. oocarpa* y *P. devoniana* se expandirán hacia la Sierra Sur (Putla) y la Mixteca (Juxtlahuaca), lo cual es algo similar

con lo reportado por Guzmán-Santiago et al. (2023) en las mismas zonas de estudio. Mientras, que *Clethra mexicana* le quedaría algunos sitios de sobrevivencia hacia el norte (Cañada y Sierra Norte), asimismo en zona sur de la región Costa. No obstante, *Pinus devoniana* es la que proyecta una mayor adaptabilidad.

Los resultados obtenidos sugieren que todas las especies forestales evaluadas tendrán cambios significativos en contraste con su distribución potencial. Las especies no sólo mostrarán una reducción en su superficie, sino que se prevé una migración a otras regiones, similar a otros estudios (Gómez-Guerrero et al., 2021). Con escenarios similares, estos resultados coinciden con lo reportado para algunas especies en Asia (*Quercus brantii*, *Q. coccifera*, *Q. libani* y *Q. aegilops*), que indican que estas especies migrarán a mayores altitudes (Safaei et al., 2021; Mirhashemi et al., 2023).

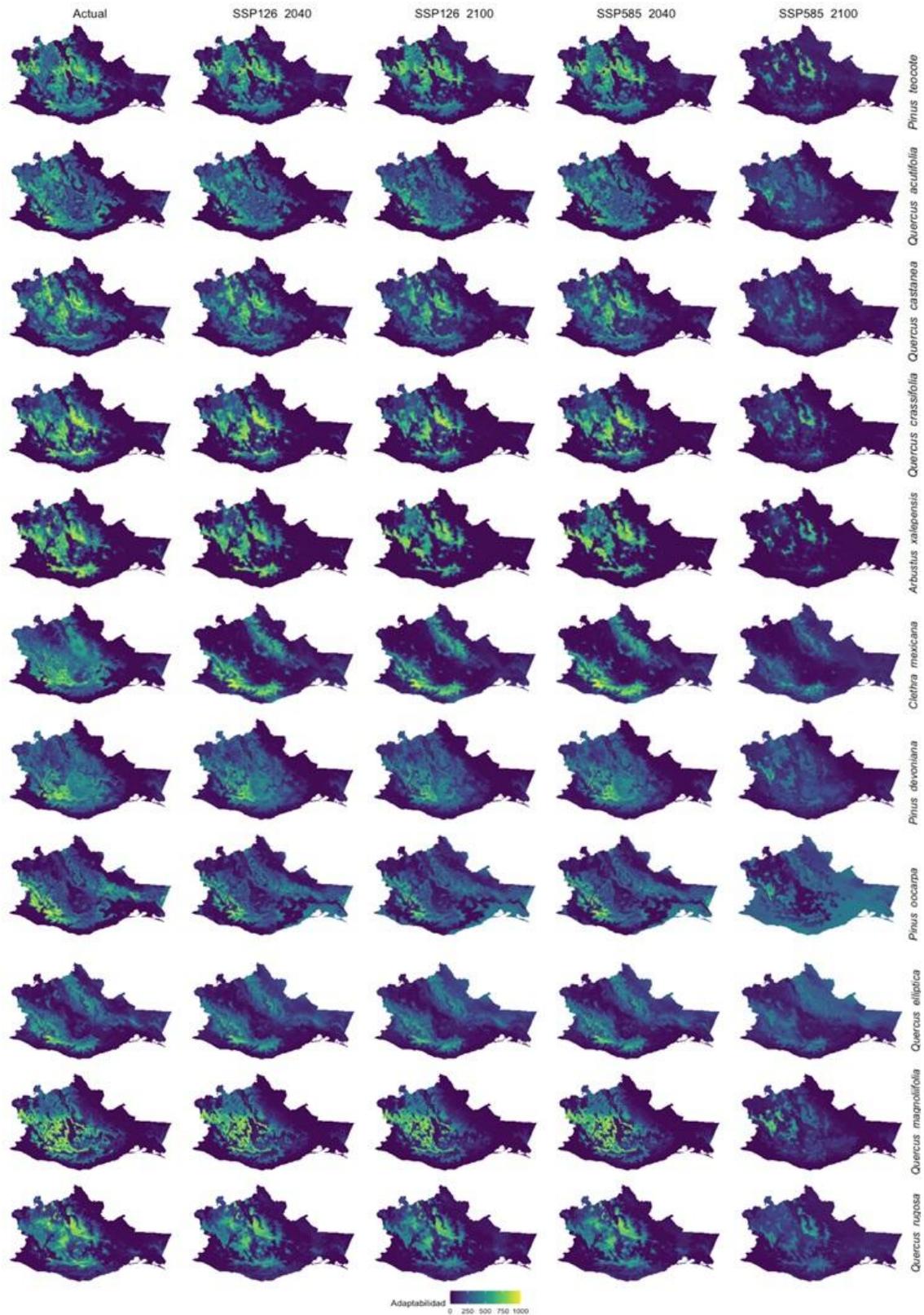


Figura 3. Cambios en la distribución espacial de las especies forestales bajo diferentes escenarios climáticos.

Por otra parte, para disminuir la vulnerabilidad de estos ecosistemas, resulta fundamental adoptar estrategias de manejo que ayuden a mitigar los efectos del cambio climático (Dawson et al., 2011). Por lo que, se considera necesario reducir las presiones antropogénicas como el cambio de uso de suelo en terrenos forestales (Mendoza-Ponce et al., 2020), prevenir el impacto derivados por los incendios (Corona-Núñez et al., 2020), así como implementar programas de migración asistida (Gómez-Ruiz & Lindig-Cisneros, 2017) específicamente para las especies *Pinus devoniana* que mostraron que sus futuros sitios de distribución no se encuentran interconectados con su distribución potencial.

De las 11 especies analizadas, *Quercus acutifolia* es la única que está catalogada como “vulnerable” según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2023), la cual requiere especial atención en términos de manejo y conservación. En contraste, el resto de las especies evaluadas se encuentran clasificadas como de “preocupación menor”, por lo que no presentan, por ahora riesgos significativos (<https://www.iucnredlist.org/>). Sin embargo, ante escenarios de cambio climático, estas especies mostrarán cambios importantes, particularmente en el escenario SSP585. Es importante resaltar que, las once especies evaluadas mostrarán cambios importantes en su distribución potencial, inclusive en el escenario optimista. Esta condición refleja cómo los ecosistemas templados estarán expuestos a nuevas presiones que incrementarán su vulnerabilidad y podrían llevar a la extinción local de ciertas especies, similar a lo reportado por Cassini (2011). Así mismo, se estima que estas futuras condiciones afecten en la estructura y composición de las especies, los servicios ambientales, y efectos en cadena que pueden promover la pérdida de especies de plantas y animales.

CONCLUSIONES

En todos los escenarios evaluados sugieren que para el año 2100 se prevé que las 11 especies

perderán un alto porcentaje de hábitats idóneas, en especial *Pinus devoniana*. Esta condición resalta la necesidad de establecer un plan de acción inmediata para su conservación, incluyendo la migración asistida. De las 11 especies analizadas, *Quercus acutifolia* es la única que está catalogada como vulnerable de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), por lo que también requiere especial atención. Se recomienda realizar más levantamiento de datos y depositarlos en los repositorios de las diferentes plataformas para realizar más investigaciones y contrastar o validar los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) mediante la beca otorgada al primer autor para la estancia postdoctoral, con el proyecto ID 2524710 (gestionado por el mismo beneficiado). La investigación se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, México.

A las autoridades agrarias de la comunidad de San Juan Quiahije, Juquila, así como a los colegas, Ing. Gregorio Morales, Biol. María del Sol y a las brigadas por su apoyo en el levantamiento de datos en el campo.

REFERENCIAS

- Aceves-Rangel, L. D., Méndez-González, J., García-Aranda M. A. y Nájera-Luna, J. A. (2018). Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia*, 52(7), 1043-1057.
- Álvarez, L. R. (1994). *Geografía general del estado de Oaxaca*. 2a. ed., Oaxaca: Carteles Editores, pp. 14-26.
- Allan, R. P., Arias, P. A., Berger, S., Canadell, J. G., Cassou, C., Chen, D., Cherchi, A., Connors, S. L., Coppola, E., Cruz, F. A., Plattner, G. K. & Zickfeld, K. (2021). *Climate change 2021. The physical science basis*. Summary for

- policymakers. In: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, B. Zhou (Eds.), *Climate change 2021. The physical science basis. Working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 1-31).
- Allouche, O., Tsoar, A. & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1223-1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Cassini, M.H. (2011). Ranking threats using species distribution models in the IUCN Red List assessment process. *Biodiversity and Conservation*, 20(14), 3689-3692. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0126-9>
- Cayuela, L., Golicher, D. J., Newton, A. C., Kolb, M., De Albuquerque, F. S., Arets, E. J. M. M., & Pérez, A. M. (2009). Species distribution modeling in the tropics: problems, potentialities, and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science*, 2(3), 319-352.
- Corona-Núñez, R. O., Mendoza-Ponce, A. & López-Martínez, R. (2017). Model selection changes the spatial heterogeneity and total potential carbon in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 405, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.018>
- Corona-Núñez, R.O., Li, F. & Campo, J. E. (2020). Fires represent an important source of carbon emissions in Mexico. *Global Biogeochemical Cycles*, 34(12), e2020GB006815. <https://doi.org/10.1029/2020GB006815>
- CEF (Comisión Estatal Forestal). (2024). Superficie Forestal Estatal. <https://www.oaxaca.gob.mx/coesfo/superficie-forestal-estatal/>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2023). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos*. <https://snmf.cnf.gob.mx/datos-del-inventario/>
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Silva, J. T., Bernal-Santana, N., Estrada-Godoy F. y López-Sandoval, J. A. (2016). Modelado de la distribución potencial de especies de *Pinaceae* bajo escenarios de cambio climático en Michoacán. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(2), 135-148. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.027>
- Dawson, T. P., Jackson, S. T., House, J. L., Prentice, I. C. & Mace, G. M. (2011). Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science* 332(6025), 53-58. <http://dx.doi.org/10.1126/science.120030>
- Fick, S. E & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Freeman, B.G., Lee-Yaw, J. A., Sunday J. M. & Hargreaves, A. L. (2018). Expanding, shifting and shrinking: The impact of global warming on species' elevational distributions. *Global Ecology and Biogeography*, 27(11), 1268-1276. <https://doi.org/10.1111/geb.12774>
- García, C. G., García, C. B., Gómez, R. S. y Pérez, J. A. (2019). Regresión con variables ortogonales y regresión alzada en el modelo STIRPAT. *Estudios de Economía Aplicada*, 35(3), 717-734.
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility). (2023). Bases de datos geográficos disponibles para las 11 especies en estudio. <https://www.gbif.org/what-is-gbif>
- Gómez-Guerrero, A., Correa-Díaz, A. y Castruita-Esparza, L. U. (2021). Cambio climático y dinámica de los ecosistemas forestales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 673-673. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.673>
- Gómez-Ruiz, P. A. y Lindig-Cisneros, R. (2017). La restauración ecológica clásica y los retos de la actualidad: La migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático.

- Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 31-51.
<http://dx.doi.org/10.15359/rca.51-2.2>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Guzmán-Santiago, J. C., De los Santos-Posadas, H. M., Ángeles-Pérez, G., Vargas-Larreta, B., Gómez-Cárdenas, M., Rodríguez-Ortiz, G. y Corona-Núñez, R. O. (2023). Efecto del cambio climático en la distribución de las especies de clima templado en Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, 102(1), 39-53. <https://doi.org/10.17129/botsci.3355>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). *Summary for policymakers*. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu & B. Zhou (Eds.), *Climate change 2021: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1-36).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía Información Geográfica). (2023). *División por entidad federativa con base en el marco geoestadístico*. www.inegi.gob.mx/geo/informaciongeografica/oaxaca.
- Jiménez-Salazar, M. Á. y Méndez-González, J. (2021). Actual and potential distribution of *Pinus engelmannii* Carrière under climate change scenarios. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732117. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732117>
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Marquet, P. A., De Ruffray, P. & Brisse, H. (2008). A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*, 320(5884), 1768-1771. <https://doi.org/10.1126/science.1156831>
- Mendoza-Ponce, A. V., Corona-Núñez, R. O., Kraxner, F. & Estrada, F. (2020). Spatial prioritization for biodiversity conservation in a megadiverse country. *Anthropocene*, 32, 100267. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2020.100267>
- Mirhashemi, H., Heydari, M., Karami, O., Ahmadi, K. & Mosavi, A. (2023). Modeling Climate Change Effects on the distribution of oak forests with machine learning. *Forests*, 14(3), 469. <https://doi.org/10.3390/f14030469>
- Nieves, V. A. (2020). Modelado de distribución de especies en los bosques de los andes meridionales. *Papeles de Geografía*, 66, 195-207. <https://doi.org/10.6018/geografia.409051>
- Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Íñiguez-Covarrubias, M., & Montero-Martínez, M. J. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1), 1-11.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van-Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J. F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K. & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Pérez-Miranda, R., Romero-Sánchez, M. E., González-Hernández, A., Rosales-Mata, S., Moreno-Sánchez, F. y Arriola-Padilla, V. J. (2019). Modelado de la distribución actual y bajo cambio climático de pinos piñoneros endémicos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(56), 218-237. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i56.613>
- Pearson, R. G. & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?. *Global Ecology and Biogeography*, 12(5), 361-371. <https://doi.org/10.1046/j.1466->

- [822X.2003.00042.x](#)R Core Team. (2024). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria. Versión 4.2.2. <http://www.r-project.org>
- Riahi K., Van Vuuren D. P., Kriegler E., Edmonds J., O'Neill B. C., Fujimori S., Bauer N., Calvin k, Dellink R., Fricko O., Lutz W., Popp A., Crespo C. J., KC S., Leimbach M., Jiang L., Kram T., Rao S., Emmerling J... Tavoni M. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Romero, C., Lindig-Cisneros, R. A., Joyce, D. G., Beaulieu, J., Bradley, J. C. & Jaquish, B. C. (2016). Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 303-323. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.052>
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Crookston, G. E., Pierre, N. L., St-Amant, D., Beaulieu, J. & Richardsan, B. A. (2010). Contemporary and projected spline climate surfaces for Mexico and their use in understanding climate-plant relationships. *Climatic Change*, 102, 595-623. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9753-5>
- Safaei, M., Rezayan, H., Firouzabadi, P. Z. & Sadidi, J. (2021). Optimization of species distribution models using a genetic algorithm for simulating climate change effects on Zagros forests in Iran. *Ecological Informatics*, 63, 101288. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101288>
- Schaefer, H. C., Jetz, W. & Böhning-Gaese, K. (2008). Impact of climate change on migratory birds: community reassembly versus. *Global Ecology and Biogeography*, 17(1), 38-49. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00341.x>
- Sosa-Díaz, L., Valdez-Lazalde, J. R., López-Mata, L., Ángeles-Pérez, G., & De los Santos-Posadas, H. M. (2024). Riqueza, diversidad, endemismo y determinantes ambientales de *Pinus* L. en Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, 102(4), 1093-1111. <https://doi.org/10.17129/botsci.3490>
- Trejo, I., Martínez-Meyer, E., Calixto-Pérez, E., Sánchez-Colón, S., Vázquez-De La Torre, R. & Villers-Ruiz, L. (2011). Analysis of the effects of climate change on plant communities and mammals in México. *Atmósfera*, 24(1), 1-14.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/>
- Villanueva-Díaz, J., Rubio-Camacho, E. A., Chávez-Durán, A. A., Zavala-Aguirre, J. L., Cerano-Paredes, J. y Martínez-Sifuentes, A. R. (2017). Respuesta climática de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schetl en el Bosque La Primavera, Jalisco. *Madera y Bosques*, 24(1), e2411464. <https://dx.doi.org/10.21829/myb.2018.2411464>
- Wardle, D. A. & Jonsson, M. (2014). Long-term resilience of above-and belowground ecosystem components among contrasting ecosystems. *Ecology*, 95(7), 1836-1849. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/13-1666.1>
- Wis, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A. & NCEAS Predicting species distributions working group. (2008). Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14(5), 763-773. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>
- Zhang, Q., Shen, X., Jiang, X., Fan, T., Liang, X. & Yan, W. (2023). MaxEnt modeling for predicting suitable habitat for endangered tree *Keteleeria davidiana* (Pinaceae) in China. *Forests* 14(2), 394. <https://doi.org/10.3390/f14020394>

ESTIMULANTES RADICULARES PARA LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ NATIVO RAZA PEPITILLA DEL ESTADO DE GUERRERO

ROOT STIMULANTS FOR THE PRODUCTION OF NATIVE RACE PEPITILLA CORN FROM GUERRERO STATE

¹Arleth Abigail Reyna-Ayala , ²César del Ángel Hernández-Galeno , ^{2S}Noel Orlando Gómez-Montiel , ³José Francisco Díaz-Nájera , ¹Natividad Delfina Herrera-Castro , ¹José Luis Valenzuela-Lagarda , ¹Elías Hernández-Castro 

¹Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carretera Iguala-Tuxpan Km 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, C.P. 40101, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Carretera Iguala-Tuxpan Km 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero, C.P. 40054. ³Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Carretera Iguala-Cocula Km 2.5, Guerrero, México. C.P. 40585. [§]Autor de correspondencia: (noel.inifap@gmail.com).

RESUMEN

Pepitilla, una de las 15 razas puras identificadas y cultivadas en Guerrero, enfrenta desafíos principalmente agronómicos, por ello, es necesario explorar alternativas sostenibles. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del uso de estimulantes radiculares sobre las características morfoagronómicas de la variedad nativa de maíz Pepitilla. El experimento se estableció en dos comunidades de Cuetzala del Progreso, Guerrero. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. La parcela grande consistió en dos dosis de fertilización y la parcela chica contempló cuatro bioestimulantes aplicados a la semilla. La información fue sometida a un análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). A nivel estadístico no existió diferencias entre tratamientos en las variables altura de la planta (*AP*), número de hojas (*NH*), diámetro del tallo (*DT*), longitud de raíz (*LR*) y número de raíces (*NR*); sin embargo, en las variables días a floración masculina (*DFM*) y femenina (*DFF*), peso de raíz fresca (*PRF*) y seca (*PRS*), los valores fueron sobresalientes al utilizar Collision® (57.00 días, 61.33 días, 56.27 g y 24.87 g, respectivamente) y el extracto vegetal de lenteja (64.00 días, 72.00 días, 56.27 g y 24.87 gr, respectivamente). Estadísticamente, en el análisis

múltiple de medias hubo diferencias entre comunidades, destacando Chilacachapa en *AP*, *NH*, *DT*, *DFM*, *PRF*, *PRS* y *NR*. De manera general el uso de estimulantes radiculares solo tuvo efectos estadísticamente significativos en las variables días a floración masculina y femenina, peso de raíz fresca y seca, que fueron evaluadas en la variedad nativa de maíz Pepitilla.

Palabras clave: bioestimulante, extracto botánico, hongo micorrízico arbuscular, raíz.

ABSTRACT

Pepitilla, one of the 15 pure races identified and cultivated in Guerrero, faces primarily agronomic challenges, making it necessary to explore sustainable alternatives. The objective of this study was to evaluate the effect of using root stimulants on the morphoagronomic characteristics of the native maize variety Pepitilla. The experiment was conducted in two communities in Cuetzala del Progreso, Guerrero. The experimental design was a randomized complete block split-plot arrangement with three replicates. The large plot received two fertilization doses, while the small plot received four biostimulants applied to the seed. The information was subjected to an analysis of variance and multiple comparisons of means using the Tukey test ($\alpha = 0.05$). At a statistical

level, there were no differences between treatments in the variables plant height (*PH*), number of leaves (*TL*), stem diameter (*SDT*), root length (*RL*), and number of roots (*NR*). However, in the variables days to male and female flowering (*DFM*) and flowering (*DFE*), fresh and dry root weight (*FRW*), The values were outstanding when using Collision® (57.00 days, 61.33 days, 56.27 gr and 24.87 g, respectively) and the lentil plant extract (64.00 days, 72.00 days, 56.27 g and 24.87 g, respectively). Statistically, in the multiple analysis of means, there were differences between communities, with Chilacachapa standing out in *PHD*, *NH*, *PH*, *DFM*, *FRW*, *PRW* and *NR*. In general, the use of root stimulants only had statistically significant effects on the variables, days to male and female flowering, and fresh and dry root weight, which were evaluated in the native corn variety Pepitilla.

Index words: biostimulant, botanical extract, arbuscular mycorrhizal fungus, root.

INTRODUCCIÓN

El maíz ha sido la base de la alimentación y un símbolo de identidad nacional para los pueblos de México, a lo largo de miles de años. En cada región del país, se conservan variedades adaptadas a las condiciones ambientales locales, conocidas como maíces nativos. Estos maíces han perdurado gracias a la práctica de selección de semillas que llevan a cabo los productores anualmente (SADER, 2024). Este cultivo es fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo socioeconómico de las comunidades, un alimento insustituible en la mesa de los mexicanos, pero, además, es una interacción con el origen de los pueblos indígenas con sus costumbres, tradiciones y prácticas religiosas (Argueta, 2016; Gramajo et al., 2015). Se estima un consumo promedio *per cápita* al año de 196.4 kg de maíz blanco y el consumo nacional en el año 2020 fue de 19 035 000 t (SADER, 2022).

Entre la diversidad de maíces nativos del estado de Guerrero, destaca Pepitilla como una de las 15

razas puras identificadas en esta entidad. Esta variedad presenta una morfología peculiar (Sánchez et al., 2000; Goodman y Bird 1977; Wellhausen et al., 1951), sus mazorcas son de forma cónica, el color, forma y tamaño del grano presentan amplia variación, el olote es delgado con numerosas hileras de granos alargados y puntiagudos que evocan a las pepitas de calabaza (Wellhausen et al., 1951); se han colectado variedades representativas entre el sur de Morelos, suroeste de Puebla y norte de Guerrero y se aclimata a suelos poco profundos, con pendiente e infértiles (CONABIO, 2020; Wellhausen et al., 1951). El estudio de diferentes accesiones de la raza Pepitilla, han mostrado contenidos de 12% de proteína y 6 % de aceite, lo que proporciona la mejor calidad en tortilla (CONABIO, 2020; Tadeo-Robledo et al., 2010; Sánchez et al., 2000; Wellhausen et al., 1951).

Los maíces nativos enfrentan varios desafíos agronómicos, tales como: porte alto, acame, susceptibilidad a plagas y enfermedades y bajo rendimiento (Hernández-Galeno et al., 2023), por ello, son subutilizados en la industria (Esquivel-Esquivel et al., 2023). Para disminuir estos aspectos y mejorar la productividad de estos maíces, se hace uso de diferentes agroquímicos, entre ellos, los fertilizantes, sin embargo, estos también generan efectos adversos al medio ambiente (Inquilla et al., 2024).

Para abordar estas limitaciones, se han explorado alternativas sostenibles como el uso de hongos micorrícicos arbusculares (*HMA*) que realizan asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas y ayudan a las mismas en la absorción de agua y nutrientes del suelo (especialmente fósforo), mientras que la planta les proporciona carbohidratos (Ma et al., 2022); también otorgan resistencia ante las altas temperaturas, regulando la osmosis y la composición de carbohidratos (Mathur y Jajoo, 2020). Así también, los productos orgánicos aportan alta concentración de nutrientes e influyen en los ciclos biogeoquímicos, mejorando el estado de salud de la planta y la calidad del suelo (Zulfikar et al., 2020); de igual

manera presentan propiedades antifúngicas a causa de metabolitos secundarios (flavonoides, fenoles, terpenos, aceites esenciales, alcaloides, lectinas y polipéptidos) (Górniak et al., 2019).

Hernández-Aguilar et al. (2022) reportaron que la aplicación del microorganismo benéfico *Azospirillum brasilense* en maíz azul presentó la media más alta en el diámetro del tallo, y al utilizar micorrizas, la floración femenina fue más precoz, en el maíz blanco, el diámetro de la mazorca (46.48 mm) y el rendimiento del grano (6.3 t ha⁻¹) fue estadísticamente significativo, lo que sugiere que el uso de microorganismos en cultivos pueden ser una alternativa para la agricultura sustentable, por otro lado, Peñuelas et al. (2020) identificaron 61 especies del género *Glomus* en asociación con razas nativas de maíz cultivadas en Ocotepc, Veracruz, México; Dávila et al. (2021) reportaron que al utilizar extractos vegetales (canela, neem y jengibre) en semillas de maíz a concentraciones bajas, se estimula el crecimiento radicular y aéreo, e inhiben el crecimiento de hongos fitopatógenos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del uso de estimulantes radiculares sobre las características morfoagronómicas de la variedad nativa de maíz Pepitilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se estableció en las comunidades de Chilacachapa y Tianquizolco, municipio de Cuetzala del Progreso, Guerrero. Chilacachapa se encuentra a 1,652 m y a los 18° 14' 24.39" N y 99° 45' 42.858" W. Tianquizolco presenta altitud de 1,615 m y su ubicación geográfica es a los 18° 13' 25.11" N y 99° 45' 30.618" W (INEGI, 2021).

Diseño experimental

La semilla de maíz utilizada fue de una variedad nativa de la raza Pepitilla cultivada en la zona. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. La parcela grande consistió en dos dosis de fertilización: la tradicional realizada por productores de la región de trabajo (90N-60P-00K) y la baja (60N-30P-00K) menor a la aplicación convencional, mientras que la parcela chica contempló cuatro bioestimulantes: 1) micorriza INIFAP® (20 propágulos de *Glomus intraradices* por gramo de sustrato); 2) Collision® (*Glomus intraradices* 35,500 UFC g⁻¹); extractos botánicos de 3) lenteja y 4) de sábila (Tabla I). La combinación de ambos factores arrojó ocho tratamientos y dos testigos (semilla sin bioestimulante).

Tabla I. Tratamientos utilizados en Chilacachapa y Tianquizolco pertenecientes al municipio de Cuetzala del Progreso, Guerrero para la evaluación de las variables respuesta.

Tratamiento	Fertilización (N-P-K)	Dosis por tratamiento
T1. Testigo	Tradicional (90-60-00)	0 mL
T2. Micorriza INIFAP®	Tradicional (90-60-00)	1.0 kg/40.0 kg semilla
T3. Collision®	Tradicional (90-60-00)	500 g/60 000 semilla
T4. Lenteja	Tradicional (90-60-00)	606 mL/1.0 kg semilla
T5. Sábila	Tradicional (90-60-00)	606 mL/1.0 kg semilla
T6. Testigo	Baja (60-30-00)	0 mL
T7. Micorriza INIFAP®	Baja (60-30-00)	1.0 kg/40.0 kg semilla
T8. Collision®	Baja (60-30-00)	500 g/60 000 semilla
T9. Lenteja	Baja (60-30-00)	606 mL/1.0 kg semilla
T10. Sábila	Baja (60-30-00)	606 mL/1.0 kg semilla

La siembra se llevó a cabo en el ciclo agrícola primavera verano 2023, bajo el sistema por cajetes, con cuatro semillas por mata a una distancia de 80 cm, obteniendo 62,500 plantas ha⁻¹, la unidad experimental (UE) constó de cuatro hileras de 0.8 m de ancho y longitud de 4.8 m, cada una, con siete matas. El manejo del cultivo se realizó de manera similar en las dos localidades, considerando las prácticas de los productores locales, como escardas alrededor de la planta, limpieza con machete y uso de agroquímicos en plantas indeseables.

Para la elaboración de los extractos botánicos, en lenteja se utilizó una proporción 4:1 de agua y semillas enteras de lenteja, ambas obtenidas en presentación comercial. La mezcla se realizó en un contenedor plástico de 500 mL y se cubrió con una tela que permitiera el flujo de aire, se dejó en reposo durante 8 h a la sombra y temperatura ambiente (28 ± 2 °C), posteriormente, con una coladera se retiró el agua de la mezcla, la cual se conservó para su posterior uso, se cubrió de nuevo el contenedor de la lenteja y se destapó al día siguiente, se agregó el agua conservada a fin de que se humedezca la semilla y se volvió a retirar, este paso se repitió durante cuatro días hasta observar la germinación de la mayoría de las semillas. Las semillas germinadas a los 5 días se molieron en una licuadora casera marca Oster® junto con el agua conservada, se coló la mezcla y se conservó el extracto en un contenedor de plástico de 1 L a temperatura ambiente (28 ± 2 °C). Para el tratamiento de la semilla de maíz, se utilizó 200 mL del extracto obtenido y se mezcló con 2000 mL de agua. De esta solución, se utilizó 606 mL/1.0 kg semilla, se dejó reposar al aire libre en un espacio sombreado durante 30 minutos.

Para elaborar el extracto de sábila, se cortaron hojas de *Aloe vera* L. sanas, sin presencia de patógenos, se retiró con un cuchillo la cubierta de la hoja y se obtuvieron 150 g del gel a los cuales se les agregó 50 mL de agua purificada potable y fueron molidos con una licuadora casera marca Oster®. La mezcla obtenida se colocó a la semilla de maíz a razón de 606 mL/1.0 kg semilla y se

dejó ventilar en un espacio sombreado a temperatura ambiente (28 ± 2 °C) hasta notar que se perdió la humedad del gel.

Cada uno de los cuatro tratamientos se aplicó a la semilla de maíz Pepitilla y de manera adicional se agregó el aditivo agrícola (Break Thru / 30-60 cm³ por cada 100 L de agua) y el insecticida (Allectus 150 TS / Bifentrina + imidacloprid, 0.4-0.6 L/20 kg de semilla). Las variables de crecimiento del cultivo fueron tomadas en cinco plantas seleccionadas al azar, ubicadas en los dos surcos del centro de cada UE. Se realizaron cinco mediciones en las etapas de desarrollo vegetativo V4, V5, V6, V7 y V8. La altura de la planta se midió en centímetros desde la base del cuello de la planta hasta el último entrenudo visible; se contabilizó el número de hojas totales a los 27, 37, 44 y 51 días después de la siembra (*dds*) y la variable diámetro del tallo (mm) se tomó con un vernier digital marca SURTEK®, a una altura de 5.0 cm del suelo.

Para las variables días a floración masculina y días a floración femenina, se registraron los días cuando en más del 50 % de las plantas de cada UE la inflorescencia masculina (espigas) y femenina (jilote) estaban presentes. Posterior a la cosecha, se seleccionaron cinco raíces al azar de cada UE; para el peso de la raíz recién extraída se llevó a cabo una perforación circular en el suelo con diámetro de 60 cm y profundidad de 30 cm, considerando el cuello de la planta en la parte central del mismo, se extrajo la raíz completa y se lavó con agua a chorro para retirar el suelo y posteriormente se pesó en una balanza electrónica casera marca Rhino®; para la toma del peso seco de la raíz, se dejó en el horno de secado marca Riossa® digital modelo HCF-62 por 72 h a 58 °C y finalmente, se pesó en una balanza granataria; la longitud de la raíz se midió desde la base del cuello de la planta hasta la punta de la raíz más larga con una regla plástica de 30 cm; se contabilizó el número total de raíces y finalmente para el cálculo del volumen de la raíz por el principio volumen sumergido de Arquímedes (Vite, 2014).

Manejo y análisis de datos

Se realizó análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), estas pruebas se realizaron con el paquete estadístico SAS 9.0 (SAS, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de la planta

La evaluación de la altura de la planta por los tratamientos aplicados mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en las etapas V6 y V7 para Chilacachapa y V5-V7 para Tianquizolco.

En Chilacachapa, los mayores promedios con respecto al testigo fueron a partir de la etapa vegetativa V6 con el T2 (78.28 cm y 199.53 cm) y T3 (47.28 cm y 77.99 cm) con fertilización tradicional 90N-60P-00K y uso de micorrizas, de igual modo sucedió en Tianquizolco con el T3 que incluyó el uso de la micorriza INIFAP® en las etapas V4 (7.01 cm), V5 (14.96 cm) y V7 (60.60 cm) (Tabla 2).

Tabla 2. Comportamiento de la altura (cm) de planta de maíz ante los tratamientos (T) aplicados en Chilacachapa y Tianquizolco, Guerrero en el ciclo primavera-verano 2023.

Tratamiento	Fertilización (N-P-K)	Sitio 1: Chilacachapa					Sitio 2: Tianquizolco				
		Evaluaciones					Evaluaciones				
		V4	V5	V6	V7	V8	V4	V5	V6	V7	V8
T1 Testigo	Tradicional (90-60-00)	8.53 ^{a,A}	20.61 ^{a,A}	43.34 ^{ab,A}	67.90 ^{ab,A}	188.33 ^{ab,A}	6.63 ^{ab,A}	14.74 ^{a,B}	26.10 ^{a,B}	62.80 ^{a,A}	179.07 ^{a,A}
T2 micorriza INIFAP®	Tradicional (90-60-00)	9.16 ^{a,A}	21.39 ^{a,A}	44.43 ^{ab,A}	78.28 ^{a,A}	199.53 ^{a,A}	4.90 ^{abc,B}	10.53 ^{ab,B}	19.10 ^{abc,B}	40.14 ^{bc,B}	159.00 ^{a,B}
T3 Collision®	Tradicional (90-60-00)	9.40 ^{a,A}	21.94 ^{a,A}	47.28 ^{a,A}	77.99 ^{a,A}	189.80 ^{ab,A}	7.01 ^{a,B}	14.96 ^{a,B}	20.70 ^{ab,B}	60.60 ^{a,A}	181.33 ^{a,A}
T4 Lenteja	Tradicional (90-60-00)	7.29 ^{a,A}	17.98 ^{a,A}	39.62 ^{abc,A}	61.98 ^{ab,A}	182.00 ^{ab,A}	5.70 ^{abc,A}	11.76 ^{ab,B}	20.63 ^{abc,B}	43.26 ^{abc,A}	183.73 ^{a,A}
T5 Sábila	Tradicional (90-60-00)	9.18 ^{a,A}	20.93 ^{a,A}	41.83 ^{abc,A}	64.67 ^{ab,A}	119.73 ^{ab,A}	5.44 ^{abc,B}	12.96 ^{ab,B}	21.03 ^{abc,B}	52.13 ^{ab,B}	171.20 ^{a,A}
T6 Testigo	Baja (60-30-00)	7.81 ^{a,A}	18.46 ^{a,A}	37.76 ^{abc,A}	60.22 ^{ab,A}	180.33 ^{ab,A}	5.27 ^{abc,B}	11.10 ^{ab,B}	19.06 ^{abc,B}	30.86 ^{bc,B}	163.73 ^{a,A}
T7 micorriza INIFAP®	Baja (60-30-00)	7.45 ^{a,A}	18.32 ^{a,A}	30.53 ^{c,A}	54.22 ^{b,A}	166.46 ^{b,A}	5.40 ^{abc,B}	13.06 ^{ab,B}	22.34 ^{ab,B}	50.53 ^{abc,A}	161.13 ^{a,A}
T8 Collision®	Baja (60-30-00)	7.56 ^{a,A}	17.88 ^{a,A}	35.73 ^{bc,A}	56.67 ^{b,A}	177.40 ^{ab,A}	5.83 ^{abc,B}	12.52 ^{ab,B}	20.00 ^{abc,B}	44.63 ^{abc,A}	163.53 ^{a,A}
T9 Lenteja	Baja (60-30-00)	6.85 ^{a,A}	20.10 ^{a,A}	35.84 ^{abc,A}	50.49 ^{b,A}	171.66 ^{ab,A}	4.64 ^{bc,B}	9.50 ^{ab,B}	13.96 ^{c,B}	31.40 ^{c,B}	155.33 ^{a,A}
T10 Sábila	Baja (60-30-00)	7.58 ^{a,A}	20.52 ^{a,A}	30.10 ^{abc,A}	68.86 ^{ab,A}	184.13 ^{ab,A}	4.11 ^{c,B}	9.52 ^{b,B}	17.46 ^{bc,B}	32.96 ^{bc,B}	161.00 ^{a,A}
DMS		3.5978 ^{ns}	6.947 ^{ns}	11.466 ^{**}	18.91 ^{**}	30.939 [*]	2.2471 ^{**}	4.5086 ^{**}	7.4154 ^{**}	20.019 ^{**}	42.908 ^{ns}

V = etapa vegetativa. Letras minúsculas indican diferencia estadística significativa por columna entre sitios de estudio para una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Letras mayúsculas indican diferencia estadística significativa por filas para cada uno de los tratamientos en una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). *Significativo ($p \leq 0.05$), **altamente significativo ($p \leq 0.01$), ^{ns}no significativo ($p > 0.05$) en la DMS = diferencia mínima significativa.

Los resultados obtenidos muestran el efecto de las micorrizas en la altura de la planta que coinciden con Canizalez-Silva et al. (2024) al analizar el efecto de las micorrizas en complemento con fertilizante y reportaron a los 45 días ($p < 0.05$) los promedios más altos (14.18, 28.88 y 38.80 cm) con NITROK + micorrizas. Además, Huamán y Perales (2021) reportaron que la altura de las plantas de maíz cultivadas en invernadero con suelo micorrizado de diferentes sitios: Huachaybamba (76.53 cm), Pomavilca (75.40 cm), con actinomiceto de Chupa (62.93 cm) y actinomiceto de Pueblo Viejo (62.53 cm) estadísticamente superaron al suelo testigo.

Los valores mínimo y máximo para la variable altura de planta en Chilacachapa fue de 6.85 cm y 199.53 cm, respectivamente. En Tianquizolco, fue de 4.11 cm y 183.73 cm, respectivamente. En la

comparación múltiple de medias, la localidad de Chilacachapa mostró los valores más altos ($p \leq 0.05$) con respecto a Tianquizolco para la variable altura de planta (Tabla 2).

Número de hojas

En la evaluación de esta variable, los tratamientos evaluados no mostraron diferencias estadísticas en ambos sitios. En Chilacachapa, los mayores promedios con respecto al testigo se observaron a los 37 y 66 dds utilizando el T2 micorriza INIFAP® (12.06 hojas) con fertilización tradicional y el T9 lenteja (13.13 hojas) con fertilización baja respectivamente. Tianquizolco numéricamente destacó con el mayor promedio respecto al testigo el T3 con micorrizas y la fertilización tradicional (Tabla 3).

Tabla 3. Comportamiento del número de hojas en la planta de maíz ante los tratamientos aplicados en Chilacachapa y Tianquizolco Guerrero en el ciclo primavera-verano 2023.

Tratamiento	Fertilización (N-P-K)	Sitio 1: Chilacachapa Evaluaciones (dds)					Sitio 2: Tianquizolco Evaluaciones (dds)				
		27	37	44	51	66	27	37	44	51	66
T1 Testigo	Tradicional (90-60-00)	8.53 ^{a,A}	10.66 ^{ab,A}	11.13 ^{a,A}	12.20 ^{a,A}	12.06 ^{ab,A}	7.60 ^{a,B}	10.06 ^{a,A}	11.60 ^{a,A}	11.13 ^{a,B}	8.86 ^{a,B}
T2 micorriza INIFAP®	Tradicional (90-60-00)	9.06 ^{a,A}	12.06 ^{a,A}	11.80 ^{a,A}	12.93 ^{a,A}	12.86 ^{ab,A}	7.26 ^{a,B}	9.40 ^{a,B}	11.00 ^{a,A}	10.26 ^{a,B}	9.00 ^{a,B}
T3 Collision®	Tradicional (90-60-00)	8.73 ^{a,A}	10.93 ^{ab,A}	11.53 ^{a,A}	11.80 ^{a,A}	11.46 ^{b,A}	8.13 ^{a,A}	10.26 ^{a,A}	10.86 ^{a,A}	11.06 ^{a,A}	10.00 ^{ab}
T4 Lenteja	Tradicional (90-60-00)	8.80 ^{a,A}	9.93 ^{b,A}	11.66 ^{a,A}	12.26 ^{a,A}	11.93 ^{ab,A}	7.60 ^{a,B}	9.20 ^{a,A}	10.33 ^{a,B}	10.53 ^{a,B}	9.20 ^{a,B}
T5 Sábila	Tradicional (90-60-00)	8.93 ^{a,A}	11.20 ^{ab,A}	11.40 ^{a,A}	11.86 ^{a,A}	11.93 ^{ab,A}	7.87 ^{a,B}	9.40 ^{a,B}	10.73 ^{a,A}	10.80 ^{a,B}	8.66 ^{a,B}
T6 Testigo	Baja (60-30-00)	8.80 ^{a,A}	10.60 ^{ab,A}	12.00 ^{a,A}	12.53 ^{a,A}	12.40 ^{ab,A}	7.60 ^{a,B}	9.06 ^{a,B}	10.53 ^{a,B}	11.00 ^{a,B}	9.20 ^{a,B}
T7 micorriza INIFAP®	Baja (60-30-00)	8.60 ^{a,A}	10.80 ^{ab,A}	11.13 ^{a,A}	12.00 ^{a,A}	11.93 ^{ab,A}	7.53 ^{a,B}	9.73 ^{a,B}	11.00 ^{a,A}	10.66 ^{a,B}	8.86 ^{a,B}
T8 Collision®	Baja (60-30-00)	9.06 ^{a,A}	10.40 ^{ab,A}	11.80 ^{a,A}	12.66 ^{a,A}	12.86 ^{ab,A}	7.06 ^{a,B}	8.86 ^{a,B}	10.26 ^{a,B}	10.40 ^{a,B}	9.53 ^{a,B}
T9 Lenteja	Baja (60-30-00)	8.46 ^{a,A}	10.86 ^{ab,A}	11.93 ^{a,A}	13.00 ^{a,A}	13.13 ^{a,A}	7.73 ^{a,A}	8.80 ^{a,B}	10.33 ^{a,B}	10.80 ^{a,B}	9.53 ^{a,B}
T10 Sábila	Baja (60-30-00)	8.53 ^{a,A}	10.80 ^{ab,A}	11.06 ^{a,A}	11.86 ^{a,A}	12.00 ^{ab,A}	7.13 ^{a,B}	8.93 ^{a,B}	10.00 ^{a,B}	10.73 ^{a,B}	9.46 ^{a,B}
DMS=		1.410 ^{ns}	1.870 ^{ns}	1.457 ^{ns}	1.486 ^{ns}	1.408 ^{**}	1.160 ^{ns}	1.508 [*]	1.652 ^{ns}	1.636 ^{ns}	1.654 ^{ns}

dds = días después de la siembra. Letras minúsculas indican diferencia estadística significativa por columna entre sitios de estudio para una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Letras mayúsculas indican diferencia estadística significativa por filas para cada uno de los tratamientos en una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). *Significativo ($p \leq 0.05$), **altamente significativo ($p \leq 0.01$), ns no significativo ($p > 0.05$) en la DMS = diferencia mínima significativa.

Los resultados obtenidos muestran el efecto de la aplicación de las micorrizas que coinciden con Guzmán-Saavedra y Pinedo-Ramírez (2024), al reportar la influencia de cadmio y la interacción con micorrizas sobre la bioacumulación y morfología en *Zea mays* L., en la variable número de hojas fue superior en el tratamiento con micorrizas, algo semejante sucedió con lo reportado por Huamán y Perales (2021), sobre el efecto de micorrizas y actinomicetos en *Zea mays* L., obteniendo 10.80 hojas/planta desarrolladas en suelo micorrizado, que estadísticamente superó al testigo (9.40 hojas/planta) y entre los tratamientos del presente estudio no existió diferencias significativas. Por su parte, García-Mendoza et al. (2021) indican que el número de hojas por planta depende de las características genotípicas de la variedad de maíz, los cuales tienen características bien definidas y que reúne la condición de ser diferentes a otras variedades, siendo estables en sus características esenciales.

El valor mínimo y máximo para la variable número de hojas en Chilacachapa fue de 8.46 y 13.13 hojas, respectivamente. En Tianquizolco, fue de 7.06 y 10.00 hojas, respectivamente. En la comparación múltiple, Chilacachapa mostró medias altas ($p \leq 0.05$) con respecto a Tianquizolco (Tabla 3).

Diámetro del tallo

La variable diámetro del tallo, entre tratamientos no hubo diferencias estadísticas en Chilacachapa y para Tianquizolco se encontró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), en la etapa vegetativa V5. En Chilacachapa se obtuvieron los mayores promedios con respecto al testigo a partir de la etapa vegetativa V8 con el T9 lenteja (28.67 mm) y la fertilización 60N-30P-00K, por otro lado, Tianquizolco en la etapa V4 (9.50) y V6 (17.36 mm) el T3 con el uso de micorrizas y la fertilización 90N-60P-00K presentó el mayor promedio respecto al testigo (Tabla 4).

Los resultados obtenidos muestran efecto favorable del extracto botánico lenteja en el diámetro del tallo, efecto similar en cultivos diferentes como lo reportado por Miranda-Barrios et al. (2022), al utilizar extracto de lenteja en rizomas de zarzamora, sobresalió ($p \leq 0.05$) en las variables respuesta evaluadas incluido diámetro de cuello que se tomó en el tallo de las plantas evaluadas, de igual manera, Garbanzo et al. (2021) evaluaron soluciones naturales (agua de pipa, coco y lentejas) de las cuales tuvieron un efecto positivo en cladodios de pitahaya. Juárez-Santillán et al. (2021) evaluaron fitohormonas y peróxido de hidrógeno en maíz, de las cuales la hormona auxina presente en el extracto de lenteja encargada de división y alargamiento principalmente de la raíz (Sáez-Cigarruista et al., 2024), favoreció el mayor tamaño del tallo con respecto al tratamiento control.

Los valores mínimo y máximo para la variable diámetro de tallo en Chilacachapa fueron de 10.38 mm y 28.67 mm, respectivamente. En Tianquizolco, fue de 7.27 y 21.01 mm, respectivamente. La comparación múltiple en Chilacachapa mostró valores altos ($p \leq 0.05$) con respecto a Tianquizolco (Tabla 4).

Días a floración masculina

Los tratamientos aplicados mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en ambas comunidades, en Chilacachapa los tratamientos T4, T7 y T9 con 58.33 días respectivamente, en tanto que el menor promedio con respecto al testigo fue obtenido por los tratamientos T3 con micorrizas y T10 extracto botánico de sábila con 57 días y fertilización tradicional y baja respectivamente, así mismo, en Tianquizolco el T6 testigo (65.33 días) con la dosis de fertilización 60N-30P-00K mientras que el menor número de días promedio lo obtuvo el T3 (62 días) utilizando micorrizas con la dosis 90N-60P-00K.

Tabla 4. Comportamiento del diámetro del tallo (mm) de la planta de maíz ante los tratamientos aplicados en Chilacachapa y Tianquizolco, Guerrero en el ciclo primavera-verano 2023.

Tratamiento	Fertilización (N-P-K)	Sitio 1: Chilacachapa					Sitio 2: Tianquizolco				
		Evaluaciones					Evaluaciones				
		V4	V5	V6	V7	V8	V4	V5	V6	V7	V8
T1 Testigo	Tradicional (90-60-00)	11.66 ^{a,A}	17.42 ^{a,A}	22.70 ^{a,A}	23.86 ^{a,A}	26.37 ^{ab,A}	8.42 ^{ab,B}	14.61 ^{a,B}	10.62 ^{ab,B}	19.62 ^{a,B}	21.01 ^{a,B}
T2 micorriza INIFAP®	Tradicional (90-60-00)	11.80 ^{a,A}	18.48 ^{a,A}	22.09 ^{a,A}	25.27 ^{a,A}	27.06 ^{ab,A}	7.63 ^{b,B}	13.13 ^{a,B}	15.05 ^{ab,B}	17.28 ^{a,B}	18.17 ^{a,B}
T3 Collision®	Tradicional (90-60-00)	11.80 ^{a,A}	17.46 ^{a,A}	21.66 ^{a,A}	23.20 ^{a,A}	23.02 ^{b,A}	9.50 ^{a,B}	15.07 ^{a,B}	17.36 ^{a,B}	19.37 ^{a,B}	20.61 ^{a,B}
T4 Lenteja	Tradicional (90-60-00)	10.75 ^{a,A}	15.80 ^{a,A}	22.09 ^{a,A}	23.34 ^{a,A}	26.43 ^{ab,A}	8.08 ^{ab,B}	12.52 ^{a,B}	15.35 ^{ab,B}	16.48 ^{a,B}	17.68 ^{a,B}
T5 Sábila	Tradicional (90-60-00)	11.74 ^{a,A}	18.52 ^{a,A}	21.93 ^{a,A}	24.22 ^{a,A}	25.35 ^{ab,A}	8.18 ^{ab,B}	13.62 ^{a,B}	16.26 ^{ab,B}	15.56 ^{a,B}	20.79 ^{a,B}
T6 Testigo	Baja (60-30-00)	11.33 ^{a,A}	16.92 ^{a,A}	22.68 ^{a,A}	24.23 ^{a,A}	25.76 ^{ab,A}	7.59 ^{b,B}	12.40 ^{a,B}	15.22 ^{ab,B}	17.41 ^{a,B}	19.33 ^{a,B}
T7 micorriza INIFAP®	Baja (60-30-00)	11.4 ^{a,A}	17.73 ^{a,A}	20.98 ^{a,A}	23.30 ^{a,A}	25.29 ^{ab,A}	8.20 ^{ab,B}	14.04 ^{a,B}	15.98 ^{ab,B}	17.83 ^{a,B}	20.36 ^{a,B}
T8 Collision®	Baja (60-30-00)	12.26 ^{a,A}	16.62 ^{a,A}	21.48 ^{a,A}	23.24 ^{a,A}	26.58 ^{ab,A}	7.69 ^{ab,B}	13.20 ^{a,B}	15.28 ^{ab,B}	17.31 ^{a,B}	19.16 ^{a,B}
T9 Lenteja	Baja (60-30-00)	10.38 ^{a,A}	18.13 ^{a,A}	23.26 ^{a,A}	24.50 ^{a,A}	28.67 ^{a,A}	7.97 ^{ab,B}	12.53 ^{a,B}	13.81 ^{ab,B}	15.47 ^{a,B}	19.33 ^{a,B}
T10 Sábila	Baja (60-30-00)	11.58 ^{a,A}	16.90 ^{a,A}	22.18 ^{a,A}	25.29 ^{a,A}	27.49 ^{ab,A}	7.27 ^{b,B}	12.12 ^{a,B}	13.47 ^{b,A}	16.68 ^{a,B}	19.14 ^{a,B}
DMS=		3.561 ^{ns}	3.845 ^{ns}	3.776 ^{ns}	3.998 ^{ns}	4.719 ^{ns}	1.856 [*]	3.161 ^{**}	3.792 [*]	4.336 ^{ns}	3.785 ^{ns}

V = etapa vegetativa. Letras minúsculas indican diferencia estadística significativa por columna entre sitios de estudio para una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Letras mayúsculas indican diferencia estadística significativa por filas para cada uno de los tratamientos en una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). *Significativo ($p \leq 0.05$), **altamente significativo ($p \leq 0.01$), ^{ns}no significativo ($p > 0.05$) en la DMS = diferencia mínima significativa.

En ambas comunidades, los tratamientos con micorrizas y fertilización tradicional disminuyeron los días a floración masculina respecto al testigo, se debe agregar que Pierre et al. (2023) realizaron un estudio en variedades criollas y mejoradas de maíz ante la fertilización e inoculación de hongos micorrícicos arbusculares, en las parcelas sin fertilización, las variedades mostraron un retraso significativo en *DFM* ($p = 0.0032$) y *DFF* ($p = 0.0031$) en relación a las parcelas con fertilización. Colina et al. (2020) determinaron que al aplicar 1.0 L ha⁻¹ de micorrizas al suelo agrícola de manera constante, estas permanecen en el suelo, ya que al aplicar fertilizantes nitrogenados continuamente ocasiona la disminución de las poblaciones; además, Palacios y García (2021) reportaron que la interacción de micorrizas y diazótrofos más la fertilización química mejoran significativamente la salud de la planta.

En la comparación múltiple, Tianquizolco mostró medias altas en las variables *DFM* ($p \leq 0.05$) con respecto a Chilacachapa (Tabla 5).

Días a floración femenina

En la evaluación de esta variable, los tratamientos aplicados mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en ambas comunidades, en Chilacachapa el tratamiento T9 (62 días) tuvo el valor máximo, mientras que el menor promedio se obtuvo con el T10 (60.33 días) con extracto botánico de sábila con fertilización baja; para Tianquizolco los mayor valores se obtuvieron en los tratamientos T4 (72 días), T10 (72 días) y T9 (71 días), mientras que el menor número de días promedio lo obtuvo el T5 (67 días) sábila con la dosis de fertilización tradicional (Tabla 5).

Tabla 5. Comportamiento en la floración y raíz ante los tratamientos aplicados en Chilacachapa y Tianquizolco, Guerrero en el ciclo primavera-verano 2023.

Tratamiento	Fertilización (N-P-K)	DFM		DFF		PRF (gr)		PRS (gr)		LR (cm)		NR	
		CH	TQ	CH	TQ	CH	TQ	CH	TQ	CH	TQ	CH	TQ
T1 Testigo	Tradicional (90-60-00)	57.33 ^{b,A}	61.67 ^{f,A}	61.00 ^{bc,B}	67.00 ^{c,A}	52.07 ^{a,A}	15.73 ^{ab,B}	22.27 ^{a,A}	11.33 ^{a,B}	17.58 ^{a,B}	14.48 ^{a,A}	45.93 ^{a,B}	33.40 ^{a,A}
T2 micorriza INIFAP®	Tradicional (90-60-00)	57.67 ^{ab,A}	63.33 ^{bcde,A}	61.00 ^{bc,B}	70.33 ^{ab,A}	39.00 ^{a,A}	14.40 ^{ab,B}	13.80 ^{ab,A}	8.87 ^{a,A}	17.46 ^{a,A}	12.81 ^{a,B}	43.60 ^{a,A}	32.33 ^{a,B}
T3 Collision®	Tradicional (90-60-00)	57.00 ^{b,A}	62.00 ^{ef,A}	61.33 ^{ab,B}	67.67 ^{bc,A}	30.20 ^{a,A}	14.47 ^{ab,B}	13.67 ^{ab,A}	8.93 ^{a,A}	16.33 ^{a,A}	16.26 ^{a,A}	39.93 ^{a,A}	34.73 ^{a,A}
T4 Lenteja	Tradicional (90-60-00)	58.33 ^{a,A}	64.00 ^{abcd,A}	61.33 ^{ab,B}	72.00 ^{a,A}	56.27 ^{a,A}	6.13 ^{b,B}	24.87 ^{a,A}	3.20 ^{b,B}	16.75 ^{a,A}	5.43 ^{b,B}	50.93 ^{a,A}	11.33 ^{b,B}
T5 Sábila	Tradicional (90-60-00)	57.67 ^{ab,A}	62.67 ^{def,A}	61.00 ^{bc,B}	67.00 ^{c,A}	42.53 ^{a,A}	16.67 ^{ab,B}	17.60 ^{ab,A}	9.80 ^{a,B}	17.82 ^{a,A}	15.31 ^{a,A}	49.47 ^{a,A}	33.67 ^{a,B}
T6 Testigo	Baja (60-30-00)	57.67 ^{ab,B}	65.33 ^{a,A}	61.67 ^{ab,B}	70.00 ^{ab,A}	33.87 ^{a,A}	16.87 ^{ab,B}	17.47 ^{ab,A}	9.27 ^{a,B}	17.10 ^{a,A}	15.41 ^{a,A}	41.07 ^{a,A}	29.67 ^{a,B}
T7 micorriza INIFAP®	Baja (60-30-00)	58.33 ^{a,A}	63.00 ^{cdef,A}	61.00 ^{bc,B}	68.00 ^{bc,A}	32.87 ^{a,A}	13.60 ^{ab,B}	9.40 ^{ab,A}	9.40 ^{a,A}	15.65 ^{a,A}	14.39 ^{a,A}	49.40 ^{a,A}	31.13 ^{a,B}
T8 Collision®	Baja (60-30-00)	57.67 ^{ab,A}	63.00 ^{cdef,A}	61.67 ^{ab,B}	70.00 ^{ab,A}	29.73 ^{a,A}	17.07 ^{ab,A}	17.13 ^{ab,A}	7.33 ^{ab,B}	16.99 ^{a,A}	14.78 ^{a,A}	40.07 ^{a,A}	32.07 ^{a,A}
T9 Lenteja	Baja (60-30-00)	58.33 ^{a,A}	64.67 ^{ab,A}	62.00 ^{a,B}	71.00 ^{a,A}	40.53 ^{a,A}	17.33 ^{a,B}	19.67 ^{ab,A}	9.00 ^{a,B}	14.79 ^{a,A}	14.11 ^{a,A}	44.67 ^{a,A}	28.07 ^{a,B}
T10 Sábila	Baja (60-30-00)	57.00 ^{b,B}	64.33 ^{abc,A}	60.33 ^{c,B}	72.00 ^{a,A}	37.87 ^{a,A}	13.80 ^{ab,B}	19.87 ^{ab,A}	8.67 ^{a,B}	15.99 ^{a,A}	13.65 ^{a,A}	46.27 ^{a,A}	29.73 ^{a,B}
DMS		0.91 ^{**}	1.46 ^{**}	0.69 ^{**}	2.87 ^{**}	28.66 ^{ns}	10.99 ^{**}	12.41 ^{**}	5.35 ^{**}	4.70 ^{ns}	4.95 ^{**}	14.69 ^{ns}	10.06 ^{**}

DFM = días a floración masculina, DFF = días a floración femenina, PRF = peso de raíz fresca, PRS = peso de raíz seca, LR = longitud de raíz, NR = número de raíces, CH = sitio 1: Chilacachapa, TQ = sitio 2: Tianquizolco. Letras minúsculas indican diferencia estadística significativa por columna entre sitios de estudio para una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Letras mayúsculas indican diferencia estadística significativa por filas para cada uno de los tratamientos en una misma evaluación (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). *Significativo ($p \leq 0.05$), **altamente significativo ($p \leq 0.01$), ns no significativo ($p > 0.05$) en la DMS = diferencia mínima significativa.

Los resultados obtenidos muestran el efecto de la sábila en cualquiera de las dosis utilizadas, por el contrario, Hernández-Aguilar et al. (2022) en la mixteca oaxaqueña reportaron diferencia significativa ($p < 0.05$) en la variable días a floración femenina en plantas del maíz azul inoculado con micorrizas (81.45 días), por otro lado, el maíz blanco (96.61 días) sin inocular fue el más tardío. En la comparación múltiple de medias, Tianquizolco mostró mayores valores promedio para DFF ($p \leq 0.05$) con respecto a Chilacachapa (Tabla 5).

Peso de la raíz fresca

Para esta variable, entre tratamientos no hubo diferencias estadísticas en Chilacachapa y para Tianquizolco, se encontró diferencias estadísticas

significativas ($p < 0.05$) con el T9 lenteja (17.33 g) con fertilización baja, mientras que el menor peso lo presentó el T4 lenteja (6.13) con fertilización tradicional (Tabla 5).

Los resultados obtenidos muestran el efecto de la lenteja en el peso de la raíz fresca con la dosis baja de fertilizante aplicado, lo cual puede atribuirse a la intervención de las auxinas, al presentarse niveles elevados se mantiene una actividad meristemática constante, promoviendo la división celular (Garay-Arroyo et al., 2014), y favorecer al posible incremento del peso de la raíz.

En la comparación múltiple para esta variable Chilacachapa mostró mayores valores ($p \leq 0.05$) con respecto a Tianquizolco (Tabla 5).

Peso de la raíz seca

Para la evaluación del peso de la raíz seca entre tratamientos, hubo diferencias estadísticas ($p < 0.05$) en ambas comunidades, en Chilacachapa el peso promedio mayor fue con el T4 (24.87 g) con fertilización tradicional, el menor peso lo presentó el T3 (13.67g), para Tianquizolco el T2 (8.87 g), T3 (8.93 g), T5 (9.8 g), T7 (9.40 g), T9 (9.00 g) y T10 (8.67 g), el menor peso lo presentó el T4 (3.2 g) con fertilización tradicional, respectivamente.

Los resultados obtenidos muestran el efecto de la lenteja, micorrizas y sábila para esta variable en ambas dosis de fertilización, García-Cid et al. (2024), utilizaron extracto de lenteja y sábila en esquejes de tomate, obteniendo efectos significativos en las variables agronómicas relacionadas al peso de la raíz; así mismo, Miranda-Barrios et al. (2022), reportaron el efecto de dos enraizantes naturales y uno sintético en la propagación de zarzamora, siendo uno de estos el extracto de lenteja, el cual fue uno de los tratamientos sobresalientes numéricamente en esta investigación; también Guamán et al. (2019), utilizó el agua de lenteja en café robusta obteniendo valores promedios positivos.

En la comparación múltiple, Chilacachapa mostró medias altas ($p \leq 0.05$) con respecto a Tianquizolco (**Tabla 5**).

Longitud de la raíz

Al evaluar la longitud de la raíz no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos en ambos sitios, sin embargo, numéricamente Chilacachapa obtuvo el valor máximo en el T5 (17.82 cm) que incluyó sábila con fertilización tradicional y el valor mínimo en el T9 (14.79 cm) con lenteja con fertilización baja; para Tianquizolco el valor máximo lo obtuvo el T3 (16.26 cm) y el valor mínimo el T2 (12.81 cm) (**Tabla 5**), García-Cid et al. (2024) encontraron que al utilizar como enraizante natural la sábila al 15 %, el cultivo de tomate incrementó la longitud de raíz 210 % en comparación al control, sobre el uso de las micorrizas. En cambio, Huamán y

Perales (2021), realizaron un estudio sobre el efecto de micorrizas y actinomicetos en *Zea mays* L. cultivado en invernadero, la longitud de la raíz de las plantas establecidas no fue estadísticamente diferente entre los sitios de estudio.

En la comparación múltiple para esta variable en la comunidad de Chilacachapa mostró medias altas ($p \leq 0.05$) (**Tabla 5**).

Número de raíces

Al evaluar el número de raíces no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ambas comunidades, a pesar de ello en Chilacachapa presentó el valor promedio máximo con el T4 (50.93 raíces), mientras que el valor mínimo lo obtuvo el T3 (39.93 raíces); para Tianquizolco el valor máximo lo obtuvo el T3 (34.73 raíces) y el valor mínimo el T4 con 11.33 raíces.

CONCLUSIONES

Como resultado del empleo de estimulantes radiculares sobre las características morfoagronómicas del maíz nativo Pepitilla cultivado en el estado de Guerrero, estadísticamente se infiere que los tratamientos no intervinieron en diferencias en la expresión de las variables altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo, longitud de raíz y número de raíces. sin embargo, en las variables días a floración masculina y femenina, peso de raíz fresca y seca, los valores fueron sobresalientes al utilizar el producto comercial Collision® (57.00 días, 61.33 días, 56.27 g y 24.87 g, respectivamente) y el extracto vegetal de lenteja (64.00 días, 72.00 días, 56.27 g y 24.87 g, respectivamente), ambos con fertilización tradicional, por tanto; pueden ser utilizados como una alternativa sustentable en este cultivo.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la SECIHTI por la beca para maestrantes otorgada (843811). Al INIFAP por el apoyo financiero a través del proyecto titulado Conservación *in situ* y mejoramiento participativo del maíz nativo en México. A los productores de Chilacachapa y Tianquizolco para el desarrollo de la presente investigación.

REFERENCIAS

- Argueta, V. A. (2016). Los saberes y las prácticas tradicionales: Conceptos y propuestas para la construcción de un enorme campo transdisciplinario. En: *Ciencias, diálogo de saberes y transdisciplinariedad: Aportes teórico metodológicos para la sustentabilidad alimentaria y del desarrollo*. F. Delgado & S. Rist (Eds.), la Paz, Bolivia, (pp. 169-188).
- Canizalez-Silva, M., Blanco-Macías, F., España-Luna, M. P., Rosa-Rodríguez, R., Lozano-Gutiérrez, J. & Lara-Herrera, A. (2024). Microorganismos en la biofertilización del cultivo de maíz como complemento a la fertilización química. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1), e3903. <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3903>
- Colina N. E. N., Paredes A. E., Gutiérrez M. X. & Vera S. M. (2020). Efecto de fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.) sobre poblaciones de hongos micorrícicos, en Babahoyo. *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 135–155.
- CONABIO (2020). Pepitilla. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-DentadosT/Pepitilla>
- Dávila, J. G. J., González, S. I. R., Báez, O. L., Núñez, S. A. D. R. J., Gaona, Á. A. & Zaragoza, S. E. (2021). Osmocondicionamiento de semillas de *Zea mays* con extractos vegetales para aumentar el vigor de establecimiento. *Ciencia y Agricultura*, 18(1), 21-35. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n1.2021.12019>
- Gramajo, S. E., Cardona, J., Cleraves, C., Nature Conservancy (EE.UU.) y Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. (2015). *Conocimientos tradicionales para la adaptación al cambio climático en el Altiplano Occidental de Guatemala*. The Nature Conservancy. Estados Unidos.
- Esquivel-Esquivel, A. G., Vizcarra-Bordi, I., Moctezuma-Pérez, S. & Massieu T. Y. C. (2023). Valorización campesina de maíces pigmentados frente a la demanda de mercados especializados en Ocoyoacac, México. *Encrucijadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales*, 23(1), a2306.
- Garay-Arroyo, A. de la Paz S. M., García-Ponce, B., Álvarez-Buylla, E. R. & Gutiérrez, C. (2014). La homeostasis de las auxinas y su importancia en el desarrollo de *Arabidopsis Thaliana*. *REB. Revista de Educación Bioquímica*, 33(1), 13-22.
- Garbanzo L. G., Vega V. E. V., Rodríguez C. J., Urbina B. C., Lázaro R. W., Alvarado J. K., Barrientos B. R., Duarte O. K., Mora P. J., Trujillo O. V. & Rojas V. J. (2021). Evaluación de tamaño de cladodios y bioestimulantes de enraizamiento para la propagación de pitahaya. *Agronomía Costarricense*, 45(2). <https://doi.org/10.15517/rac.v45i2.47765>
- García-Cid, F. E., Tapia-Zayago, F. A., Pérez-Ríos, S. R., Madariaga-Navarrete, A., Cenobio-Galindo, A. de J. & Hernández S. I. (2024). Enraizantes a base de lenteja y sábila una alternativa ecológica en la producción de tomate. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 10(20), 10-15. <https://doi.org/10.29057/icap.v10i20.12371>
- García-Mendoza, P. J., Marín-Rodríguez C. A., Prieto-Rosales G. P. y Pérez-Almeida I. B. (2021). Caracterización morfológica de seis variedades de maíz amiláceo (*Zea mays* L.), evaluadas en la localidad Mantacra, Pampas Huancavelica, Perú. *Revista Peruana de Innovación Agraria*, 1(1), 23-37.

- Górniak, I., Bartoszewski, R. & Króliczewski, J. (2019) Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids. *Phytochemistry Reviews*, 18, 241-272. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9591-z>
- Goodman M. M. & Bird R. M. (1977). The races of maize IV: tentative grouping of 219 latin american races. *Economic Botany*, 31(3), 204–221. <https://doi.org/10.1007/BF02866591>
- Guamán R., Leython, S. & Martínez T. (2019). Enraizantes naturales en *Coffea canephora* var. robusta (L. Linden) A. Chev. *Investigatio*, 12, 93–102.
- Guzmán-Saavedra, J. L. & Pinedo-Ramírez, V. F. (2024). Influencia de cadmio y la interacción con micorrizas sobre la bioacumulación y morfología en *Zea mays* L. cultivado en Tarapoto. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3(2), e734. <https://doi.org/10.51252/recae.v3i2.734>
- Hernández-Aguilar, J. A., Bautista-García, H., Merencias-Aparicio, V., Vásquez-Ortiz, F. & Gómez-Arango, L. F. (2022). Uso de mejoradores biológicos en cultivos de razas nativas de maíz en la Mixteca oaxaqueña. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 9(1), 79–90.
- Hernández-Galeno, C. A., Gómez-Montiel N. O., Vázquez-Carrillo M. G., Aragón-Cuevas F., Espinosa-Calderón A. & Palemón-Alberto F. (2023). Maíces nativos mejorados para zonas de bajo y mediano potencial productivo de México. *Agro-Divulgación*, 3(5). <https://doi.org/10.54767/ad.v3i5.194>
- Huamán R. A. P. & Perales A. A. (2021). Efecto de micorrizas y actinomicetos en el *Zea mays* L. Cultivado en invernadero. *Revista de Investigación Científica Siglo XXI*, 1(2), 09–23. <https://doi.org/10.54943/rscxxi.v1i1.155>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). *Anuario estadístico y geográfico de Guerrero*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/a_reasgeograficas/resumen/resumen_12.pdf
- Inquilla M. J., Apaza T. J., Inquilla. F. & Salas A. D. (2024). Percepción de riesgo de salud humana y ambiental por el uso de agroquímicos en la región Puno, Perú. *Revista Cubana de Salud Pública*, 50, e08.
- Juárez-Santillán, L. F., Bonilla-Cruz, S., Reyes-Gómez, J. P., Martínez-Reséndiz, G., Extocapan-Molina, J. & Armenta-Barrios, J. A. (2021). Evaluation of phytohormones and hydrogen peroxide in the corn crop (*Zea mays* L.). *Renewable Energy, Biomass & Sustainability*, 3(2), 109–115. <https://doi.org/10.56845/rebs.v3i2.60>
- Ma, Y., Freitas H. & Días M. C. (2022). Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1024243. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>
- 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.2019.11.1934>
- Miranda-Barrios, E. A., Cervantes-Vilca, L. & Meza-Huamani, O. (2022). Efecto de dos enraizantes naturales y uno sintético en la propagación de zarzamora (*Rubus robustus* C. Presl). *Aporte Santiaguino*, 15(1), 72–86. <https://doi.org/10.32911/as.2022.v15.n1.894>
- Palacios Z. J. J. & García G. V. S. (2021). Influence of dosages of biofertilizers composed of mycorrhizae and diazotrophs on the corn productivity. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* 1(2), 953–961. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i2.9513>
- Peñuelas R. O., Argente M. L., Angulo R. A., Cervantes G. R. G., Leyva-Madrigal, K. Y., Maldonado-Mendoza I. E. y Negrete-Yankelevich S. (2020). La micorriza arbuscular: herramienta biotecnológica para la seguridad alimentaria de comunidades dependientes de la milpa. En: *Seguridad hídrica*

- y alimentaria, problemas globales, acciones locales.* Ramírez García, A. G. Universidad Autónoma Chapingo. Pp 97-109.
- Pierre F., Arévalo C. F. J., Rodríguez I. Y., Colbert R. W. & Rosas J. C. (2023). Respuesta de variedades criollas y mejoradas de maíz a la fertilización e inoculación con hongos micorrizas-arbusculares en un suelo de baja fertilidad. *Ceiba*, 56(2), 70–89. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v56i2.17118>
- Sáez-Cigarruista, A. E., Morales-Guevara, D., Gordón-Mendoza, R., Jaén-Villarreal, J. E., Ramos-Manzané, F. P., & Franco-Barrera, J. (2024). Efecto de un oligosacárido pécticos en el desarrollo radical del maíz. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 33(2).
- Sanchez G. J. J., Goodman, M. M. & Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54(1), 43–59. <https://doi.org/10.1007/BF02866599>
- SAS Institute Inc. (2019). *SAS user's guide: Statistics*. Release 6.04. Ed. SAS Institute incorporation, Cary, NC. USA.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *Boletín bimestral: Balanza Disponibilidad- Consumo maíz blanco*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/698909/Balanza_disponibilidad_consumo_enero_2022_Vf.pdf
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2024). *Maíces nativos, patrimonio biológico, agrícola, cultural y económico*. En: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/un-apoyo-para-agricultores-de-maices-nativos>
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Valdivia-Bernal, R., Gómez-Montiel, N., Sierra-Macías, M. & Zamudio-González, B. (2010). Vigor de las semillas y productividad de variedades de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 21(1), 31-38.
- Vite T. L. (2014). Principio de Arquímedes. *Vida Científica Boletín Científico de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Preparatoria, No. 4, 2(3)*.
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., & Xolocotzi, E. H. (1951). *Razas de maíz en México, su origen, características y distribución* (Vol. 5, p. 237). México: Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- Zulfiqar, F., Casadesús, A., Brockman, H., & Munné-Bosch, S. (2020). An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Science*, 295, 110194. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194>

DIVERSIDAD DE *Trichoderma* PRESENTE EN SUELOS DE *Agave angustifolia* HAW EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA

Trichoderma DIVERSITY PRESENT IN *Agave angustifolia* HAW SOILS IN CENTRAL VALLEYS OF OAXACA

¹Héctor Osvaldo Ahedo-Quero , ¹Teodulfo Aquino-Bolaños , ²Edgar García-Sánchez , ¹Yolanda Donají Ortiz-Hernández 

¹Instituto Politécnico Nacional. Centro de Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Rural Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR- Oaxaca). Santa Cruz Xoxocotlán-Oaxaca. México. ²CONAHCYT-CIIDIR. [§]Autor de correspondencia: (hahedoq1600@alumno.ipn.mx).

RESUMEN

Las plantaciones de *Agave angustifolia* Haw en los Valles Centrales de Oaxaca prosperan en ambientes áridos, mostrando una notable riqueza biológica en especies vegetales y animales. Sin embargo, la diversidad de hongos microscópicos, especialmente del género *Trichoderma*, ha sido poco estudiada en este agroecosistema clave para la producción de mezcal. El presente trabajo tuvo como objetivo identificar la diversidad de *Trichoderma* en la rizosfera de *A. angustifolia* y evaluar su potencial para mejorar el cultivo. Se recolectaron muestras de suelo en 22 zonas productoras de agave y se aislaron 35 cepas, de las cuales 11 fueron identificadas mediante análisis morfológico y molecular (secuenciación de la región ITS del ADN ribosomal). Siete aislamientos se identificaron solo a nivel género y cuatro a nivel de especie: *T. afarasin* (1), *T. atroviride* (1) y *T. asperellum* (2). La cobertura de muestreo fue de 0.82, indicando que se detectó aproximadamente el 82.6 % de las especies estimadas, y los índices de diversidad muestran una comunidad con alta equidad relativa. Se estima que podría haber hasta seis especies presentes. Este es el primer reporte de *Trichoderma* asociado específicamente al agroecosistema de *A. angustifolia* en la región. Dado el potencial de *T. atroviride* y *T. asperellum* como agentes de control biológico y su contribución a la biofertilización, estos hallazgos ofrecen una oportunidad relevante para la sostenibilidad y productividad en el cultivo de agave para mezcal.

Palabras clave: biodiversidad, control biológico, fungí, micromicetos, rizosfera de agave.

ABSTRACT

Agave angustifolia Haw plantations in the Central Valleys of Oaxaca thrive under arid and challenging condition, yet host a remarkable biological richness in plant and animal species. However, the diversity of microscopic fungi, especially of the *Trichoderma* genus, has been little studied in this key agroecosystem for mezcal production. This study aimed to identify the diversity of *Trichoderma* in the rhizosphere of *A. angustifolia* and assess its potential contributions to crop improvement. Soil samples were collected in 22 agave-producing areas and 35 strains were isolated, of which 11 were identified by morphological and molecular analysis (sequencing of the ITS region of ribosomal DNA). Seven isolates were identified only at the genus level and four at the species level: *T. afarasin* (1), *T. atroviride* (1) and *T. asperellum* (2). The sampling coverage was 0.82, indicating that approximately 82.6 % of the estimated species were detected, and the diversity indices show a community with high relative equity. It is estimated that there could be up to six species present. This is the first report of *Trichoderma* specifically associated with the agroecosystem of *A. angustifolia* in the region. Given the potential of *T. atroviride* and *T. asperellum* as biological control agents and their contribution to biofertilization, these findings

offer a relevant opportunity for sustainability and productivity of agave cultivation for mezcalt production.

Index words: biodiversity, biological control, micromycetes, fungi, agave rizhosphere.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Oaxaca, el cultivo de agave mezcalt representa una fuente de empleo para más de 11 500 productores quienes mantienen en producción 15 000 ha y generan anualmente 63,500 t de agave (COMERCAM, 2023). Este cultivo, base de la bebida alcohólica “mezcalt” con denominación de origen, posee gran relevancia económica, social y cultural a las comunidades rurales (Hernández-López, 2018; Espinosa-Meza et al., 2017;).

En los últimos años, la superficie destinada a la producción de mezcalt aumento de 97,759 ha en 2018 a 193,501 ha en 2024 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2022), lo que representa cerca del 60 % de los suelos ocupados para la producción de agave mezcalt en el estado. Este crecimiento ha impulsado la transición del sistema agrícola tradicional hacia uno de carácter industrial resultando en cambios en el uso del suelo y prácticas de labranza intensiva que afectan la biodiversidad incluyendo la microbiota edáfica (Rodríguez-Hernández et al., 2024; Bautista-Cruz et al., 2011).

En este contexto, el uso de especies del género *Trichoderma*, surge como una alternativa para mitigar los impactos negativos sobre el suelo y los cultivos. Estos hongos cosmopolitas, presentes en el suelo y rizosfera de múltiples especies vegetales, aportan beneficios como el control biológico de plagas y enfermedades, la mejora de las condiciones edáficas, el aumento de la disponibilidad de nutrientes y la inducción de tolerancia al estrés en plantas (Contreras-Negrete et al., 2025; Scudeletti et al., 2021; Coninck et al., 2020).

Aunque la diversidad *Trichoderma* ha sido ampliamente estudiada, en México persisten vacíos de información sobre la identidad de especies, ecología y potencial biotecnológico. Actualmente la diversidad de *Trichoderma* a nivel mundial es de 375 especies válidas (Cai & Druzhinina, 2021), cuya identificación molecular se realiza mediante el análisis de las regiones *ITS*, *tef1*, y *rpb2* (Dou et al., 2020), utilizando bases de datos especializadas como Trichokey (<http://www.trichoderma.info/>). La identificación precisa es esencial para anticipar las aplicaciones agrícolas y biotecnológicas. La diversidad del género en México asciende a 57 especies, siendo la especie *T. harzianum* la más frecuente y de mayor valor comercial por sus múltiples usos (Ahedo-Quero et al., 2024; Kumar et al., 2014; Torres-De La Cruz et al., 2015), entre los que destacan el control de enfermedades en plantas (Degani & Dor, 2021; Sánchez-Montesinos et al., 2021), la promoción del crecimiento vegetal (Contreras-Cornejo et al., 2024), la reducción de poblaciones de insectos plaga (Poveda, 2021), la mejora de la absorción de nutrientes (Bibi et al., 2024) e inducir el aumento de la diversidad de especies microscópicas benéficas en el suelo (Asghar et al., 2024).

En lo que respecta a su ecología, se han documentado aislamientos de *T. harzianum*, *T. reesei*, *T. viridescens* y *T. longibrachiatum* en suelos cultivados con *A. tequilana* (Sánchez & Rebolledo, 2010), así como nueve y trece especies en cultivos de cacao (*Theobroma cacao*) en Tabasco (Sánchez-Hernández et al., 2018; Torres-De La Cruz et al., 2015) y la presencia de *T. harzianum* en plantaciones de plátano (*Musa x paradisiaca*) en Oaxaca (Sánchez-Espinosa et al., 2021). Estos trabajos permiten conocer la diversidad, distribución y riqueza de *Trichoderma* los cuales son parámetros necesarios para entender cómo está estructurada la rizosfera de un agroecosistema y las funciones que genera. Además, su caracterización permite una futura comparación de las comunidades de hongos presentes en suelos erosionados y no erosionados

de cultivos agrícolas en específico del cultivo *A. angustifolia* Haw.

Por ello, caracterizar las especies presentes en este agroecosistema constituye un paso fundamental para identificar aquellas con potencial en el control biológico de plagas y enfermedades, biofertilización y bioestimulación. En este marco, el objetivo del presente trabajo fue aportar conocimiento sobre la diversidad del género *Trichoderma* asociadas a la rizosfera de *A. angustifolia* en los Valles Centrales de Oaxaca y analizar su potencial para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se muestrearon 22 sitios que se ubicaron en los distritos de Tlacolula, Centro, Ocotlán y Ejutla, en parcelas cultivadas con *A. angustifolia* con más de 2 años desde la siembra. En cada sitio se recolectaron cinco submuestras de suelo de la rizosfera a una profundidad de 0-30 cm y a una distancia no mayor de 30 cm de la planta. Las submuestras se integraron en una muestra compuesta por sitio, siguiendo la metodología de Torres-De La Cruz et al. (2015). Las coordenadas, altitud y superficie de los sitios se muestran en la **Tabla I**. El proceso de muestreo se realizó de enero a octubre del año 2023.

Tabla I. Sitios de muestreo para la obtención de *Trichoderma* en cultivos de *Agave angustifolia* Haw en los Valles Centrales de Oaxaca México.

Nº de sitio	Distrito	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Superficie (ha)
1	Centro	Santa María del Tule	17.04	-96.62	1569	1.1
2	Centro	Santo Domingo Tomaltepec	17.05	-96.62	1583	1.8
3	Centro	San Sebastián Tutla	17.32	-96.67	1541	0.8
4	Tlacolula	San Francisco Lachigolo	17.01	-96.60	1576	0.8
5	Tlacolula	Teotitlán del Valle (Santiago Ixtaltepec)	17.02	-96.56	1627	1
6	Tlacolula	San Jerónimo Tlacoahuaya	17.01	-96.57	1605	1.1
7	Centro	Santa Cruz Xoxocotlán (CIIDIR)	17.02	-96.72	1527	0.15
8	Centro	Santa Cruz Xoxocotlán (Rancho de Cristo)	17.03	-96.72	1530	8.5
9	Tlacolula	Dainzú	17.00	-96.55	1625	0.6
10	Centro	San Raymundo Jalpan	16.98	-96.74	1526	0.6
11	Tlacolula	Teotitlán del Valle	17.00	-96.52	1661	0.6
12	Tlacolula	San Juan Guelavía	16.98	-96.53	1608	0.6
13	Tlacolula	Tlacolula de Matamoros	16.93	-96.48	1624	3
14	Tlacolula	Tlacolula de Matamoros	16.94	-96.47	1623	1.3
15	Tlacolula	San Juan Teitipac	16.91	-96.62	1651	1.4
16	Ocotlán	Santa Catarina Minas	16.78	-96.62	1566	1.1
17	Ocotlán	Ocotlán de Morelos	16.75	-96.68	1535	0.7
18	Tlacolula	Santiago Matatlán	16.87	-96.38	1715	1.8
19	Ocotlán	Ocotlán de Morelos	16.74	-96.66	1534	5.8
20	Tlacolula	Santiago Matatlán (9 puntas)	16.83	-96.35	1913	1.2
21	Ejutla	Ejutla de Crespo	16.62	-96.74	1498	1.1
22	Centro	Santa Catalina de Sienna	17.04	-96.61	1588	0.5

La latitud y longitud están expresadas en formato decimal, se utilizó Google Earth para su determinación. La altitud se encuentra en metros sobre el nivel del mar. La superficie en hectáreas.

Aislamiento de *Trichoderma*

El aislamiento se llevó a cabo en el laboratorio de control biológico del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional). Se utilizó el método de dilución en placa. Se pesaron 10 g de suelo de cada muestra compuesta y se diluyeron en 90 mL de agua destilada estéril (dilución 1:10). Posteriormente, se prepararon cuatro diluciones (1:10, 1:100, 1:1000, 1:10 000). De cada dilución, se tomó una alícuota de 0.5 mL y se distribuyó sobre placas de Petri con medio papa dextrosa agar (*PDA*) (BD Bioxon™) (Siddiquee, 2017). Se prepararon cinco repeticiones por dilución. Las cajas Petri sembradas se incubaron a 25° C en condiciones de luminosidad de 12 h luz/oscuridad por siete días. El crecimiento de *Trichoderma* fue reconocido por la formación de parches o cojines verdes de conidios. Durante los primeros cinco días de crecimiento, las colonias visibles se transfirieron a cajas de Petri con medio *PDA* y se incubaron siguiendo la metodología de (Siddiquee, 2017; Vargas-Gil et al., 2009). Para la identificación morfológica y molecular, se obtuvieron cultivos monospóricos y se conservaron a 5° C hasta su identificación. Los aislamientos obtenidos se conservan en el laboratorio de control biológico.

Identificación morfológica

Los cultivos monospóricos fueron sembrados en cajas Petri con *PDA* e incubadas durante siete días para determinar las características de la colonia: tamaño, morfología y conidiación. Además, se inoculó una suspensión de esporas sobre discos de *PDA* de 0.5 cm de diámetro, bajo un cubreobjeto, para obtener estructuras microscópicas de cada aislamiento. Los discos inoculados se incubaron a 25° C en una cámara húmeda durante 3-5 días. Se identificaron las estructuras de conidióforos, fialides, conidios y clamidosporas bajo microscopio marca AmScope de campo claro y foto documentadas. Los cultivos se almacenaron a 4 °C hasta la identificación morfológica y extracción de ADN. Para la identificación

morfológica se utilizaron las guías presentes en Kubicek & Harman (2002) y Siddiquee (2017).

Identificación molecular

De los 35 aislamientos, se seleccionaron 11 aislamientos para su envío e identificación a los laboratorios de Servicios genómicos UGA-LANGEBIO. La identificación de las especies se realizó mediante la secuenciación de las regiones ITS 1 e ITS 4 (White et al., 1990). El ADN genómico se extrajo del micelio homogeneizado en 400 L de buffer de extracción PBS, en un tubo Eppendorf de 1.5 mL. Luego, se siguió el protocolo del Kit AxyPrep Multisource Genomic ADN Minipep (Axigen®) para obtener el ADN. La calidad de ADN se evaluó en gel de agarosa al 1% (Agarosa Ultra Pure, Invitrogen®) y se cuantificó con un espectrofotómetro Perkin Elmer® (Lambda BIO 10®).

Las regiones ITS1, ITS2 y 5.8 del ARN ribosomal se amplificaron mediante PCR, utilizando los iniciadores universales ITS4 (TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC) e ITS5 (GGA AGT AAA AGT CGT AAC AAG G) (White et al., 1990). La amplificación se llevó a cabo siguiendo el protocolo de Ahrens & Seemüller (1992), con algunas modificaciones en las reacciones de PCR cuyo volumen final fue de 25 µL: agua ultrapura estéril (16.05 µL), solución amortiguadora Buffer 10X (2.5 µL), MgCl₂ a 50 mM (1.25 µL), dNTP mezcla a 10 mM (0.5 µL), iniciadores ITS4 e ITS5 a 10 pmol (1.25 µL de cada uno), Taq DNA polimerasa (Invitrogen®) a 1U (0.2 µL) y ADN blanco a 50 ng (2 µL). El procedimiento para la PCR consistió en los siguientes ciclos: 1 de 95 °C por 4 min, 35 de 95 °C por 1 min, 35 de 58 °C por 1 min, 35 de 72 °C por 2 min y un ciclo de 72 °C durante 10 min. Los productos de la PCR se sometieron a electroforesis en gel de agarosa para visualización y medida de la especificidad. La cuantificación del ADN se realizó por espectrofotometría (NanoDrop 2000, Thermo Scientific®). Los productos se enviaron para su secuenciación a Macrogene®, y las secuencias obtenidas se compararon con la base de datos del banco de

genes del National Center for Biotechnology Information (*Trichoderma* genbank - Gene - NCBI, 2024) (www.ncbi.nlm.nih.gov/).

Para la comparación de los valores generados con la secuencia de estudio se consideró una similitud igual o mayor al 97 % (Stackebrandt & Goebel, 1994). Las secuencias de nucleótidos fueron alineadas usando el programa Crustal_x 2.1 (Thompson et al., 1997). La inferencia filogenética se realizó por el método neighbor-joining (NJ) (Saitou & Nei, 1987) usando el programa MEGA6 (Tamura et al., 2013). El soporte de las ramas en el árbol de NJ se calculó mediante el método de Bootstrap, usando 1,000 réplicas (Felsenstein, 1985). Las distancias evolutivas se estimaron con el método P distance (Nei & Kumar, 2000), excluyendo gaps y datos faltantes. Los valores de bootstrap ≥ 70 % se consideraron significativos (Felsenstein, 1985). Como grupo externo se utilizó la sinonimia aceptada basada en una secuencia de *Aspergillus flavus* (número de acceso GenBank: AFI38287); también se utilizaron secuencias de GenBank de nueve especies de *Trichoderma*: *Trichoderma harzianum* (EU280079), *T. pleuroticola* (JQ040377), *T. virens* (JQ040400), *T. spirale* (EU280092), *T. brevicompactum* (JQ040334), *T. reesei* (JQ040380), *T. longibrachiatum* (JN108926), *T. koningiopsis* (JQ040370) y *T. asperellum* (JQ040317). La elección de los grupos externos se basó en los resultados de la comparación de las secuencias de estudio con la base de datos del banco de genes del National Center for Biotechnology Information (*Trichoderma* genbank - Gene - NCBI, 2024).

Análisis de datos

Distribución de aislamientos

Para evaluar la distribución de *Trichoderma* en los sitios de muestreo, se organizaron los aislamientos según su procedencia distrital. Se aplicó la prueba de Ji-Cuadrada (χ^2 , $\alpha = 0.05$) para realizar la prueba de frecuencias esperadas iguales de aislamientos entre los distritos de los Valles Centrales de Oaxaca.

Además, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía sobre el número promedio de aislamientos por sitio, a fin de comparar la diversidad de *Trichoderma* entre distritos. Cuando se identificaron diferencias significativas, se complementó con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para realizar comparaciones múltiples entre grupos. Los análisis se llevaron a cabo utilizando el programa R-Studio®.

Estimación de riqueza y cobertura de especies

Para evaluar el esfuerzo de muestreo y estimar la riqueza total de especies de *Trichoderma*, se construyó una matriz de presencia/ausencia con base en los aislamientos obtenidos en cada distrito. Se consideraron los taxones identificados a nivel de especie (*T. afarasin*, *T. asperellum*, *T. atroviride* y *Trichoderma* spp.).

Se calcularon parámetros de riqueza para los datos de incidencia mediante el programa en línea iNEXT (Anne Chao's Website - iNEXT.4steps) (Chao & Hu, 2023) se utilizó la metodología presente en el documento (Chao et al., 2020). El programa calculó la riqueza observada (S_{obs}): número de especies registradas en el total de sitios muestreados. Q1: número de especies presentes en un solo sitio (singletons). Q2: número de especies presentes en exactamente dos sitios (Dobletons). También se determinó la cobertura de muestreo y se estimó la presencia de especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de aislamientos

Los 22 sitios de muestreo abarcaron una superficie de 35.55 ha, con un promedio de 1.61 ha por productor. De estos, 11 sitios presentaron aislamientos con características morfológicas de *Trichoderma* lo que representa el 50 % del total muestreado. Los sitios que presentaron aislamientos con características de *Trichoderma* se muestran en la **tabla 2**.

Tabla 2. Sitios con aislamientos de hongos con características de *Trichoderma* obtenidos de la rizosfera de *Agave angustifolia* Haw en los Valles Centrales de Oaxaca, México.

Sitio	Distrito	Sitio de muestreo (Localidad)	Nº de aislamientos
1	Centro	Santa Maria del Tule	5
2	Centro	Santo Domingo Tomaltepec	4
6	Tlacolula	San Jerónimo Tlacoahuaya	1
7	Centro	Santa Cruz Xoxocotlán (CIIDIR)	5
8	Centro	Santa Cruz Xoxocotlán (Rancho de cristo)	5
9	Tlacolula	Dainzú	1
10	Centro	San Raymundo Jalpan	2
16	Ocotlán	Santa Catarina Minas	5
17	Ocotlán	Ocotlán de Morelos	1
19	Ocotlán	Ocotlán de Morelos	5
22	Centro	Santa Catalina de Sienna	1
II sitios			35

Tabla 3. Distribución de aislamientos de *Trichoderma* por distrito.

Distritos	Nº de Sitios	Nº de aislamientos por distrito	Promedio de aislamientos por distrito	Proporción (%)
Centro	7	22	3.14	62.85
Ocotlán	3	11	3.66	31.42
Tlacolula	11	2	0.18	5.7
Ejutla	1	0	0	0

El distrito Centro presentó el mayor número de aislamientos (22), seguido de Ocotlán (11) y Tlacolula (2), mientras que en Ejutla no se registraron aislamientos (Tabla 3).

Análisis estadístico de la distribución

La prueba de Ji-Cuadrada indicó diferencias significativas en la distribución de aislamientos entre distritos ($\chi^2 = 17.507$, $gl = 3$, $p = 0.0006$), lo que sugiere que la presencia de *Trichoderma* no es homogénea entre las zonas muestreadas. El análisis de varianza (ANOVA) sobre el promedio de aislamientos por sitio también mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.0000$), confirmando una mayor concentración entre los distritos Centro y Ocotlán respecto a Tlacolula y Ejutla. La prueba de Tukey reveló que los

promedios de estos dos primeros distritos fueron significativamente mayores ($p \leq 0.05$). Estas diferencias podrían deberse a que la zona de Centro y Ocotlán son tierras de cultivo más jóvenes que las que se encuentran en Tlacolula y Ejutla. Y en el caso de Ejutla el que solo se haya muestreado un sitio.

Estimación de la riqueza y cobertura de especies

A partir de una matriz de datos (presencia/ausencia) de *Trichoderma* en los 22 sitios muestreados, se registró una riqueza observada (especies observadas) de cuatro taxones, correspondientes a *T. afarasin*, *T. asperellum*, *T. atroviride* y un grupo identificado como *Trichoderma* spp.

La estimación de cobertura de muestreo señala que se capturó el 82.6 % de las especies presentes en los Valles Centrales de Oaxaca, con cuatro especies observadas y 11 aislamientos. Si se duplicara el tamaño de la muestra, la cobertura aumentaría a el 93.7 %, sugiriendo que aún podrán registrarse especies adicionales. La presencia de dos especies con un solo aislamiento (singletons) y una con dos aislamientos (Doubletons) ($QI = 2$, $Q2 = 1$) refleja que una fracción de la diversidad está compuesta por especies poco frecuentes o con distribución restringida, posiblemente asociada a microhábitats específicos.

Estos valores sugieren que, aunque el esfuerzo de muestreo fue suficiente para caracterizar el núcleo de la comunidad de *Trichoderma*, persisten vacíos en la detección de especies raras. Esto es consistente con estudios previos que reportan que la diversidad microbiana en suelos agrícolas está fuertemente influenciada por la heterogeneidad espacial y la disponibilidad de recursos (Zhang y Zhuang, 2018). La identificación de estas especies raras podría aportar cepas con potencial adaptativo a condiciones ambientales extremas, relevantes

para estrategias de biocontrol en agroecosistemas semiáridos.

Las estimaciones asintóticas obtenidas con iNEXT proyectan que, con un muestreo completo, la riqueza total ($q = 0$) podría alcanzar aproximadamente 5.91 especies (IC 95 %: 1.65–10.17), mientras que la diversidad de Shannon ($q = 1$) se incrementaría a 3.73 (IC 95 %: 1.16–6.30) y la diversidad de Simpson ($q = 2$) a 2.62 (IC 95 %: 0.43–4.82) (Figura I). Esto confirma que el esfuerzo de colecta fue suficiente para caracterizar la estructura general de la comunidad, pero un muestreo adicional podría aumentar principalmente la detección de especies raras y, en menor medida, la equidad general de la comunidad.

Desde una perspectiva aplicada, la búsqueda de estas especies menos comunes (raras) podría ser estratégica, ya que es posible que incluyan cepas con propiedades antifúngicas, antimicrobianas o tolerancia a estrés hídrico, características deseables para programas de control biológico y mejoramiento de suelos en cultivos de agave.

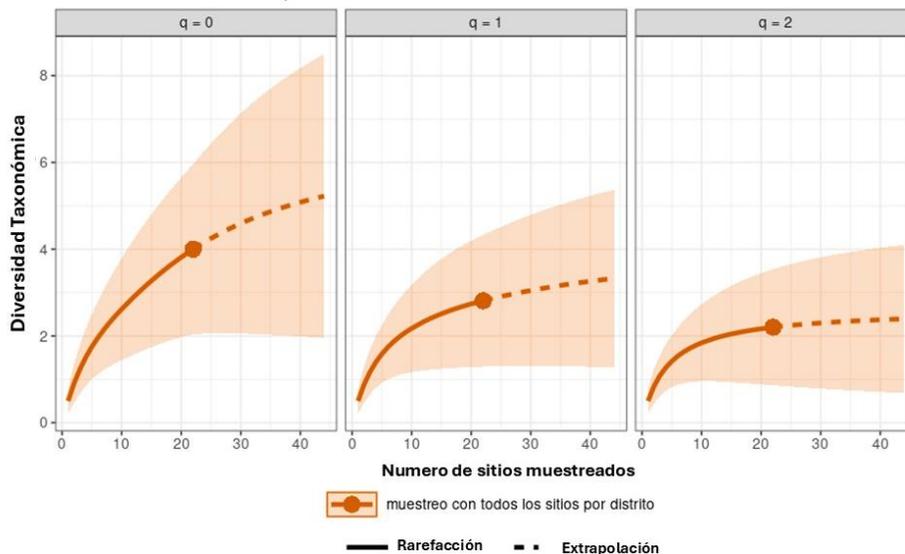


Figura I. Curvas de rarefacción y extrapolación de la diversidad de *Trichoderma* en los distritos de los Valles Centrales de Oaxaca, estimadas con iNEXT.

El promedio de aislamientos por sitio (1.74) fue menor que el reportado por Sánchez & Rebolledo (2010) en *A. tequilana* (2.23), posiblemente debido al diseño de muestreo, tipo de suelo y clima. Sin embargo, el número de especies identificadas fue similar: tres en *A. angustifolia* y cuatro en *A. tequilana*. Es relevante señalar que para *A. tequilana* se muestrearon 60 sitios. Lo que podría indicar que nuestra metodología permitió obtener casi la misma cantidad de especies a pesar de contar con la mitad de los muestreos.

El sistema de producción es un factor determinante en la presencia o ausencia de *Trichoderma*. En este estudio, se observó que en Tlacolula (zona de mayor producción de agave en el estado y caracterizada por un modelo agroindustrial) solo se detectaron dos cepas. En esta región, el monocultivo y el uso frecuente de pesticidas representan un riesgo para la diversidad y la salud del suelo (Bautista & Smit, 2012). De acuerdo con Bautista-Cruz et al. (2007), el carbono de la biomasa microbiana es menor en suelos trabajados con maquinaria agrícola en comparación con aquellos manejados con labranza mínima.

En contraste con los sistemas agrícolas tradicionales, estudios como los de Chimal-Sánchez et al. (2018) y Hernández-Morales et al., (2014) han revelado una notable diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en zonas de agave manejadas como vegetación secundaria, identificando hasta 48 morfoespecies en cultivos de agave mezcalt en Oaxaca. Entre las familias más representativas destacan Glomeraceae, Gigasporaceae y Acaulospora. Estos trabajos concluyen que tales sistemas actúan como reservorios clave de especies fúngicas con potencial agrícola relevante. Así, enfocar la búsqueda de *Trichoderma* en áreas de vegetación secundaria podría ampliar significativamente el conocimiento sobre la diversidad de especies presentes. Sánchez-Espinosa et al. (2021) y Santander & Olave (2014) mencionan que la interacción entre hongos micorrízicos y *Trichoderma* puede ser negativa. Es

posible que los hongos micorrízicos tengan una mejor adaptación a las condiciones bióticas del agroecosistema agave mezcalt. En consecuencia, se requieren estudios que profundicen en la relación *Trichoderma*-micorrizas para comprender sus interacciones, impacto en la diversidad y funcionalidad microbiana en el suelo.

Especies identificadas

Los cultivos en placas de Petri permitieron identificar los hongos como *Trichoderma* por su patrón de crecimiento y la coloración verde oliva (claro y oscura), y verde amarillento. El medio de cultivo presentó tonalidades blanco lechoso, verdes y amarillo. Se observaron diferencias de crecimiento en las colonias entre sitios de muestreo. Las imágenes de crecimiento en cajas de Petri se compararon con el manual práctico de diversidad biológica y molecular de especies de *Trichoderma* en regiones tropicales de Siddiquee (2017) (**Figura 2A** y **2B**).

El uso de imágenes fotográficas de hongos microscópicos, es una herramienta práctica para la identificación de hongos a nivel género, disminuyendo tiempos para su identificación, además el analizar características como olor y color del medio de cultivo o estructuras reproductivas, puede ayudar a reforzar el proceso de identificación (Zieliński et al., 2020; Navi et al., 1999). Sin embargo, la identificación a nivel especie requiere de técnicas moleculares. Contar con un sólido reconocimiento y fotografías que permitan al identificador reconocer el género, permite disminuir el error de sesgo en el aislamiento en laboratorio.

Identificación molecular

La identificación molecular permitió reconocer siete cepas a nivel de género (letras en color azul en la **Figura 3**) y cuatro a nivel especie (letras en color verde en la **Figura 3**). De estas últimas, *T. afarasin*, provino de Santa Catarina de Sienna. *T. atroviride* de Santa Cruz Xoxocotlán (Rancho de Cristo) y *T. asperellum* de Dainzu y San Jerónimo Tlacoahuaya.

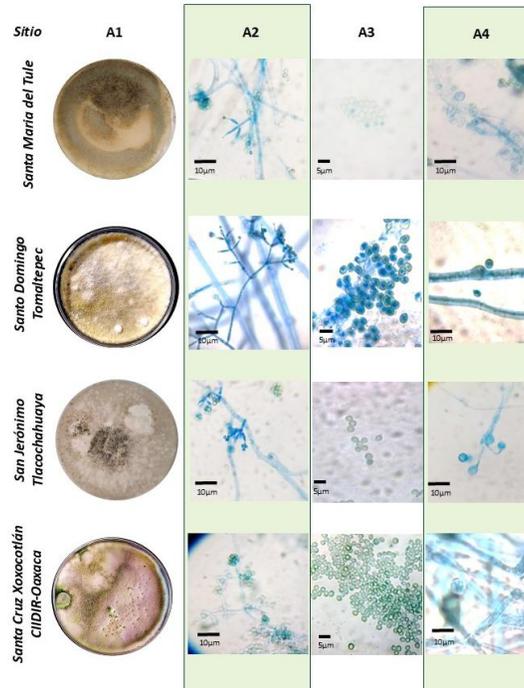


Figura 2A. Crecimiento y morfología de *Trichoderma* presentes en sitios sembrados con *A. angustifolia* en Oaxaca México. A1) Crecimiento en la caja de Petri, A2) conidióforos, A3) conidios, A4) clamidosporas.

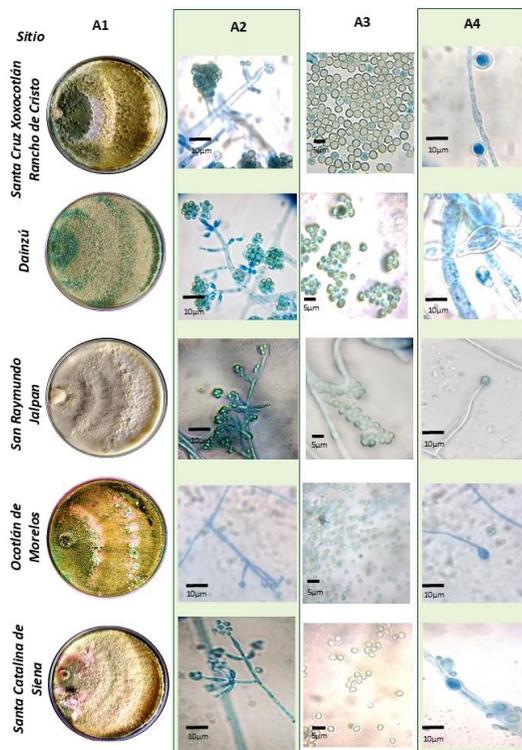


Figura 2B Crecimiento y morfología de *Trichoderma* presentes en sitios sembrados con *Agave angustifolia* en Oaxaca México. A1) Crecimiento en la caja de Petri, A2) conidióforos, A3) conidios, A4) clamidosporas.

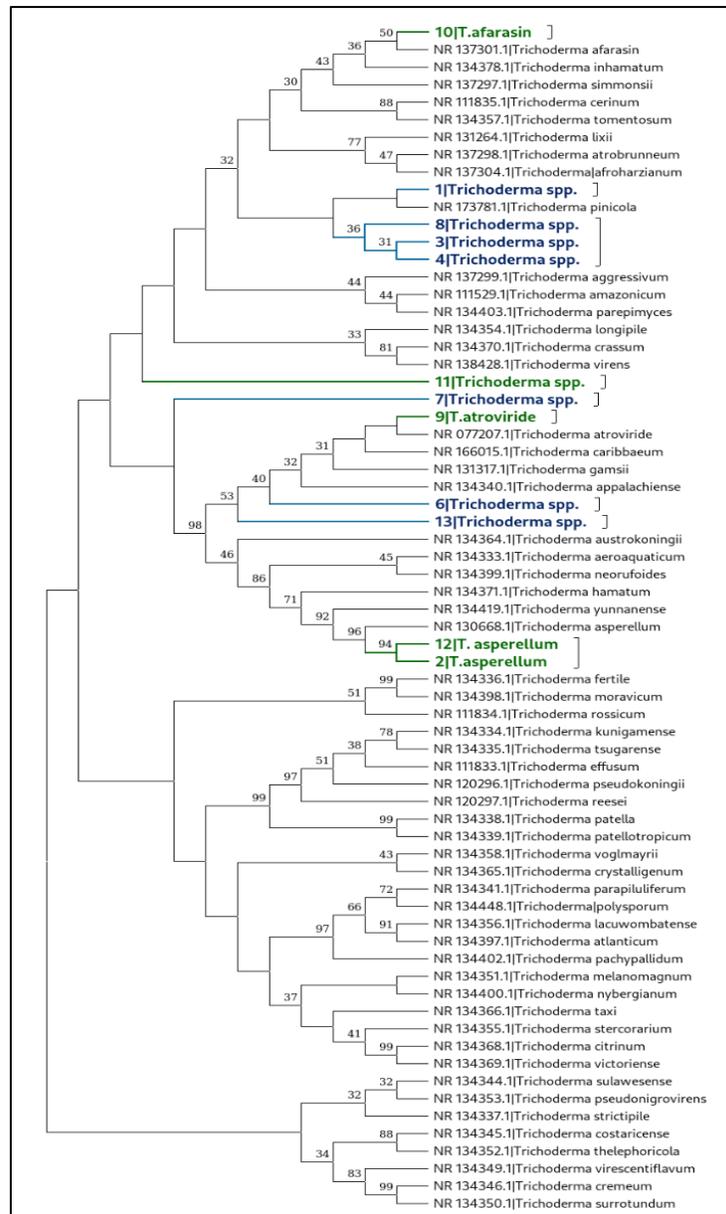


Figura 3. Árbol Neighbor-Joining de las secuencias ITS.

Este hallazgo constituye el primer reporte de estas especies en el agroecosistema *A. angustifolia* Haw en el estado de Oaxaca. En la literatura, *T. afarasin* forma parte del complejo *T. harzianum* de nueve agregados (Ismail et al., 2024). Este complejo es morfológicamente similar pero biológicamente diferente y en la actualidad se continúa expandiendo su identificación molecular (Zhang & Zhuang, 2018). Barrera et al. (2021)

reportan *T. afarasin* en Argentina, sin embargo, no hay reportes de sus aplicaciones prácticas.

Trichoderma atroviride, es ampliamente estudiado por su eficacia como agente de control biológico, biofertilizante y en biorremediación, aunque no hay reportes específicos para agave mezcal. *T. atroviride* se reporta como antagonista a enfermedades como antracnosis (*Colletotrichum acutatum*), podredumbre blanca de la cebolla

(*Sclerotium cepivorum*) y a diversas especies de *Fusarium* (*Fusarium* spp.) (Kim et al., 2023; Coninck et al., 2020; McLean et al., 2012). *Fusarium oxysporum* generan la enfermedad de la "marchites de la agave" por lo que *T. atroviride* puede ser una opción para mejorar la sanidad del cultivo (Quiñones-Aguilar et al., 2023).

Trichoderma asperellum se ha estudiado ampliamente, llegando a la conclusión de que su empleo en la agricultura ofrece el control biológico de plagas y enfermedades, la mejora en la absorción de nutrientes, funciones larvicidas e inducción de resistencia a la sequía en plantas. Su uso combinado con fungicidas también ha sido evaluado. La eficacia de *T. asperellum* ha sido exitosa contra patógenos como *Neofusicoccum*, *Colletotrichum*, *Phytophthora*, *Penicillium* y *Fusarium* (Stracquadiano et al., 2020). Estas últimas son responsables del fenómeno conocido como "damping-off", enfermedad que representa una amenaza para los productores de planta de agave en vivero (Bailón-Ortiz & Amábilis-Sánchez, 2024).

La presencia confirmada de *Trichoderma* abre nuevas líneas de investigación para evaluar su eficacia en el manejo de problemas fitosanitarios de importancia en el agave, como la pudrición de la piña de la agave provocada por *Pectobacterium carotovorum* o plagas como el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*).

CONCLUSIONES

Este estudio representa un avance significativo en el conocimiento del microbiota asociado a *Agave angustifolia* Haw, al documentar la presencia y diversidad del género *Trichoderma* en de *T. afarasin*, *T. atroviride* y *T. asperellum* en la rizosfera en los Valles Centrales de Oaxaca. Los resultados indican que la comunidad de *Trichoderma* en los Valles Centrales de Oaxaca presenta una alta equidad relativa, pero una riqueza moderada con potencial de incremento mediante un mayor esfuerzo de muestreo. La detección de especies raras no solo aportaría al conocimiento de

la biodiversidad local, sino que podría ampliar el repertorio de cepas útiles para el manejo sustentable de cultivos, especialmente en sistemas donde el estrés hídrico y la presión de patógenos son factores limitantes. Las especies identificadas poseen potencial biotecnológico para uso en el control biológico, biofertilización y bioestimulación del cultivo agave.

Estos hallazgos abren la puerta a estrategias de manejo más sostenibles, reduciendo la dependencia de agroquímicos y fortaleciendo la resiliencia del cultivo frente a estrés hídrico, patógenos, sobreexplotación de suelo y al cambio climático. Asimismo, evidencian la necesidad de ampliar el muestreo para estimaciones más precisas y para evaluar la interacción de *Trichoderma* con otros componentes microbianos del agroecosistema. En síntesis, *Trichoderma* no solo forma parte de la biodiversidad oculta de los Valles Centrales, sino que se perfila como un aliado estratégico para el futuro del agave mezcalero en Oaxaca.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYHT por el apoyo económico otorgado por medio de la beca de posgrado número: 451094.

REFERENCIAS

- Ahedo-Quero, H. O., Aquino-Bolaños, T., Ortiz-Hernández, Y. D., & García-Sánchez, E. (2024). *Trichoderma* diversity in México: A systematic review and meta-analysis. *Diversity*, 16(1), 68. <https://doi.org/10.3390/d16010068>
- Ahrens, U., & Seemüller, E. (1992). Detection of DNA of plant pathogenic mycoplasma-like organisms by a polymerase chain reaction that amplifies a sequence of the 16S rRNA gene. *Phytopathology*, 82(8), 828. <https://doi.org/10.1094/Phyto-82-828>
- Asghar, W., Craven, K. D., Kataoka, R., Mahmood, A., Asghar, N., Raza, T., & Iftikhar, F. (2024). The application of *Trichoderma* spp., an old but new useful fungus, in

- sustainable soil health intensification: A comprehensive strategy for addressing challenges. *Plant Stress*, 12, 100455. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100455>
- Bailón-Ortiz, Á. Z. & Amábilis-Sánchez, M. J. (2024). Identificación de agentes causales de la pudrición seca de *Agave potatorum* Zucc en vivero. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 11(1), 11-20. <https://doi.org/10.60158/rma.v11i1.417>
- Barrera, V. A., Iannone, L., Romero, A. I., & Chaverri, P. (2021). Expanding the *Trichoderma harzianum* species complex: Three new species from argentine natural and cultivated ecosystems. *Mycologia*, 113(6), 1136–1155. <https://doi.org/10.1080/00275514.2021.1947641>
- Bautista, J. A., & Smit, M. A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la “región del mezcal” de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 5–20. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.1632>
- Bautista-Cruz, A., Carrillo-González, R., Arnaud-Viñas, M. R., Robles, C., & de León-González, F. (2007). Propiedades de fertilidad del suelo en plantaciones de *Agave angustifolia* Haw. *Soil and Tillage Research*, 96(1), 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.001>
- Bautista-Cruz, A., León-González, F. D., Carrillo-González, R. & Robles, C. (2011). Identification of soil quality indicators for maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) plantations in Southern Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 6(20), 4796–4799. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.203>
- Bibi, H., Ur-Rahim, H., Anwar-Khan, A., Haris, M., Iqbal, M., Ali, R., El-Sheikh, M. A., & Kaushik, P. (2024). Harmonized tripartite approach: Enhancing nutrient accessibility, uptake, and wheat productivity through *Trichoderma harzianum*, compost, and phosphorus synergy. *Journal of King Saud University-Science*, 36(103106), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103106>
- Cai, F., & Druzhinina, I. S. (2021). In honor of John Bissett: Authoritative guidelines on molecular identification of *Trichoderma*. *Fungal Diversity*, 107(1), 1–69. <https://doi.org/10.1007/s13225-020-00464-4>
- Chao, A., & Hu, K.-H. (2023). User’s Guide for iNEXT.4steps Online: Software for Four-Step Biodiversity Analysis based on iNEXT [https://chao.shinyapps.io/iNEXT_4steps]. iNEXT.4steps.
- Chao, A., Kubota, Y., Zelený, D., Chiu, C., Li, C., Kusumoto, B., Yasuhara, M., Thorn, S., Wei, C., Costello, M. J., & Colwell, R. K. (2020). Quantifying sample completeness and comparing diversities among assemblages. *Ecological Research*, 35(2), 292–314. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12102>
- Chimal-Sánchez, E., Reyes-Jaramillo, I., Salmerón-Castro, J. Y., Vázquez-Pérez, N., & Varela-Fregoso, L. (2018). Cuatro nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares (*glomeromycota*) asociados con *Agave karwinskii* y *A. angustifolia* (agavaceae) de Oaxaca, México. *Acta Botanica Mexicana*, 125, 173–187. <https://doi.org/10.21829/abm125.2018.1356>
- COMERCAM. (2023). Recuperado el 21 de enero de 2024, de https://comercam-dom.mx/wp-content/uploads/2023/05/INFORME-2023_PUBLICO.pdf
- Coninck, E., Scauflaire, J., Gollier, M., Liénard, C., Foucart, G., Manssens, G., Munaut, F., & Legrève, A. (2020). *Trichoderma atroviride* as a promising biocontrol agent in seed coating for reducing *Fusarium* damping-off on maize. *Journal of Applied Microbiology*, 129(3), 637–651. <https://doi.org/10.1111/jam.14641>
- Contreras-Cornejo, H. A., Schmoll, M., Esquivel-Ayala, B. A., González-Esquivel, C. E., Rocha-Ramírez, V., & Larsen, J. (2024). Mechanisms for plant growth promotion activated by

- Trichoderma* in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiological Research*, 281(127621), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127621>
- Contreras-Negrete, G., Valiente-Banuet, A., Molina-Freaner, F., Partida-Martínez, L. P., & Hernández-López, A. (2025). Agricultural practices and environmental factors drive microbial communities in the mezcal-producing *Agave angustifolia* Haw. *Microbial Ecology*, 87(1), 181. <https://doi.org/10.1007/s00248-025-02496-2>
- Degani, O., & Dor, S. (2021). *Trichoderma* biological control to protect sensitive maize hybrids against late wilt disease in the field. *Journal of Fungi*, 7(315), 1–19. <https://doi.org/10.3390/jof7040315>
- Dou, K., Lu, Z., Wu, Q., Ni, M., Yu, C., Wang, M., Li, Y., Wang, X., Xie, H., Chen, J., & Zhang, C. (2020). MIST: A Multilocus Identification System for *Trichoderma*. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(18), e01532-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01532-20>
- Espinosa-Meza, D. E., Rivera-González, G., & Maldonado-Ángeles, B. E. (2017). Caracterizando la producción y organización de los mezcaleros en Matatlán, México “capital mundial del mezcal”. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 27(50), 1–30. <https://doi.org/10.24836/es.v27i50.465>
- Felsenstein, J. (1985). Phylogenies and the Comparative Method. *The American Naturalist*, 125(1), 1–15. <https://doi.org/10.1086/284325>
- Hernández-López, J. de J. (2018). El mezcal como patrimonio social: de indicaciones geográficas genéricas a denominaciones de origen regionales. *Em Questão*, 24(2), 404–433. <http://dx.doi.org/10.19132/1808-5245242.404-433>
- Hernández-Morales, J. L., López-Sánchez, C., & Palma-Cruz, F. de J. (2014). Caracterización morfológica de micorriza arbuscular asociada a *Agave potatorum* Zucc. con potencial de uso agronómico. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(2), 82–93.
- Ismaiel, A., Jambhulkar, P. P., Sinha, P., & Lakshman, D. K. (2024). *Trichoderma*: harzianum complex clade species in soils of central and south america: revision and distribution. *Biology and Life Sciences*, 10, 813. <https://doi.org/10.20944/preprints202409.0499.v1>
- Kim, S. H., Lee, Y., Balaraju, K., & Jeon, Y. (2023). Evaluation of *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma longibrachiatum* as biocontrol agents in controlling red pepper anthracnose in korea. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1201875. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1201875>
- Kubicek, C. P., & Harman, G. E. (2002). *Trichoderma* and *Gliocladium*, Volume I: Basic biology, taxonomy and genetics (Vol. I). Taylor & Francis.
- Kumar, S., Thakur, M., & Rani, A. (2014). *Trichoderma*: mass production, formulation, quality control, delivery and its scope in commercialization in India for the management of plant diseases. *African Journal of Agricultural Research*, 9(53), 3838–3852. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9061>
- McLean, K. L., Hunt, J. S., Stewart, A., Wite, D., Porter, I. J., & Villalta, O. (2012). Compatibilidad de un agente de biocontrol de *Trichoderma atroviride* con prácticas de manejo de cultivos de allium. *Crop Protection*, 33, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.11.018>
- Navi, S. S., Bandyopadhyay, R., Hall, A. J., & Bramel-Cox, P. J. (1999). A Pictorial Guide for the Identification of Mold Fungi on Sorghum Grain (No. 59). *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*. 118 p.
- Nei, M., & Kumar, S. (2000). *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford University Press.

- Poveda, J. (2021). *Trichoderma* as biocontrol agent against pests: New uses for a mycoparasite. *Biological Control*, 159(104634), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>
- Quiñones-Aguilar, E. E., Montoya-Martínez, A. C., Rincón-Enríquez, G., & López-Pérez, L. (2023). Inoculación de bulbilos de *Agave tequilana* con hongos micorrízicos arbusculares: efecto en el crecimiento y biocontrol contra *Fusarium oxysporum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e3043. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art.3043
- Rodríguez-Hernández, R., Castellanos-Bolaños, J. F., Contreras-Hinojosa, J. R., Ruiz-Ríos, T. N., & García-Sibaja, M. (2024). Cultural value of tree species with potential to restore agroforestry systems with agave in the state of Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(85), 4–26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1473>
- Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4(4), 406–425. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454>
- Sánchez-Hernández, L., Arias-Mota, R. M., Rosique-Gil, J. E., & Pacheco-Figueroa, C. J. (2018). Diversidad del género *Trichoderma* (hypocreae) en un área natural protegida en Tabasco, México. *Acta Botánica Mexicana*, 123, 167–182. <https://doi.org/10.21829/abm123.2018.1269>
- Sánchez, V., & Rebolledo, O. (2010). Especies de *Trichoderma* en suelos cultivados con *Agave tequilana* en la región de los altos sur, Jalisco y valoración de su capacidad antagónica contra *Thielaviopsis paradoxa*. *Revista Mexicana de Micología*, 32, 11–18.
- Sánchez-Espinosa, A. C., Villarruel-Ordaz, J. L., & Maldonado-Bonilla, L. D. (2021). Mycoparasitic antagonism of a *Trichoderma harzianum* strain isolated from banana plants in Oaxaca, Mexico. *Biotechnia*, 23(1), 127–134. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i1.1310>
- Sánchez-Montesinos, B., Santos, M., Moreno-Gavira, A., Marín-Rodulfo, T., Gea, F. J., & Diáñez, F. (2021). Biological control of fungal diseases by *Trichoderma aggressivum* f. *Europaeum* and its compatibility with fungicides. *Journal of Fungi*, 7(8), 598. <https://doi.org/10.3390/jof7080598>
- Santander, C., & Olave, J. (2014). Efecto de la interacción del hongo micorrízico arbuscular (AMF) *Glomus intraradices* y *Trichoderma harzianum* sobre la producción de plantines de melón en zonas áridas. *IDESIA*, 32(2), 21–28.
- Scudeletti, D., Crusciol, C. A. C., Bossolani, J. W., Moretti, L. G., Momesso, L., Servaz Tubaña, B., De Castro, S. G. Q., De Oliveira, E. F., & Hungria, M. (2021). *Trichoderma asperellum* inoculation as a tool for attenuating drought stress in sugarcane. *Frontiers in Plant Science*, 12, 645542. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.645542>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Economía y Sectores Productivos*. <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>
- Siddiquee, S. (2017). Molecular Characteristics of *Trichoderma Strains*. En S. Siddiquee (Ed.), *Practical Handbook of the Biology and Molecular Diversity of Trichoderma Species from Tropical Regions* (pp. 75–102). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64946-7_5
- Stackebrandt, E., & Goebel, B. M. (1994). Taxonomic note: A place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA sequence analysis in the present species definition in bacteriology. *International Journal for Systematic Bacteriology*, 44(4), 846–849. [https://doi.org/0020-7713/94/\\$04.00+0](https://doi.org/0020-7713/94/$04.00+0)
- Stracquadano, C., Quiles, J. M., Meca, G., & Cacciola, S. O. (2020). Antifungal activity of

- bioactive metabolites produced by *Trichoderma asperellum* and *Trichoderma atroviride* in liquid medium. *Journal of Fungi*, 6(4), 263.
<https://doi.org/10.3390/jof6040263>
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipiński, A., & Kumar, S. (2013). MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution*, 30(12), 2725–2729.
<https://doi.org/10.1093/molbev/mst197>
- Thompson, J. D., Gibson, T. J., Plewniak, F., Jeanmougin, F., & Higgins, D. G. (1997). The CLUSTAL_X windows interface: Flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Research*, 25(24), 4876–4882.
<https://doi.org/10.1093/nar/25.24.4876>
- Torres-De La Cruz, M., Ortiz-García, C. F., Bautista-Muñoz, C., Ramírez-Pool, J. A., Ávalos-Contreras, N., Cappello-García, S., & De La Cruz-Pérez, A. (2015). Diversidad de *Trichoderma* en el agroecosistema cacao del estado de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(4), 947–961.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.07.012>
- Trichoderma genbank—Gene—NCBI. (2024). National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=trichoderma%20gen%20banck>
- Vargas-Gil, S., Pastor, S., & March, G. J. (2009). Quantitative isolation of biocontrol agents *Trichoderma* spp., *Gliocladium* spp. And *actinomyces* from soil with culture media. *Microbiological Research*, 164(2), 196–205.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.11.022>
- White, T. J., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. (1990). 38—Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, & T. J. White (Eds.), *PCR Protocols* (pp. 315–322). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1>
- Zhang, Y.-B., & Zhuang, W.-Y. (2018). New species of *Trichoderma* in the harzianum, longibrachiatum and viride clades. *Phytotaxa*, 379(2), 131–142.
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.379.2.1>
- Zieliński, B., Sroka-Oleksiak, A., Rymarczyk, D., Piekarczyk, A., & Brzywczy-Włoch, M. (2020). Deep learning approach to describe and classify fungi microscopic images. *PLOS ONE*, 15(6), e0234806.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234806>

VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE *Litopenaeus vannamei* EN GUERRERO, MÉXICO

VARIABLES AFFECTING THE *Litopenaeus vannamei* PRODUCTION IN GUERRERO, MEXICO

Silberio García-Sánchez^{id}, §Alejandro Juárez-Agis^{id}, Branly Olivier-Salomé^{id}, Jacqueline Zeferino-Torres^{id}, Luis Fernando Rodríguez-Clemente^{id}

Universidad Autónoma de Guerrero, Escuela Superior de Ciencias Ambientales, Centro Regional de Educación Superior. Acapulco, Guerrero. México. §Autor de correspondencia: (13457@uagro.mx).

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar si las variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, calcio, amonio, nitritos, magnesio y potasio), y el uso de la melaza con probióticos influyen significativamente en el desarrollo del camarón. El estudio se realizó durante la época de secas y lluvias, en dos estanques de 1 ha cada uno, en la granja acuícola “El Camarón Dorado” en San Nicolás, Coyuca de Benítez, Guerrero. Determinándose en ambas épocas y estanques, la temperatura, oxígeno disuelto, nitritos y magnesio, se encontraron en los intervalos permitidos para la productividad del camarón. No obstante, de acuerdo al Análisis de Componentes Principales en el estanque 1, componente 1, el peso de los organismos se relacionó negativamente con el pH, temperatura y magnesio. En el estanque 2, el peso se relacionó con la temperatura y magnesio del componente uno, mientras que en el componente dos, el oxígeno disuelto se relacionó negativamente con el amonio y potasio. La correlación de Pearson, reveló que el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura, la dureza, el magnesio, el potasio y el amonio, fueron los principales factores que afecta la productividad del camarón durante el periodo de lluvias. Hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) las variables pH, potasio y salinidad entre el periodo de seca y lluvias. Concluyéndose que el uso de melaza con probióticos contribuye a la calidad del agua y crecimiento del camarón, sin embargo, pero la efectividad dependerá del manejo del proceso de producción acuícola.

Palabras clave: Coyuca de Benítez, cultivo de camarón, estación climática, parámetros fisicoquímicos, uso de melaza con probióticos.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine if physicochemical variables (salinity, temperature, dissolved oxygen, pH, calcium, ammonium, nitrite, magnesium and potassium), and the use of molasses with probiotics significantly influence shrimp development. The study was carried out during the dry and rainy seasons, in two ponds of 1 ha each, at the aquaculture farm “El Camarón Dorado” in San Nicolás, Coyuca de Benítez, Guerrero. In both seasons and ponds, the temperature, dissolved oxygen, nitrites and magnesium were found to be within the permitted ranges for shrimp productivity. However, according to the Principal Component Analysis in pond 1, component 1, the weight of the organisms was negatively related to pH, temperature and magnesium. In pond 2, weight was related to temperature and magnesium in component one, while in component two, dissolved oxygen was negatively related to ammonium and potassium. Pearson's correlation revealed that dissolved oxygen, pH, temperature, hardness, magnesium, potassium and ammonium were the main factors affecting shrimp productivity during the rainy season. There was a significant difference ($p > 0.05$) in the variables pH, potassium and salinity between the dry and rainy periods. It was concluded that the use of molasses with probiotics contributes to water quality and shrimp growth, however, but the effectiveness will depend on the

management of the aquaculture production process.

Index words: Coyuca de Benítez, shrimp culture, climatic season, physicochemical parameters, use of molasses with probiotics.

INTRODUCCIÓN

La actividad económica de la acuicultura, a nivel mundial ha tenido un desarrollo continuo en las últimas cuatro décadas con la tasa más alta de incremento (Cuéllar-Lugo et al., 2018), representando la parte productiva de alimentos del sector agropecuario y pesquero, con un crecimiento incluso mayor que el de la población (CONAPESCA, 2018) y que alcanzará para el 2025 una contribución del 52 % a la producción mundial (FAO, 2016), con una evolución promedio anual de 15 % (SAGARPA, 2017).

México cuenta con un litoral de 11 112 km, de estos 7825 km, conciernen al Océano Pacífico y 3294 km pertenecen al Golfo de México y al Mar Caribe (SEMARNAT, 2021; Arreguín-Sánchez, 2006), y está entre los primeros países en producción acuícola de América, así mismo, tiene gran potencial de desarrollo acuícola por sus gran diversidad de climas; además el país participa con el 12 % de la biodiversidad mundial y se cree que más de 12 000 especies endémicas tiene potencial diversificado para la actividad acuícola (FAO, 2024; Vázquez-Vera y Chávez-Carreño, 2022; CONAPESCA, 2019; Avilés-Quevedo y Vázquez-Hurtado, 2006). Por lo que, la FAO (2024) y la Carta Nacional Acuícola (CNA, 2012) indican que se cultivan 61 especies en total, de esas, 40 especies son nativas y 21 son introducidas al país de origen exótico.

En México la engorda de camarón blanco se inicia en la Universidad de Sonora en los años 70's, no obstante, hasta los años 80's (siglo XX), inicia la comercialización de esta actividad acuícola, según el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentable (IMIPAS, 2018). En ese sentido, los estados de

Sinaloa, Sonora y Nayarit son los más importantes del país que se dedican a la acuicultura, y que participan con el 65 % de la producción nacional, cuentan con más de 300 unidades de producción de camarón, (Vázquez-Vera y Chávez-Carreño, 2022; IMIPAS, 2018; Avilés-Quevedo y Vázquez-Hurtado, 2006).

Por otra parte, la engorda de camarón en estanque rústico en el estado de Guerrero ha avanzado significativamente en los 90's (siglo XX), pero a pequeña escala (SAGARPA, 2014; Anaya-Rosas y Bückle-Ramírez, 2012). Sin embargo, en el año 2000, de dos granjas de producción de camarón anotadas en el padrón de acuicultores del estado de Guerrero, creció en 2022, a 56 unidades de producción acuícola con variado grado de tecnificación, según el Gobierno del Estado de Guerrero (GEG, 2024).

En el estado de Guerrero las granjas de camarón se caracterizan principalmente por una planeación poca viable o escasa en algunos casos en sus procesos de producción, como registro del manejo de alimentación y revisión de las variables fisicoquímicas del agua (García et al., 2018).

Por otra parte, el cultivo del camarón es bastante vulnerable a enfermedades de origen no infeccioso, vinculadas a desórdenes nutricionales y ambientales (García et al., 2018; Fonseca et al., 2013), debido por la poca capacidad de autorregulación y aclimatación de los organismos (Alpuche et al., 2005), esta fragilidad se debe principalmente por las condiciones fisicoquímicas del cuerpo de agua de las granjas de producción acuícola, como: dureza, alcalinidad, oxígeno disuelto, temperatura, turbidez y pH, así como también por los niveles altos de nitritos, nitratos y amonio (García et al., 2018; Arzola et al., 2008).

No obstante, se ha señalado, que el uso de probióticos en la acuicultura de camarón en estanque rústico, beneficia la asimilación de alimento y defensas contra enfermedades de los camarones (Goh et al., 2022), mejora las propiedades del cuerpo de agua con la disminución

de niveles altos de nitritos, nitratos y amonio (Pérez-Chabela et al., 2020; Banerjee et al., 2010), ayuda a la remoción de patógenos y nitrógeno en los cultivos (Chae-Woo et al., 2009), mejora la competencia inmunológica y aumenta el desarrollo de los camarones (Kolanchinathan et al., 2022; Rohani et al., 2021; Melgar et al., 2013), contribuye a la mitigación del estrés (Rohani et al., 2021), incrementa el valor nutricional y la eficiencia de alimentación (Pérez-Chabela et al., 2020), mejora la conversión alimenticia (Kolanchinathan et al., 2022), aumenta la supervivencia de los camarones (Goh et al., 2022; Kolanchinathan et al., 2022; Rohani et al., 2021; García-Bernal et al., 2020), y ayuda a reducir la acumulación de desechos contaminantes (Pérez-Chabela et al., 2020).

De la misma manera, el uso de melaza en engorda de *Litopenaeus vannamei*, es con el propósito de minimizar la concentración de amoníaco y nitritos, además se ha señalado en investigaciones, que el uso de melaza de soya y caña de azúcar, dextrosa y salvado de arroz ayuda a obtener buena calidad de agua (Khanjani y Musulmana, 2022; Tinh et al., 2021; Chakrapani et al., 2020), así mismo, mejora los niveles de nitrito, nitrato y amonio (Huang et al., 2022; Tinh et al., 2021; Tong et al., 2020; Panigrahi et al., 2019), mejora el crecimiento de camarón (Huang et al., 2022; Khanjani y Musulmana, 2022; Chakrapani et al., 2020), proporciona una mejor nutrición (Tong et al., 2020) y desarrolla respuesta inmunitarias y metabólicas (Chakrapani et al., 2020).

En ese sentido, el propósito de este trabajo fue, determinar si las variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, pH, calcio, amonio, nitritos, magnesio y potasio), y el uso de la melaza con probióticos influyen significativamente en el desarrollo del camarón cultivado en estanques rústicos, especialmente entre los periodos de lluvia y estiaje, en la unidad de producción de camarón “El Camarón Dorado”

localizada en el poblado de San Nicolás, Coyoaca de Benítez, Guerrero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en la granja de producción “El Camarón Dorado”, en la localidad de San Nicolás, Coyoaca de Benítez, Guerrero, México, coordenadas 16° 59' 15.57" N y 100° 8' 42.75" (Figura 1). Esta localidad presenta clima tropical cálido húmedo. La época de lluvias abarca desde mayo y puede extenderse hasta noviembre. La época de seca es de diciembre a abril (INEGI, 2022).

Diseño de muestreo

El estudio se llevó a cabo utilizando dos estanques rústicos de 1 ha cada uno, durante la época de seca y lluvias. Los muestreos de las variables fisicoquímicas del agua fueron: 19 muestras en el estanque 1 y 12 muestras en el estanque 2; los muestreos se realizaron del 3 enero al 31 mayo de 2023 y del 03 de junio hasta el 30 de agosto del año 2023, respectivamente.

Durante la etapa de cultivo del camarón, cada 15 días se capturaron 50 organismos con una atarraya de 3 mm Ø y se les pesó con una báscula Ohaus con una sensibilidad de 0.01 g, calculándose el peso promedio. Las postlarvas de camarón se sembraron a una densidad de 30 organismos m⁻², con un peso promedio de 0.01 g. Las variables del agua se midieron *in situ* cada semana por la mañana (7:00 h) y fueron: salinidad (ppm) (superficial) con un refractómetro manual 0-90 brix, Luzeren; temperatura (° C), oxígeno disuelto (mg L⁻¹) con un multiparámetro ISY ProQuatro (fondo del estanque); respectivamente pH, amonio (mg L⁻¹), nitritos (mg L⁻¹), calcio (mg L⁻¹), magnesio (mg L⁻¹) y potasio (mg L⁻¹) con el photometers YSI 3900, con lectura directa, utilizando 10 mL de muestra para cada uno de los parámetros y esta fue tomada a una profundidad promedio de 30 cm.

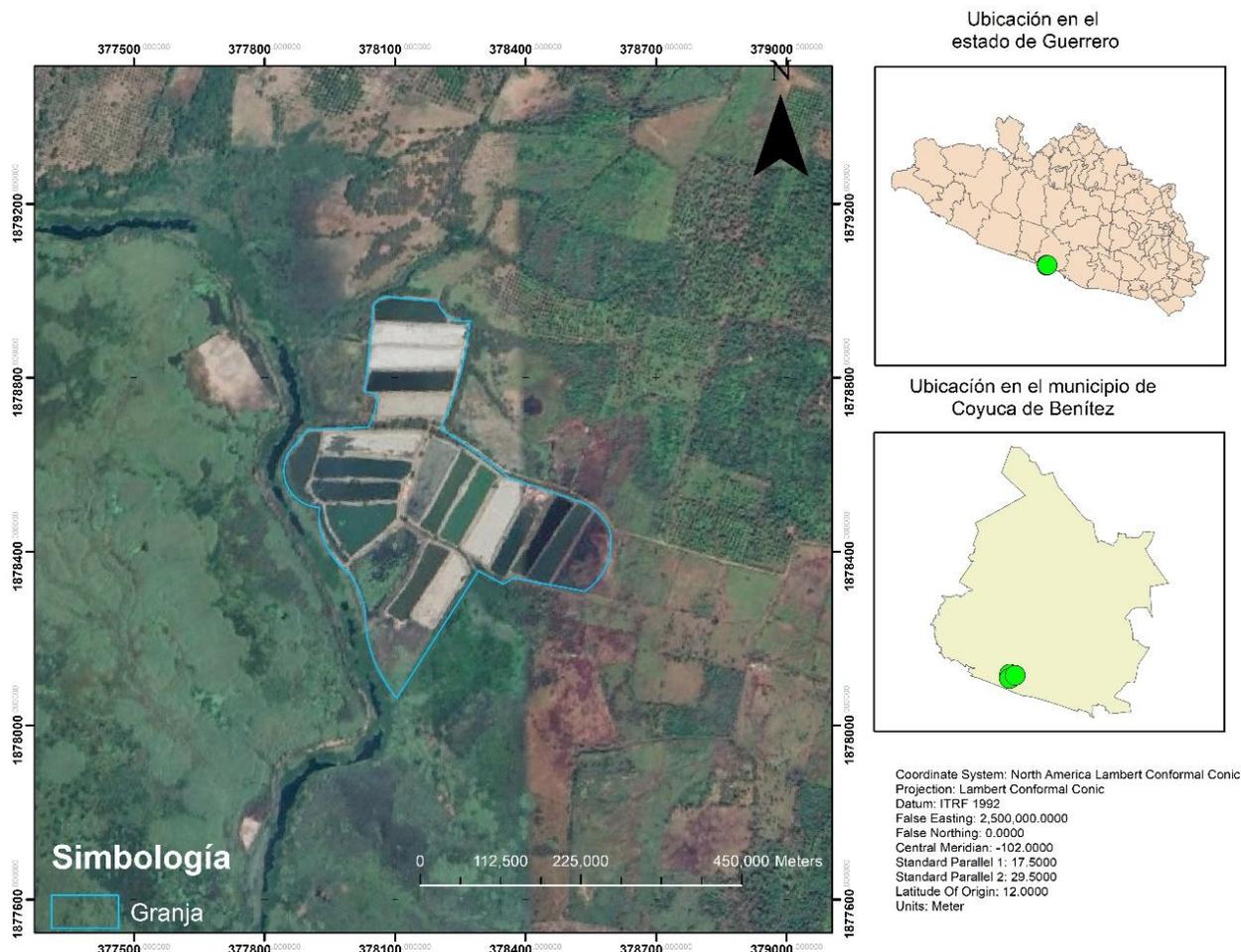


Figura I. Granja acuícola “El Camarón Dorado”, en la localidad de San Nicolás, Coyuca de Benítez, Gro. Fuente: Elaboración propia a partir de datos vectoriales. INEGI, 2022, México.

Para la utilización de la melaza con probióticos, primero se preparó el concentrado de microorganismos efectivos (*EM*), para ello se utilizó un litro de *EM* puro, 20 L agua y 2 L de melaza. Preparación, se hirvió el agua, en este estado se vertió en un bote con tapa de 20 L, enseguida se le agregó 2 L de melaza, con la finalidad de desinfectar, una vez fría se le agregó 1 L de *EM* puro y se cerró con la tapa, dejándolo reposar durante siete días.

Después, se preparó 1000 L de *EM* en un Rotoplas® de 1000 L con agua previamente desinfectada con cloro, se le agregó 20 L de melaza, cuatro cubetas de 20 L de *EM* como inocuo y por último se le suministró 3 L de *EM* activado, dejándolo reposar durante siete días.

Esta preparación, se usó solamente cuando el amonio se encontraba por encima del nivel máximo permitido (SENASICA, 2003) y se realizó esparciendo los 1000 L en todo el estanque de forma homogénea.

Análisis de datos

Para determinar la relación multivariada de los variables fisicoquímicas con el peso de los camarones se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP), para sintetizar el conjunto de datos de variables a un menor número, sin perder la información asociada, y hallar las causas de la variabilidad de un conjunto de datos y ordenarlas por importancia y conocer sus interrelaciones (Meneses, 2019; Ávila et al, 2015).

Se aplicó análisis de correlación (Pearson, $\alpha = 0.05$) entre variables fisicoquímicas con el peso del organismo. Así mismo, se aplicó la prueba t-Student para diferenciar entre el periodo de seca y lluvias en los parámetros fisicoquímicos del agua. Se utilizó el Software SPSS 22 (Nel, 2014).

RESULTADOS

Análisis estadístico descriptivo

Estanque I, (estiaje), promedio de las variables: temperatura varió entre 21.50 °C y 30.30 °C con una media de 25.59 °C, el oxígeno disuelto osciló entre 5.0 mg L⁻¹ y 7.5 mg L⁻¹ con una media de 6.33 mg L⁻¹, el pH mantuvo un promedio de 8.68 y varió de 7.9 a 10.06, el calcio osciló entre 4 mg L⁻¹ y 40 mg L⁻¹ con una media de 20.52 mg L⁻¹; los nitritos variaron entre 0.007 mg L⁻¹ y 0.055 mg L⁻¹ con una media de 0.03 mg L⁻¹, el amonio osciló entre los 0.04 mg L⁻¹ y 0.87 mg L⁻¹ con una media de 0.31 mg L⁻¹, el magnesio registró un rango de 92 mg L⁻¹ a 200 mg L⁻¹ con una media de 130.36 mg L⁻¹; el potasio presentó un intervalo entre 13 mg L⁻¹ y 24 mg L⁻¹ con un promedio de 15.30 mg L⁻¹ y por último la salinidad registró valores entre 1.5 ppm y 3 ppm con una media de 2.28 ppm (Tabla I).

Estanque 2, estación climática de lluvias, el comportamiento de las variables fisicoquímicas muestreadas para el caso de la temperatura varió entre 20.60 °C y 27.60 °C con un promedio de 25.08 °C, el oxígeno disuelto varió de 5 mg L⁻¹ a 8.5 mg L⁻¹ con un valor medio de 6.66 mg L⁻¹; el pH mantuvo un promedio de 6.66 y varió de 5 a 8.5, el calcio osciló entre 6 mg L⁻¹ y 68 mg L⁻¹ con una media de 28.83 mg L⁻¹, los nitritos se mantuvieron en un rango comprendido entre 0.004 mg L⁻¹ y 0.118 mg L⁻¹ con un promedio de 0.034 mg L⁻¹; el amonio registró valores entre los 0.01 mg L⁻¹ y 0.41 mg L⁻¹ con un intermedio de 0.15 mg L⁻¹, el magnesio varió 90 mg L⁻¹ a 170 mg L⁻¹ con una media de 129.16 mg L⁻¹; el potasio presentó rango que va de 5.70 mg L⁻¹ a 16.80 mg L⁻¹ con un promedio de 10.16 mg L⁻¹ y por último la salinidad registró valores de 0.50 ppm y 3 ppm con un promedio de 1.5 ppm (Tabla I).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

En el estanque I, el ACP generó cinco variables (peso, amonio, temperatura, pH y magnesio) y dos componentes; en el estanque 2 se obtuvieron seis variables (peso, oxígeno disuelto, temperatura, amonio, magnesio y potasio) y también dos componentes (Tabla 2).

Tabla I. Promedio de las variables físicas y químicas del agua para la productividad del camarón.

Estadístico	Peso (g)	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	Temperatura (° C)	pH	Calcio (mg L ⁻¹)	Nitritos (mg L ⁻¹)	Amonio (mg L ⁻¹)	Magnesio (mg L ⁻¹)	Potasio (mg L ⁻¹)	Salinidad (ppm)
Estanque I (estiaje)										
Media	11.25	6.33	25.59	8.68	20.52	0.03	0.31	130.36	15.50	2.28
Desv. típ.	5.93	0.63	2.38	0.65	10.17	0.012	0.26	35.57	2.73	0.418
Mínimo	0.24	5.00	21.50	7.90	4.00	0.007	0.04	92.00	13.00	1.50
Máximo	21.93	7.50	30.30	10.06	40.00	0.055	0.87	200.00	24.00	3.00
Estanque 2 (lluvias)										
Media	6.61	6.66	25.08	6.66	28.83	0.034	0.15	129.16	10.16	1.50
Desv. típ.	5.14	0.97	2.40	0.97	20.13	0.034	0.15	31.27	3.86	0.67
Mínimo	0.24	5.00	20.60	5.00	6.00	.004	0.01	90.00	5.70	0.50
Máximo	16.43	8.50	27.60	8.50	68.00	.118	0.51	170.00	16.80	3.00

Tabla 2. Análisis de Componentes Principales.

Variables	Componentes rotados	
	I	2
Estanque I (estiaje)		
Peso	-0.684	-0.472
Amonio	-0.381	0.851
Temperatura	0.787	-0.356
pH	0.836	0.062
Magnesio	0.598	0.383
Estanque 2 (lluvias)		
Magnesio	0.923	0.222
Peso	0.920	0.291
Temperatura	0.851	0.320
Amonio	0.124	0.924
Potasio	0.363	0.828
Oxígeno disuelto	-0.464	-0.711

Primer componente, estanque I, conformado por las variables pH, temperatura, magnesio y peso del organismo, indica que el aumento de temperatura involucra una disminución en el peso de los camarones, los cambios bruscos de temperatura retrasan significativamente el crecimiento de los camarones. De la misma manera, a un aumento del pH, generó también una disminución del peso, debido que este parámetro influye en la disponibilidad de nutrientes afectando el crecimiento de los organismos. Así también al aumentar el magnesio fuera de los rangos óptimos recomendados, no hay crecimiento de los camarones. Para el caso del componente número dos, ninguna de las cuatro variables presentó correlación con el amonio (**Tabla 2**).

En el estanque 2, el primer componente, integrado por las variables magnesio, peso y temperatura muestra que un incremento de temperatura y magnesio crecen los camarones, debido a que el magnesio y la temperatura interactúan en el metabolismo de los camarones. Aunque este incremento de peso también podría estar relacionado con el manejo adecuado de la melaza (**Tabla 2**).

De la misma forma, el segundo componente, conformado por las variables amonio, potasio y oxígeno disuelto, indican que un aumento de amonio y potasio, involucra una disminución del oxígeno disuelto, atribuyéndose a la desintegración de materia orgánica, mostrando mala calidad del agua en los estanques (**Tabla 2**).

De acuerdo con las correlaciones de Pearson entre peso y las variables fisicoquímicas, en el estanque 2 periodo de lluvias seis variables fisicoquímicas impactan negativamente en la calidad del agua (**Tabla 3**). Por otra parte, de acuerdo a la prueba t-Student solo las variables pH, potasio y salinidad fueron significativa ($p < 0.05$) entre el periodo de seca y lluvias.

En la **Tabla 4** se observan los intervalos óptimos de los parámetros fisicoquímicos para la productividad del camarón, recomendados por la SENASICA (2003) derivado de las investigaciones de Wickins y Lee (2008); Boyd (2001); Van y Scarpa (1999); Hirono (1983).

Tabla 3. Relaciones entre peso de camarón y variables fisicoquímicas.

Estanque 1, periodo se seca	Oxígeno disuelto	Temperatura	pH	Dureza	Nitritos	Amonio	Magnesio	Potasio	Salinidad
Peso	.261	-.287	-.573*	.138	.055	-.054	-.331	.101	-.208
	.280	.233	.010	.573	.822	.827	.167	.682	.392
Oxígeno Disuelto		-.216	-.096	-.213	-.226	-.170	-.380	.208	-.089
		.374	.697	.380	.351	.487	.108	.392	.718
Temperatura			.509*	-.180	.127	-.456*	.367	.100	.032
			.026	.461	.605	.050	.122	.683	.898
pH				-.019	.051	-.237	.328	.039	.075
				.938	.837	.329	.170	.874	.759
Dureza					-.028	.092	.145	-.402	.197
					.911	.709	.555	.088	.419
Nitritos						.062	.408	.157	.238
						.799	.083	.520	.326
Amonio							.047	-.113	.072
							.848	.646	.768
Magnesio								.097	.343
								.693	.151
Potasio									.228
									.347
Estanque 2, periodo de lluvias	Oxígeno disuelto	Temperatura	pH	Dureza	Nitritos	Amonio	Magnesio	Potasio	Salinidad
Peso	-.610*	.818**	-.610*	-.884**	.753**	.371	.896**	.611*	.044
	.035	.001	.035	.000	.005	.236	.000	.035	.892
Oxígeno Disuelto		-.576	1.000**	.483	-.232	-.619*	-.565	-.657*	-.402
		.050	.000	.111	.468	.032	.056	.020	.195
Temperatura			-.576	-.684*	.461	.435	.783**	.550	.034
			.050	.014	.132	.157	.003	.064	.917
pH				.483	-.232	-.619*	-.565	-.657*	-.402
				.111	.468	.032	.056	.020	.195
Dureza					-.547	-.529	-.832**	-.701*	-.295
					.066	.077	.001	.011	.353
Nitritos						.042	.519	.327	-.295
						.896	.084	.299	.352
Amonio							.364	.726**	.452
							.244	.007	.140
Magnesio								.494	.205
								.102	.523
Potasio									.572
									.052

*Significativa (Pearson, $p \leq 0.05$), **altamente significativa (Pearson, $p \leq 0.01$), n =12-19.

DISCUSIÓN

Los intervalos de estas variables fisicoquímicas como la temperatura (21.50 - 30.30 °C; 20.6 – 27.60 °C), oxígeno disuelto (OD) (5.0 a 7.5 mg L⁻¹) y nitritos (0.007 - 0.055 mg L⁻¹) (Tabla 1), en los periodos de estiaje y lluvias fueron adecuados para el cultivo de camarón. de acuerdo a lo que propone la SENASICA (2003), Wickins y Lee (2008) y Hirono (1983) (Tabla 4). Sin embargo, el estudio realizado por García et al. (2018) registra temperaturas entre 29.7 y 37 °C, OD valores de 0.04 a 13.6 mg L⁻¹, nitritos osciló de 0.3 a 0.105 mg L⁻¹, fuera de los parámetros óptimos para la productividad del camarón (Tabla 4), no coincidiendo con esta investigación.

Lara-Espinoza et al. (2015) registraron en su estudio valores promedios: temperatura de 30.44 ± 1.0 °C, oxígeno disuelto (OD) de 4.71 ± 0.64 mg L⁻¹, nitritos 5.50 ± 2.07 mg L⁻¹. Valenzuela et al, (2010) registraron valores promedios de: temperatura 26.5 °C, OD 5.9 mg L⁻¹, nitrito 0.28 a 0.32 mg L⁻¹, de tal forma, solo el nitrito se encontró fuera de los intervalos óptimos para esta actividad acuícola del camarón, en concordancia con esta investigación, la temperatura y el OD están en los valores permitidos para la producción del camarón (Tabla 4).

Tabla 4. Intervalos óptimos de variables fisicoquímicas en la que se puede cultivar de *Litopenaeus vannamei*.

Variables	Óptimo (I)	Óptimo (2)**	Óptimo (3)***	Valores SENASICA ****	Estudio 2023 (estiaje, estanque I)	Estudio 2023 (lluvias, estanque 2)
Temperatura (° C)	28-30	28-32	26-30	20-30	21.5-30.3	20.6-27.6
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	6-10 (fondo)		> 5	>4	5-7.5	5-8.5
Salinidad (ppm)	15-25	5-25	15-30	20-35	1.5-3	0.5-3
pH	8.1-9.0	7-8	7.8-8.3	7.8-8.3	7.9-10.06	5-8.5
Alcalinidad (mg L ⁻¹)	100-140			90-120		
Disco Secchi (cm)	35-45	> 30		25-50		
Amonio total a (mg L ⁻¹)	0.1-1.0					
Amonio no-ionizado (N-NH ₃), (mg L ⁻¹)	< 0.1	< 0.1	0.09-0.11	< 0.12	0.04-0.87	0.01-0.51
Sulfuro de hidrógeno total b (mg L ⁻¹)	< 0.1					
Sulfuro de hidrógeno no-ionizado (H ₂ S), (mg L ⁻¹)	< 0.005					
Nitrito (N-NO ₂), (mg L ⁻¹)	< 1.0	2-3	< 0.2-0.25	< 0.1	0.007-0.055	0.004-0.118
Nitrato (N-NO ₃), (mg L ⁻¹)	0.4-0.8					
Nitrógeno inorgánico total c (mg L ⁻¹)	0.5-2.0					
Silicato, (mg L ⁻¹)	2.0-4.0					
Fósforo reactivo (PO ₄), (mg L ⁻¹)	0.1-0.3	1.5-2.5				
Clorofila a (µg L ⁻¹)	50-75					
Sólidos suspendidos totales (mg L ⁻¹)	50-150					
Potencial redox (agua), (mV)	500-700					
Potencial redox (fondo), (mV)	400-500					
Dureza (mg L ⁻¹)						
Calcio (mg L ⁻¹)	>100 ***** (Van Wyk y Scarpa, 1999)				4-40	6-68
Magnesio (mg L ⁻¹)	≥50 ***** (Van Wyk y Scarpa, 1999; Boyd, 2001)		100 a 1,500 (mg L ⁻¹)		92-200	90-170
Potasio (mg L ⁻¹)	***** Boyd, (2001)		100 a 400 (mg L ⁻¹)		13-24	5.7-16.8

Por otra parte, Anaya y Bückle (2012) indicaron valores de temperatura de 20 °C a 30 °C, oxígeno disuelto de 6.4 mg L⁻¹ a 7.8 mg L⁻¹ y nitritos con valores de 0.003 mg L⁻¹ a 0.135 mg L⁻¹; Melgar et al. (2013) señalaron temperatura promedio de 32 °C, lo cual coincide con la investigación y que están entre el rango óptimo para la producción del camarón (Tabla 4). Igualmente, Samocha et al. (2007) registraron temperatura de 28.4 a 30 °C, y de oxígeno disuelto que oscilaron entre 5.3 mg L⁻¹ y 6.7 mg L⁻¹. Tong et al. (2020) también registró temperatura entre 19 °C y 31 °C, oxígeno disuelto entre 5.6 mg L⁻¹ y 7.8 mg L⁻¹. Panigrahi et al. (2019) encontró oxígeno disuelto promedio de 6.4 mg L⁻¹ similares con este trabajo de investigación y se encuentra en los rangos permisibles (Tabla I y 4).

Por otra parte, el estanque I registró valores de pH de 7.9 a 10.06 con promedio de 8.6 y para el estanque 2 se registró valores de pH de 5 a 8.5 con un promedio de 6.6, considerados fuera de los valores tolerados para la producción de camarón de acuerdo al promedio (SENASICA, 2003; Wickins y Lee, 2008; Hirono, 1983) (Tabla I y 4).

Melgar et al. (2013) hallaron valores de pH mayores a 9 y Samocha et al. (2007) registraron valores de pH menores a 7, estos autores mencionan que los niveles altos de pH influyen en el comportamiento de las demás variables, afectando el desarrollo de los camarones; se cree que la correlación negativa moderada que se obtuvo entre la variable peso y el pH en el estanque I y 2 se deba a este factor (Tabla 3), coincidiendo con la presente investigación, donde se registró valores de 5 a 10.06 de pH (Tabla I y 2).

Para el caso del amonio (N-NH₃) en el estanque I y 2 los valores oscilaron entre 0.04 mg L⁻¹ - 0.87 mg L⁻¹ y 0.01 mg L⁻¹ - 0.51 mg L⁻¹ (Tabla I) respectivamente, considerado no viables para la actividad acuícola del camarón (SENASICA, 2003; Wickins y Lee, 2008; Hirono, 1983) (Tabla 4). García et al. (2018) registraron concentraciones de amonio que

oscilaron entre 0.01 mg L⁻¹ - 1.0 mg L⁻¹ del estanque I, y de 0.01 mg L⁻¹ - 0.41 mg L⁻¹ del estanque 2 (lluvias y estiaje), considerados no permisibles para la actividad acuícola del camarón, coincidiendo estos resultados con esta investigación de 2023 (Tabla I y 4). Así mismo, Juárez-Rosales et al. (2021) reportaron en su investigación valores de amonio altos de 0.306 mg L⁻¹ en época de estiaje, y en el ciclo de lluvias presentó valores también altos de 0.406 mg L⁻¹. De la misma manera, Valenzuela-Madrigal et al. (2017) registraron valores de amonio entre 0.26 mg L⁻¹ a 0.31 mg L⁻¹ fuera de lo permitido para la productividad del camarón y son equivalentes con esta investigación donde se registró valores de amonio de 0.04 mg L⁻¹ - 0.87 mg L⁻¹ y 0.01 mg L⁻¹ - 0.51 mg L⁻¹, estanque I y 2 respectivamente (Tabla I y 4).

Para el caso de la variable magnesio los valores oscilaron entre 92 mg L⁻¹ - 200 mg L⁻¹ estanque I y 90 mg L⁻¹ - 170 mg L⁻¹ estanque 2, por lo que es viable para producción de camarón según Lara-Espinoza et al. (2015), Boyd (2001), Van y Scarpa (1999). No obstante, el Ca registró valores menores a 100 mg L⁻¹ que va de 4 mg L⁻¹ - 40 mg L⁻¹ estanque I y de 6 mg L⁻¹ - 68 mg L⁻¹ estanque 2, lo que está fuera del promedio recomendado por Van y Scarpa (1999). Por último, el potasio varió de 13 mg L⁻¹ - 24 mg L⁻¹ estanque I y de 5.7 mg L⁻¹ - 16.8 mg L⁻¹ estanque 2, valores menores a lo recomendado por Boyd (2001) (Tabla I y 4). Jaime-Ceballos et al. (2012) señalaron en su estudio de dos granjas acuícolas en Cuba, concentraciones de potasio K por debajo de los rangos óptimos para el cultivo de camarón, coincidiendo con esta investigación.

CONCLUSIONES

El estudio examinó los factores que afectan la calidad del agua en los estanques para la productividad de camarón, en ese sentido solo tres variables (pH, potasio y salinidad) fueron distintas entre estanques. Las variaciones de los parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques en las estaciones de seca y lluvias, particularmente en las

estaciones lluviosas a las secas, impactan negativamente en la calidad del agua, de acuerdo los resultados de las correlaciones de Pearson, lo cual demuestra las diferencias entre el periodo de secas y lluvias. Estos hallazgos benefician prácticamente a los productores de camarón al resaltar el manejo adecuado de variables fisicoquímicas como la temperatura, oxígeno disuelto, pH, calcio, nitritos, magnesio y potasio como indicadores de calidad del agua para una buena productividad del camarón. La implementación de programas de recambios de agua basado en los valores permisibles y mantener las condiciones estables de los estanques, puede reducir los costos de producción de camarón. Finalmente, los resultados indican que el uso de melaza con probióticos bajo estas condiciones de recambio limitado de agua, tanto en el periodo de estiaje y lluvias si tiene efecto significativo en la calidad del agua, particularmente en prevenir el incremento de amonio y nitritos en el proceso de crecimiento de *Litopenaeus vannamei*, bajo las condiciones antes mencionadas.

REFERENCIAS

- Alpuche, J., Pereyra, A. y Agundis, C. (2005). Respuestas bioquímicas de camarones marinos a factores ambientales. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5), 1-10.
- Anaya, R. E., & Bückle, L. F. (2012). Cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en un sistema con agua de mar recirculada, como alternativa a los cultivos semi-intensivos tradicionales. *Biocencia*, 14(3), 16-24. <https://doi.org/10.18633/bt.v14i3.168>
- Arreguín-Sánchez, F. (2006). *Pesquerías de México*. En: Pesca, acuicultura e investigación en México. México, D. F. pp 13-36.
- Arzola, J. F., Flores, L. M., Izabal, A. y Gutiérrez Y. (2008). Crecimiento de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) en un estanque rústico a baja salinidad. *Revista Aqua TIC*, 28, 8-15.
- Ávila, H., García, S. y Rosas, J. L. (2015). Análisis de Componentes Principales, como herramienta para interrelaciones entre variables fisicoquímicas y biológicas en un ecosistema lentico de Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(3), 43-53.
- Avilés-Quevedo, S. y Vázquez-Hurtado, M. (2006). *Fortalezas y debilidades de la acuicultura en México*. En: Pesca, Acuicultura e Investigación en México. México, D.F. pp 69-86.
- Banerjee, S., Khatoon, H., Shariff, M. y Yusoff, F. M. (2010). Enhancement of *Penaeus monodon* shrimp postlarvae growth and survival without water exchange using marine *Bacillus pumilus* and periphytic microalgae. *Fisheries Science*, 76(3), 481-487. <https://doi.org/10.1007/s12562-010-0230-x>
- Boyd, C. E. (2001). *Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón*. En: Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica. Editorial Managua, UCA. pp 1-30.
- Chakrapani, S., Panigrahi, A., Sundaresan, J., Sivakumar, M. R., Palanisamy, R, y Kumar, V. (2020). Three different C: N ratios for Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei* under practical conditions: Evaluation of growth performance, immune and metabolic pathways. *Aquaculture Research*, 52(3), 1255-1266. <https://doi.org/10.1111/are.14984>
- CNA (Carta Nacional Acuícola). (2012). Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5249902&fecha=06/06/2012#gsc.tab=0
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca). (2018). La Pesca y Acuicultura crece más que la población. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/la-pesca-y-la-acuicultura-crecen-mas-que-la-poblacion>
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca). (2019). La pesca mexicana, una actividad inmensa como el mar. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/la-pesca-mexicana-una-actividad-inmensa-como-el-mar-227722>
- Cuéllar-Lugo, M. B., Asiain-Hoyos, A., Juárez-Sánchez, J. P., Reta-Mendiola, J. L. y Gallardo-

- López, F. (2018). Evolución normativa e institucional de la acuicultura en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(4), 541-564.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y en la nutrición para todos*. Roma. 224 p. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/76e9c9ff-e96a-4757-8d64-06e7a9e8ee72/content>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2024). México. Texto de Montero Rodríguez, M. En: *Pesca y Acuicultura*. Roma. <https://www.fao.org/fishery/es/countrysector/mx/es>
- Fonseca, E., González, R. y Rico, R. (2013). Sistema inmune de los camarones. *Revista AquaTIC*, 38, 68-84.
- García, S., Juárez, A., Olivier, B., Rivas, M. y Zeferino, J. (2018). Variables fisicoquímicas ambientales que inciden en el cultivo de camarón *Litopenaeus vannamei*. Coyuca de Benítez, Guerrero México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 135-155.
- García-Bernal, M., Medina-Marrero, R., Campa-Córdoba, Á. I., Tovar-Ramírez, D., Frías, J. D. B., Ormart-Castro, P. y Mazón-Suástegui, J. M. (2020). Crecimiento y supervivencia del camarón *Penaeus vannamei* con aplicación de actinomicetos probióticos y homeopatía. *AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura*, 2(2), 76-85. <https://doi.org/10.33936/at.v2i2.2676>
- GEG. (Gobierno del Estado de Guerrero) (2024). Programa Sectorial Desarrollo Rural y Pesca-2022-2027. <https://seed.guerrero.gob.mx/wp-content/uploads/2024/01/Programa-Sectorial-Desarrollo-Rural-y-Pesca-2022-2027.pdf>
- Goh, J. X. H., Tan, L. T. H., Law, J. W. F., Ser, H. L., Khaw, K. Y., Letchumanan, V., Learn-Han, L. y Goh, B. H. (2022). Harnessing the potentialities of probiotics, prebiotics, synbiotics, paraprotiotics, and postbiotics for shrimp farming. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1478-1557. <https://doi.org/10.1111/raq.12659>
- Hirono, Y. (1983). Preliminary report on shrimp culture activities in Ecuador. *Journal of the World Mariculture Society*, 14: 451-457. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1983.tb00097.x>
- Huang, H. H., Liao, H. M., Lei, Y. J. y Yang, P. H. (2022). Effects of different carbon sources on growth performance of *Litopenaeus vannamei* and water quality in the biofloc system in low salinity. *Aquaculture*, 546, 737239. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737239>
- IMPAS (Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentable). (2018). Acciones y Programas. Acuicultura comercial. <https://www.gob.mx/impas/acciones-y-programas/acuicultura-camaron-blanco-del-pacifico>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2022). *Aspectos geográficos de Guerrero*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463913962.pdf
- Jaime-Ceballos, B., Cabrera-Machado, J. E. y Vega-Villasante, F. (2012). Cultivo tierra adentro de camarón marino *Litopenaeus vannamei*: evaluación del agua de dos granjas acuícolas en Cuba. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(6), 1-17.
- Juárez-Rosales, J. J., Ponce-Palafox, J., Román-Gutiérrez, A. D., Otazo-Sánchez, E. M., Pulido-Flores, G., Marmolejo-Santillán, Y., Tapia-Varela, R., & Benítez-Mandujano, M. A. (2021). Factores técnicos del manejo de la calidad agua y sedimento en policultivo camarón-tilapia en estanques. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), e2147. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2147>
- Khanjani, M. H. y Musulmana, S. (2022). Biofloc technology with addition molasses as carbon

- sources applied to *Litopenaeus vannamei* juvenile production under the effects of different C/N ratios. *Aquaculture International*, 30(1), 383-397. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00803-5>
- Kolanchinathan, P., Kumari, P. R., Raja, K., John, G. & Balasundaram, A. (2022). Analysis of feed composition and growth parameters of *Penaeus monodon* supplemented with two probiotic species and formulated diet. *Aquaculture*, 549, 737740. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737740>
- Lara-Espinoza, C. L., Espinosa-Plascencia, A., Rivera-Domínguez, M., Astorga-Cienfuegos, K. R., Acedo-Félix, E. y Bermúdez-Almada, M. del C. (2015). Desarrollo de camarón *Litopenaeus vannamei* en un sistema de cultivo intensivo con biofloc y nulo recambio de agua. *Revista AquaTIC*, 43, 1-13.
- Melgar, C. E., Barba, E., Álvarez-González, C. A., Tovilla, C. y Sánchez, A. J. (2013). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1215-1228.
- Meneses, J. (2019). *Introducción al análisis multivariante*. Universidad Oberta de Catalunya. Barcelona, 39-43.
- Nel, L. (2014). *Estadística con SPSS 22*. Marco.
- Panigrahi, A., Sundaram, M., Saranya, C., Swain, S., Dash, R. R. y Dayal, J. S. (2019). Carbohydrate sources deferentially influence growth performances, microbial dynamics and immunomodulation in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under biofloc system. *Fish & Shellfish Immunology*, 86, 1207-1216. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.040>
- Pérez-Chabela, M. D. L., Álvarez-Cisneros, Y., Soriano-Santos, J. & Pérez-Hernández, M. A. (2020). Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una revisión. *Hidrobiológica*, 30(1), 93-105. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2020v30n1/perez>
- Rohani, M. F., Islam, S. M., Hossain, M. K., Ferdous, Z., Siddik, M. A., Nuruzzaman, M., Padeniya, U., Brown, C. y & Shahjahan, M. (2021). Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish. *Fish & Shellfish Immunology*, 120, 569-589. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.12.037>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2014). *Informe Subdelegación de Pesca del Estado de Guerrero*.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2017). *Avanza México como potencia en producción acuícola*. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/avanza-mexico-como-una-potencia-en-produccion-acuicola>
- Samocha, T. M., Patnaik, S., Speed, M., Ali, A. M., Burger, J. M., Almeida, R. V., Ayub, Z., Harisanto, M., Horowitz, A. y Brock, D. L. (2007). Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, 36(2), 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.10.004>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2021). *Mares Mexicanos*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/approot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D3_MARES/D3_R_MARES01_01.html#:~:text=La%20longitud%20de%20costa%20del,zonas%20mar%C3%ADtimas%20que%20la%20rodean
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). (2003). *Manual de Buenas Prácticas de Producción de Acuícola de Camarón para la Inocuidad Alimentaria*. <https://cesasin.mx/wp-content/uploads/2017/12/Cam-Manual-de-buenas-practicas-de-produccio%CC%8In->

acuicola-de-camaro%CC%8In-para-la-
inocuidad-alimentaria.pdf

- Tinh, T. H., Koppenol, T., Hai, T. N., Verreth, J. A. y Verdegem, M. C. (2021). Effects of carbohydrate sources on a biofloc nursery system for whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 531, e735795. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735795>
- Tong, R., Chen, W., Pan, L. y Zhang, K. (2020). Effects of feeding level and C/N ratio on water quality, growth performance, immune and antioxidant status of *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange bioflocs-based outdoor soil culture ponds. *Fish & Shellfish Immunology*, 101, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.03.051>
- Valenzuela, W., Rodríguez, G. y Esparza, H. M. (2010). Cultivo intensivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (boone) en agua de pozo de baja salinidad como alternativa acuícola para zonas de alta marginación. *Ra Ximhai*, 6(1), 1-8.
- Valenzuela-Madrigal, I. E., Valenzuela-Quiñónez, W., Esparza-Leal, H. M., Rodríguez-Quiroz, G. and Aragón-Noriega, E. A. (2017). Effects of ionic composition on growth and survival of white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture at low-salinity well water. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(1), 103-112. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572017000100008>
- Van, P. & Scarpa, J. (1999). *Water quality requirements and management*. Chapter 8. In: Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems, Van Wyk, P.; Davis, M.; Laramore, R.; Main, K.; Mountain, J.; Scarpa, J. (Eds). *Harbor Branch Oceanographic Institution*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Florida, Pp 141-162.
- Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. (2022). *Diagnóstico de la acuicultura en México*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. México.
- Wickins, J. y Lee, D. y (2008). *Crustacean farming: ranching and culture*. Blackwell Sci. Publ., Oxford, U.K., 392 p.

CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL Y SITUACIÓN DE LOS RESIDUOS DE PESCADO EN PUERTO ÁNGEL, OAXACA

NUTRITIONAL CHARACTERIZATION AND FISH WASTE CONDITION IN PUERTO ANGEL, OAXACA

¹Ana María Hernández-Medina , ^{1S}María Isabel Pérez-León , ²Jorge Hernández-Bautista , ¹Gerardo Rodríguez-Ortiz , ¹Rodolfo Benigno De los Santos-Romero , ²Héctor Maximino Rodríguez-Magadán 

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán-Oaxaca. México. ²Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Oaxaca de Juárez-Oaxaca. México. [§]Autor de correspondencia: (leonisa70@hotmail.com).

RESUMEN

El proceso de obtención de filetes de pescado genera 60 % de residuos orgánicos y representa un problema de contaminación ambiental. El objetivo fue determinar el volumen, la problemática y el contenido nutrimental de residuos de pescadería que se generan en Puerto Ángel, Oaxaca. Para estimar la cantidad de residuos se aplicaron 60 encuestas mediante muestreo estratificado a la población beneficiada con la pesca ribereña (pescadores, fileteros, restauranteros y comercializadores). A los datos se les aplicaron las pruebas de Mann-Withney y Kruskal-Wallis. Los datos de proteína, materia seca, cenizas y grasa se sometieron a un ANOVA, considerando como efecto fijo la especie (atún, vela y dorado). Las principales especies capturadas y fileteadas fueron atún, dorado y pez vela y sus residuos son desechados al mar o vertidos a cielo abierto; no obstante, los fileteros y comercializadores pagan para deshacerse de los mismos, lo que representa aproximadamente 38 t mensuales de residuos con características nutricionales importantes que no se están aprovechando. Los residuos de atún fueron los que mostraron los mayores ($p \leq 0.05$) promedios de materia seca (34.96 %) y proteína (68.42 %) y los menores promedios de grasa (6.54 %) y cenizas (10.91 %). Los residuos de pescado en Puerto Ángel representan un volumen importante, al ser desechados al mar (vísceras, cabezas, esqueletos, pieles) generan un foco de contaminación en el agua y las playas; no obstante, por sus características nutrimentales es factible su

procesamiento para utilizarlo como insumo alimenticio o fertilizante orgánico.

Palabras clave: atún, desechos, dorado, pez vela, proteína.

ABSTRACT

The process of obtaining fish fillets generates 60 % of organic waste, which represents socio-environmental problems. The objective was to determine the volume, problems and nutritional content of fishery waste generated in Puerto Ángel, Oaxaca. In order to estimate the waste amount, 60 surveys were applied through stratified sampling to the population benefited by coastal fishing (fishermen, filleters, restaurateurs and marketers). The Mann-Withney and Kruskal-Wallis tests were applied to the data. The data on protein, dry matter, ash and fat were subjected to an ANOVA, considering the species (tuna, sailfish and dorado) as a fixed effect. The main species captured and filleted were tuna, dorado and sailfish and their waste is discarded at sea or dumped in the open air; however, filleters and marketers pay to dispose of it, which represents approximately 38 t per month of waste with important nutritional characteristics that are not being used. Tuna waste showed the highest ($p \leq 0.05$) averages of dry matter (34.96 %) and protein (68.42 %) and the lowest averages of fat (6.54 %) and ash (10.91 %). Fish waste in Puerto Angel represents a significant volume, as when discarded at sea (viscera, heads, skeletons, skins) it becomes a source of beach pollution, as it tends to return to the beaches;

however, due to its nutritional properties, it can be processed for potential uses as animal feed or organic fertilizer.

Index words: tuna, waste, dorado, sailfish, protein.

INTRODUCCIÓN

Según datos de la FAO (2024) la producción de pesca mundial fue de 92.3 millones de toneladas en 2022, donde México representó el 2.1 % (1 959 000 t) de la producción; y Oaxaca participó con 8 256 t (CONAPESCA, 2023). La pesca artesanal, en Oaxaca, es una actividad realizada por pequeños grupos de pescadores, usando botes o embarcaciones menores y curricán (señuelo) o palangre (línea con cordeles más pequeños y anzuelos en los extremos), los cuales son sujetos y arrastrados por la embarcación, así también se practica la pesca con redes de enmalle, a diferencia de la pesca con arrastre donde embarcaciones mayores remolcan las redes en el fondo del mar capturando gran variedad de especies comerciales y no comerciales (SAGARPA, 2014; Fernández et al., 2011).

El procesamiento y comercialización de pescados, constituye una fuente vital de alimentos y de empleos; además fomenta el desarrollo de nuevas tecnologías, procesos y el bienestar económico-social de la comunidad; ante tales ventajas es necesario que generaciones, presentes y futuras, realicen la actividad de manera responsable (FAO, 1995). A pesar de que la pesca artesanal es una alternativa sustentable (Martínez-González y Corgos-López-Prado, 2014; Puig et al., 2010; García-Allut, 2003), en ocasiones los residuos de pescadería que se generan no se manejan adecuadamente ya que les resulta más fácil desecharlos al mar (Banegas et al., 2018) o tirarlos al aire libre, afectando de manera indirecta al medio ambiente; sin embargo, estos residuos al ser procesados pueden utilizarse en raciones alimenticias para animales o en la fertilización del suelo (Ennouali et al., 2006).

En el proceso de obtención de filetes se generan alrededor de 60 % de residuos orgánicos: cabezas, vísceras, esqueletos, piel, aletas (Olsen et al., 2014); los cuales a nivel mundial en 2009 representaron aproximadamente 27 millones de toneladas anuales (FAO, 2010). Por otra parte, la FAO (2016) indica que algunos de los subproductos o residuos pesqueros no se comercializan debido a la escasa aceptación por los consumidores o simplemente se restringe su uso por reglamentación (NOM-161-SEMARNAT-2011) o por la falta de un plan de manejo de desecho de pescado (Jiménez et al., 2022). No obstante, Jayathilakan et al. (2012) refieren que estos residuos orgánicos de pescado tratados han tenido distintas aplicaciones, entre las más importantes destaca su utilización como alimento para animales y en la producción de biodiesel/biogás, productos dietéticos (quitosán), pigmentos naturales (después de la extracción) y cosméticos (colágeno).

El uso de los residuos de pescado en la alimentación animal (Santana-Delgado et al., 2008; Geron et al., 2007) representa una de las mejores opciones desde el punto de vista económico y de eficiencia biológica (Arteaga et al., 2022; Ferraz de Arruda et al., 2007; FAO, 1997), debido a su alto valor nutrimental (Bhattacharya et al., 2020; Ramírez-Ramírez et al., 2020; Hleap y Gutiérrez, 2017; Petenuci et al., 2008; Stevanato et al., 2008). Las harinas de pescado poseen altos niveles de proteína (del 65 % al 75 %), dependiendo de la especie de pescado con la que se elabora (Yang et al., 2020; FEDNA, 2021; Shimada, 2003; NRC, 2001; Windsor y Barlow, 1984); sin embargo, Cabello et al. (2013) mencionan que las harinas que provienen de desperdicios de pescado contienen baja concentración de proteína, debido a que en su mayoría incluyen, en diferentes proporciones, vísceras, espinazos, escamas, pieles y/o aletas. Podemos apreciar que el pescado no comercial y los desperdicios de pescado (factibles de ser utilizados debido al contenido nutrimental que poseen) al ser desechados en el ambiente representan un foco de contaminación

(Bhattacharya et al., 2020), que incluso, afecta negativamente al sector turismo (Banegas et al., 2018; Ferraz de Arruda et al., 2007; Ennouali et al., 2006).

En distintas zonas pesqueras, como es el caso de Puerto Ángel, Oaxaca, los residuos orgánicos de pescaderías son desechados en los cuerpos de agua y en el suelo principalmente (Banegas et al., 2018), por ello, es importante que se determine el volumen de residuos de pescado que se genera y se desarrollen propuestas viables para el aprovechamiento. El objetivo del presente estudio fue determinar el volumen y contenido nutrimental de los residuos de pescadería que se generan en Puerto Ángel, Oaxaca, bajo la hipótesis de que existe una cantidad importante de residuos con un nivel nutrimental potencial de ser utilizados en la alimentación animal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Con el fin de establecer una línea base sobre la actividad pesquera y sus subproductos, en 2018 se llevó a cabo un levantamiento de información en Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca (15°66'27" LN, 96°49'03" LO). Este proceso incluyó encuestas para estimar el volumen y las especies capturadas, además de la toma de muestras y análisis de los residuos derivados. El entorno de estudio se caracteriza por un clima cálido subhúmedo Aw (García, 2004) según Köppen, con un régimen de precipitación concentrado en el periodo estival, una temperatura media de 33 °C y una humedad relativa del 66 % (INEGI, 2019).

Muestreo de encuestas

En el presente estudio se refiere como pescadores a las personas que se dedican principalmente a extraer pescado. Los fileteros son todos aquellos individuos que realizan al despique de pescado; por lo tanto, su actividad se enfoca en la compra de pescado fresco exclusivo para fileteo y la venta del producto dentro de la zona y sus alrededores. Se define como restaurantero a toda aquella persona que es poseedor de un restaurante y que ofrece

platillos derivados de productos pesqueros; por último, son comercializadores las personas que se dedican a la compra, fileteo y venta de productos pesqueros dentro de la zona; así como a la exportación estatal y nacional del producto entero fresco.

Se realizó un muestreo estratificado aleatorio proporcional al tamaño del estrato (rol de las personas) para determinar el volumen y tipo de pescado que normalmente se captura, así como la problemática que enfrentan para deshacerse de los residuos, agrupando los problemas en ambientales, económicos y ninguno, esto en función de las respuestas en la encuesta aplicada; para esto se contó con la participación de 51 pescadores, 2 fileteros, 5 restauranteros y 2 comercializadores. En la determinación del tamaño de muestra ($n = 60$), el error estándar de la media estratificada fue de 1.34, con un error de muestreo de 3.20 %, a una precisión de 1.78 y un intervalo de confianza de 39.37 % a 44.66 %.

Análisis proximal de los residuos de pescadería

Los análisis nutrimentales se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. A partir de los datos obtenidos de las encuestas, los residuos de pescado que se colectaron fueron de las siguientes especies: pez vela (*Istiophorus platypterus*, Shaw, 1792), atún (*Thunnus albacares*, Bonnaterre, 1788) y dorado (*Coryphaena hippurus*, Linnaeus, 1758), obtenidos en fresco de expendios dedicados al fileteado y comercialización. El análisis proximal se realizó bajo las normas oficiales mexicanas y los métodos AOAC (1990); se utilizó una balanza analítica con capacidad 300 ± 0.01 g marca Velab, modelo VE-303 para el pesaje de muestras.

Materia seca: se consultó la Norma Mexicana NMX-F-083-1986, con el método de secado a 80 °C por 48 h, con estufa marca Felisa modelo FE-I43, posteriormente a temperatura de 95 a 105 °C por 12 h en estufa marca Riossa, modelo E-71.

Cenizas: se empleó el método AOAC (1990), que considera la calcinación completa de la materia orgánica a 550 °C durante 4 h en una mufla marca Lindberg, modelo 51894, antes de llevar las muestras a la mufla se determinó peso base seco en una estufa marca Riossa, modelo E-71 a 80 °C por 12 h.

Grasa: se analizó bajo la NMX-F-089-S-1978, método Soxhlet, utilizando un equipo de extracción Soxhlet (refrigerante y trompeta), bomba de agua semisumergible marca GB. Modelo LP-9W, agitador termostático magnético modelo HJ-4B a 60 °C durante 4 a 7 h y estufa marca Felisa, modelo FE-I43 a 100 °C por 12 h.

Proteína cruda: determinada bajo la NMX-F-068-S-1980 y la NMX-BB-014-1973, usando el método Kjeldahl que consiste en digestión de la muestra con ácido sulfúrico y un catalizador, constituido de tres fases: digestión; con equipo FOSS Tecator Digestor 2508, serial 918004543, Scrubber 250I, serial 91801407, destilación; Kjelteltec 8200, serial 91798091 y titulación; con ácido sulfúrico al 0.01 N, usando una bureta manual.

Análisis de datos

Los datos obtenidos se procesaron con el paquete SAS (SAS, 2015); para determinar el volumen de residuos que se genera en Puerto Ángel, se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas; Shapiro-Wilk (*PROC UNIVARIATE*) y Barlett (*PROC GLM*), respectivamente. Posteriormente se trabajaron pruebas de bondad de ajuste de χ^2 , Mann-Withney, Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$).

En contenido nutrimental, las variables materia seca, extracto etéreo y proteína cruda fueron transformadas a *arco tangente* (x) para cumplir los supuestos de normalidad y homogeneidad; los contenidos nutrimentales de las especies de pescado se diferenciaron mediante el modelo general lineal (*GLM*) y prueba de medias (Tukey, 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la comunidad de Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca utilizan como principales herramientas de pesca el curricán y el palangre (localmente conocido como cimbra) de fondo y flotante, lanchas pequeñas de fibra de vidrio de 7 a 10 m de eslora, con capacidad de 1 a 1.5 t equipadas con motor fuera de borda, forman grupos de tres a cinco personas por embarcación, por lo anterior, la actividad se puede catalogar como pesca artesanal. Esta aseveración coincide con lo reportado por Cerdaneres-Ladrón de Guevara et al. (2012), quienes indican que, en la pesca artesanal, en Puerto Ángel, Oaxaca, utilizan embarcaciones pequeñas de 7.61 a 10.33 m de eslora, donde participan de dos a cuatro pescadores que usan equipo construido de manera artesanal (curricán, palangre modificado (cimbres) y sin ayudas mecánicas. Así también, Martínez-González y Corgos-López-Prado (2014) refieren que la pesca artesanal en Jalisco sobresale por las embarcaciones pequeñas, trabajan hasta 3 personas por embarcación y hay pesca selectiva en las capturas (sustraen hasta veinte veces menos especies acompañantes).

Las especies capturadas en mayor cantidad en Puerto Ángel son: tiburón (*Carcharhinus falciformis*, Müller y Henle, 1839), pez vela (*Istiophorus platypterus*), atún (*Thunnus albacares*) y dorado (*Coryphaena hippurus*) (Figura I). El tiburón normalmente es exportado a otros estados de la República, y las demás especies se comercializan en puntos de venta local y estatal. Lo anterior coincide con lo reportado por Rodiles-Hernández et al. (2024), quienes indican que las especies más abundantes que se capturan en Puerto Ángel son los pelágicos mayores, incluyendo especies tales como tiburón, pez vela, dorado y atún aleta amarilla y que la comercialización es local, estatal y nacional. Los valores en volumen de pesca de las especies mencionadas en el presente estudio difieren a lo reportado por CONAPESCA (2018); sin embargo, cabe recalcar que el volumen de pesca extractiva es variable entre especies mostrando

altas y bajas a lo largo del tiempo. A continuación, se hace una comparación de cifras expresadas en toneladas anuales, el primer dato corresponde al presente estudio realizado en 2018 y la segunda cifra es reportada por CONAPESCA para ese mismo año: reportando 1,215 y 3,140 para tiburón y cazón, 736.2 y 3008 para túnidos, 87.6 y 1,439 para huachinango, 650 de pez vela y 571.5 de dorado, para el caso de las dos últimas especies CONAPESCA no reporta datos. Es importante mencionar que los resultados de la presente investigación, corresponden a la zona de Puerto Ángel; por lo tanto, es normal que difieran de los reportes estatales, donde se consideran todas las zonas pesqueras de la entidad (CONAPESCA, 2023).

El producto de la pesca lo ofertan en la playa a personas dedicadas a la venta de pescado asado (conocidas como bandejeras o asadoras), público en general, fileteros y comercializadores. Ruiz y Madrid (1997) reportan que, en México, en los sistemas de pesca artesanal localizados en Mazatlán Sinaloa y en la Bahía Bufadero en Michoacán, la comercialización de la pesca suele

realizarse en la playa, directamente a consumidores, restauranteros y comerciantes locales.

Los datos de las encuestas arrojaron que el pez vela constituye un 19.69 % de las capturas, siendo la segunda especie, después del tiburón, que más se extrae en Puerto Ángel, dato similar fue reportado por Cerdanarés-Ladrón de Guevara (2012) para el periodo 2005 a 2008, indicando que la especie se posicionó en segundo lugar con cerca del 20 % de las capturas en Puerto Ángel.

La pesca en Puerto Ángel se realiza durante todo el año, independientemente de la temporada de veda (mayo a agosto). Sin embargo, durante la veda el volumen de pesca se reduce, por el contrario, el tiburón solo se extrae en época de no veda (**Figura I**). Los pescadores argumentan que no se permiten dejar de pescar al representar esta actividad el sustento para su familia, es así que mencionan que en épocas de veda se dedican a capturar diferentes especies que no se encuentran en restricción, además su permiso de pesca ampara el 10 % de pesca incidental.

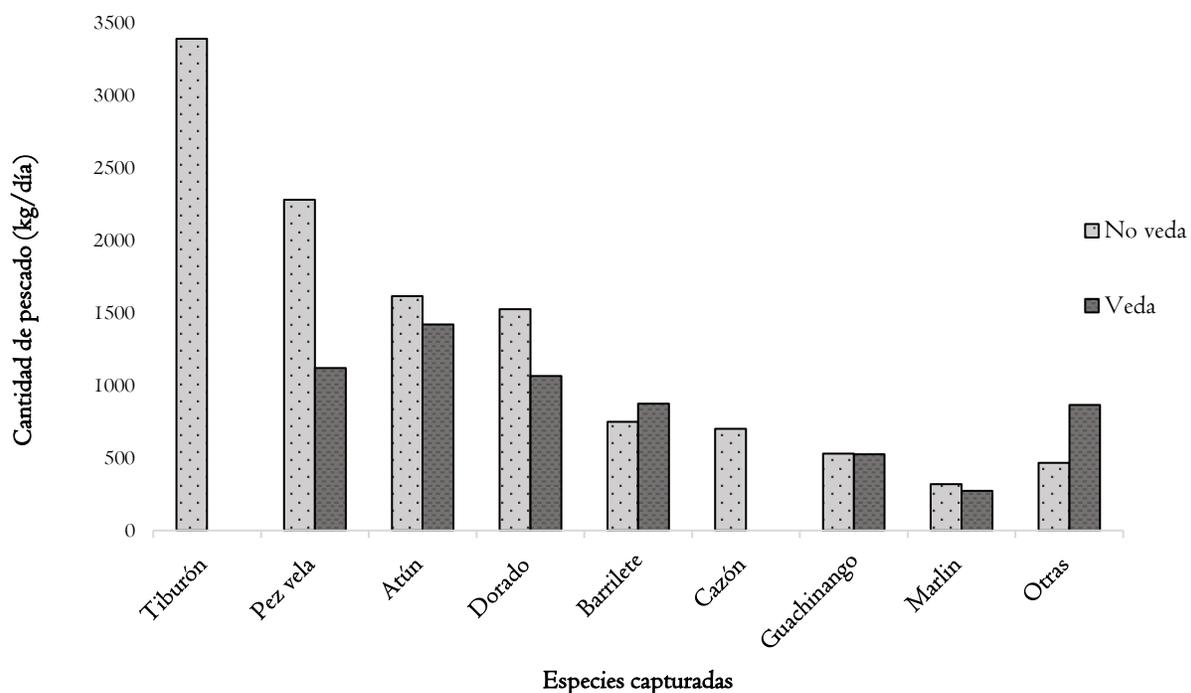


Figura I. Especies de pescado que se capturan por época en Puerto Ángel, Oaxaca.

Así también se pescan en menor cantidad y durante todo el año, otras especies como: huachinango (*Lutjanus campechanus*, Poey, 1860), barrilete (*Euthynnus lineatus*, Kishinouye, 1920), marlin (*Makaira nigricans*, Lacepède, 1802), salmonete (*Xenichthys xanti*, Gill, 1863), botete (*Sphoeroides testudineus*, Linnaeus, 1758), agujón (*Tylosurus acus pacificus*, Steindachner, 1876), pargo (*Lutjanus argentiventris*, Peters, 1869), palometa (*Trachinotus rhodopus*, Gill, 1863) sierra (*Scomberomorus sierra*, Jordan, 1895), medregal (*Seriola* spp.), cocinero (*Caranx caballus*, Günther, 1868), jurel (*Caranx caninus* Günther, 1867), por mencionar algunos. Estas especies generalmente se ponen a la venta como pescados enteros dentro y fuera de la zona, esta condición permite solo el desecho de vísceras, por lo tanto, se generan pequeñas cantidades de residuos en lo que a estas especies se refiere.

En otro sentido, de las principales especies capturadas existen cantidades importantes de residuos, en su mayoría, son generados por los fileteros, quienes predominan en Puerto Ángel, cada filetero desecha en promedio 75 kg por día. Los comercializadores desechan en promedio 95 kg por día, los restauranteros producen volúmenes relativamente bajos (3 kg).

Las personas involucradas en las actividades pesqueras en Puerto Ángel, Oaxaca indican que los problemas que se presentan al desechos los residuos de pescado son de índole económico y ambiental (**Tabla I**). Fileteros y comercializadores mencionan que pagan para deshacerse de los residuos un promedio diario de 4.16 y 5.37 USD, respectivamente. También señalan que las personas que se llevan los residuos los desechan al mar, el cual es el principal vertedero de los desechos (vísceras, cabezas, esqueletos, pieles, aletas, escamas) del procesamiento que se realiza en pescaderías de la zona. En el caso de los restauranteros, comentan que los residuos de pescado al ser desechados en el mar traen como consecuencia que aparezcan en las playas algunos desechos de pescado que generan malos olores, y afecta al turismo. Se estimó, que los residuos de

pescado que se generan en Puerto Ángel representan un volumen de 1.275 t diariamente que no son aprovechados y son desechados al mar.

La sostenibilidad ambiental se ha convertido en una preocupación creciente, los compradores y consumidores de productos del mar desempeñan un papel importante al exigir cada vez más productos obtenidos bajo un esquema de responsabilidad social y ambiental. (Boyd et al., 2020). La meta 14.4 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) regula las actividades pesqueras (Naciones Unidas, 2018), además promueve la conservación y uso sostenible de los océanos. Por lo que la intención del estudio es determinar la cantidad de residuos de pescadería y contenido nutrimental con la finalidad de identificar estrategias de aprovechamiento de los mismos, de tal forma que puedan generarse ingresos y reducir la contaminación en zonas pesqueras.

El 89.27 % de los pescadores consideran un problema los desechos de pescado porque contaminan el agua, suelo, aire y la playa, además refieren que tal situación refleja un efecto negativo en el turismo. Un caso similar a lo reportado en un estudio en la Provincia de Manabí-Ecuador, donde tiene un efecto en la contaminación ambiental y de manera específica, el aire y el agua de la Playa del Cantón Puerto López, teniendo a su vez un impacto negativo en el turismo (Osejos et al., 2017). El 10.27 % de los entrevistados argumentan que verter los residuos en el mar no representa un problema, ya que se convierte en comida para peces y aves. Sin embargo, es preciso buscar alternativas de aprovechamiento de los residuos que se generan en Puerto Ángel, ya que representan aproximadamente 38 t mensualmente de residuos con características nutricionales importantes que no se están aprovechando, Leyva et al. (2010) reportan un caso similar en el municipio de Boyamo, Cuba donde se producen mensualmente 43.8 t de residuos de dos especies de pescado y así mismo proponen alternativas de aprovechamiento para incluirlos en la alimentación de aves, cerdos y peces.

Tabla I. Implicaciones y destino de los residuos de pescado en Puerto Ángel, Oaxaca.

Grupo	Tipo de problema para deshacerse de residuos			Paga por deshacerse de residuos		Destino de los residuos	
	Ambiental	Económica	Ninguna	Si	No	Mar	Entierran
Pescadores						46 (86.79)	
Fileteros		2 (25)		2 (25)		2 (3.77)	
Restauranteros	3 (37.5)		1 (12.5)		4(50)	2 (3.77)	1 (1.89)
Comercializadores		2 (25)		2 (25)		2 (3.77)	
Valor y significancia	$\chi^2 = 8.0$ $p = 0.0916$			$\chi^2 = 8.0$ $p = 0.0183$		$\chi^2 = 16.98$ $p = 0.0007$	

Valores indican frecuencia absoluta (frecuencia relativa porcentual), n = 60. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta, 2018.

Contenido nutrimental de los residuos de pescado

El análisis proximal mostró que el nivel nutrimental de los residuos de pescadería que incluyen cabezas, esqueletos, pieles (**Tabla 2**) fue diferente entre las especies ($p \leq 0.05$); los residuos del atún presentaron un nivel proteico superior respecto a los del dorado y en mayor proporción cuando se comparó con los del pez vela, 10.4 y 15%, respectivamente; por el contrario, cuando se trata de fracción de grasa los residuos del pez vela presentaron mayor cantidad (13.91 %) con una diferencia del 7 % respecto a los del dorado y del atún, siendo este último la especie que contiene el menor nivel de grasa en sus residuos. Los valores promedio de PC y grasa de los residuos de pescado en Puerto Ángel fueron superiores a los reportados por Cabello et al. (2013) de 51.93 % y 8.80 % respectivamente, en harinas de residuos de diferentes empresas procesadoras de conservas de atún y sardina en la región Nororiental de Venezuela. El nivel promedio de proteína en residuos (dorado, pez vela y atún) en el presente estudio fue similar a lo reportado por Llanes et al. (2011) quienes obtuvieron 60.22 % de contenido proteico en residuos frescos de diferentes especies de pescado que se comercializan en la Feria Pinto de Temuco, Chile, no obstante, este nivel de proteína difiere cuando se compara solo con residuos de atún (68.42 %).

Respecto al porcentaje de cenizas no fue estadísticamente diferente entre los residuos del dorado y del atún; sin embargo, los promedios son distintos al obtenido en los del pez vela, que presentó el porcentaje más alto de cenizas con 13.45 %. El contenido de cenizas en el presente estudio fue un 47 % inferior con lo reportado por Cabello et al. (2013) con 25.46 %, sin embargo, es importante mencionar que datos aquí reportados corresponden a residuos sin adición de sustancia alguna y sin ningún tipo de procesamiento. Estas diferencias pueden deberse a las especies, el volumen incluido, la época, sexo, edad y alimentación (Eslava, 2009; Vidotti et al. 2002).

Los promedios de materia seca, mostraron diferencia ($p \leq 0.05$) entre los residuos de las especies atún y pez vela, los promedios obtenidos en los de la especie dorado fueron similares ($p \leq 0.05$) respecto a las especies ya mencionadas.

David-Ruales et al. (2014) evaluaron residuos (carcasas y vísceras) de trucha arco iris en un municipio de Antioquia, Colombia, donde se generan grandes cantidades de desechos que en ocasiones no son aprovechados y se convierten en contaminantes, por lo que se establecieron técnicas de extracción de aceite, a partir de estas técnicas se reportan en los residuos los siguientes valores

Tabla 2. Niveles nutrimentales de residuos de tres especies de pescado.

Variable	Especie			Prob.	CV (%)
	Atún (%)	Dorado (%)	Vela (%)		
Proteína cruda	68.42 ±0.36 ^a	58.04 ±0.49 ^b	53.35 ±0.04 ^c	<.0001	1.1
Grasa	6.54 ±0.04 ^b	7.73 ±0.05 ^b	13.91 ±1.02 ^a	<.0001	12.6
Cenizas	10.91 ±0.20 ^b	11.64 ±0.36 ^b	13.45 ±0.47 ^a	0.0024	6.1
Materia seca	34.96 ±0.05 ^a	34.83 ±0.40 ^{ab}	33.87 ±0.12 ^b	0.0236	0.5

CV = coeficiente de variación. Medias con letras distintas en una misma hilera son estadísticamente diferentes, ± (error estándar) (Tukey, $p \leq 0.05$).

nutrimentales: humedad 2.1 %, grasa 34.2 %, cenizas 17.3 % y proteína 17.2 % en base seca, dichos niveles difieren de los valores reportados en la presente investigación, particularmente con los niveles de grasa, que pudo deberse a las vísceras que no fueron incluidas en la presente investigación.

En un estudio realizado por Holguín et al. (2009) reportaron niveles de 38.88 %, 48.37 % y 13.55 % para PC, grasa y cenizas en residuos (vísceras, branquias y escamas) de distintas especies, en proporciones similares de cada especie y partes orgánicas: bagre (*Pseudoplatystoma fasciatum*, Linnaeus, 1766), trucha (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) y capaz (*Pimelodus grosskopfii*, Steindachner, 1879), obtenidas en la Plaza de las Flores de la Central de Abastos de Bogotá, Colombia, estas diferencias pueden explicarse por el tipo de pescado y componentes que se utilizaron, además de someter los residuos a cocción (70 °C) durante 20 min. Valores de 14.63 % PC, 3.42 % grasa y 6.26 % cenizas fueron reportados por Toledo y Llanes (2006) en desechos frescos del fileteado de tilapia (cabezas, espinas, cola, piel y vísceras en menor proporción) en la Provincia de La Habana, Cuba, estas divergencias pueden estar implicadas en la especie de pescado que se utilizó.

Así mismo Viglezzi (2011) realizó un estudio con residuos de carpa (*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) obteniendo niveles de 77.48 %, 12.30 %, 1.28 % y 7.73 % para humedad, proteína, grasa y cenizas, respectivamente. Niveles inferiores al 3 % de grasa son reportados para especies consideradas como magras, siendo el caso de la carpa que en diversos estudios ha sido reportada con promedios menores al 2 % de grasa (Tiwo et al., 2018; Soto-Simental, 2016; Guler et al., 2008). Los residuos de pescado en estudio corresponden a especies no consideradas como magra por lo tanto contienen niveles intermedios de grasa, el contenido de grasa tiene influencia directa en la calidad del producto final, es así que un alto (más del 13 %) nivel de este nutrimento puede reducir el tiempo de vida de anaquel, debido a que se enrancian con facilidad (Cabello et al., 2013). Barrera et al. (2023) indican el contenido de proteína (23.61%) en residuos de pescado crudo (espinazos, aletas, cabeza y piel) y García-Sifuentes et al (2020) realizaron la caracterización composicional de biomasa residual en una industria que recibe subproductos (esqueletos, cabezas, colas y parte de músculo oscuro cocidos) derivados del enlatado de atún, reportando que en el mes de marzo esta biomasa contiene 8.01, 6.45 y 63.4 de cenizas, lípidos y humedad, respectivamente. Estos resultados son similares a los de este trabajo, a excepción del nivel

de proteína donde fue mayor el contenido (68.42 vs. 18.83%) lo cual puede deberse al mayor contenido de piel y músculo en las muestras.

Frente a la magnitud de divergencias que se han reportado, se afirma que esta depende de distintos factores: tipo de pescado, tipo de residuos, procesamiento, sexo y estación del año (Vidotti et al., 2002; Eslava, 2009). Nazrul y Razzaq (2005) reportaron diferencias en contenido nutrimental de pescado *Glossogius giurís*, Hamilton, 1822 referente a la época del año y sexo de la misma especie, encontrando que los machos presentaron el nivel más alto de lípidos en marzo con 1.52 % respecto a hembras que presentaron 1.82 % en febrero y el menor contenido en agosto para machos fue de 0.95 % y 1.06 % para hembras en el mes de junio, en cuanto al nivel proteico observaron que los niveles más altos fueron de 16.03 % en agosto y 15.56 % en noviembre y los mínimos de 14.09 en febrero y 13.88 % en febrero para machos y hembras, respectivamente.

CONCLUSIONES

En Puerto Ángel, Oaxaca al día se regresan al mar 1.275 t de residuos de pescado (atún, dorado y pez vela, entre muchos otros) que son factibles de ser aprovechados, mediante su transformación en harinas para el consumo animal o como fertilizante orgánico. Tal propuesta se sustenta a partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, estableciendo que los residuos de atún, dorado y pez vela presentan altos valores nutrimentales.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México por las facilidades otorgadas en la formación de Maestros en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas, mismo donde se desarrolló la presente investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAHCYT, número de becario: 482148) por el apoyo brindado durante la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- Arteaga, M., Merchán, D., Mendoza, L. & Ochoa, M. (2022). Residuos de pescado: Impacto ambiental y utilización. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 6(42), 445-452.
<https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss42.2022pp445-452>
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). In: Animal Feed. Agricultural Chemicals; Contaminants; Drugs. *Official methods of analysis*. Ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc. 15th Ed. Arlington, Virginia 22201, USA. Vol I, pp 69-84.
- Banegas, V. G., Cortés, P. E. y Fosado, T. O. (2018). Plan de manejo de residuos de pescado para el Puerto Pesquero Artesanal de Coquimbo. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 19, 91-114.
- Bhattacharya, A., Chowdhury S., Iqbal A., Murmu P. & Nath S. 2022. Fish processing wastes: Environmental impacts and mitigation measures. *Indian Journal Animal Health*, 6(2), 67-82.
<https://doi.org/10.36062/ijah.2022.spl.022.22>
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, L. M. J., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso Jr, J. R., Tucker, C.S. and Valenti, W.C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578-633.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- Cabello, A., García, A., Figuera, B., Higuera, Y. y Vallenilla, O. (2013). Calidad físico-química de la harina de pescado venezolana. *Saber, Universidad de Oriente, Venezuela*, 25(4), 414-422.
- Cerdenares-Ladrón de Guevara, G., Morales-Bojórquez, E., Ramos-Carillo, S. y González-Medina, G. (2012). Variabilidad de la

- abundancia relativa y talla promedio del pez vela *Istiophorus platypterus* capturado por la flota artesanal en el Golfo de Tehuantepec, México. *Ciencias Marinas*, 38(3), 551-562. <https://doi.org/10.7773/cm.v38i3.2066>
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca). (2016). Información estadística por especie y entidad. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion_estadistica_por_especie_y_entidad
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca). (2023). Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2023. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2023/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2023.pdf
- David-Ruales, C.A., Torres-Toro, C., Hincapié-Ávila, S. y Londoño-Londoño, J. (2014). Aprovechamiento de residuos de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*: uso de tecnologías limpias para la extracción de aceite. *Orinoquia*, 18 (Suplemento I), 294-299.
- Ennouali, M., Elmoualdi, L., Labioui, H., Ouhsine, M. and Elyachoui, M. (2006). Biotransformation of the fish waste by fermentation. *African Journal of Biotechnology*, 5(19), 1733-1737.
- Eslava, P.E. (2009). Estimación del rendimiento y valor nutricional del besote *Joturus pichardi* Poey, 1986 (Pisces: Mugilidae). *Revista MVZ Córdoba*, 14(1), 1576-1586.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1995). Código de conducta para la pesca responsable. Roma, Italia, 46 pp. <https://www.fao.org/4/v9878e/v9878e00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1997). Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal. Memorias. Taller regional Instituto de Investigaciones Porcinas y la FAO. La Habana, Cuba. pp. 1-64.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2010). The State of World Fisheries and Aquaculture. Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, 197 pp. <https://www.fao.org/4/i1820e/i1820e00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2014). El estado mundial de la pesca y acuicultura. Retos y desafíos. Roma. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b0985f6e-5b32-4fef-b03b-68bc488707e5/content>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, 224 pp. <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2024). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. Parte I. Análisis mundial. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f93e199d-7cba-48ff-a8aa-4b514e226512/content/sofia/2024/world-fisheries-aquaculture.html>
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). (2021). Ingredientes para piensos. Concentrados de proteína animal. Harina de pescado. https://fundacionfedna.org/ingredientes_para_pensos/harina-de-pescado-59921
- Fernández, J. I., Álvarez-Torres, P., Arreguín-Sánchez, F., López-Lemus, L. G., Ponce, G., Díaz-de-León, A., Arcos-Huitrón, E. y del Monte-Luna, P. (2011). *Coastal fisheries of Mexico*. In: S. Salas, R. Chuenpagdee, A. Charles and J.C. Seijo (eds). Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean. FAO

- Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 544. Rome, pp. 231-284.
- Ferraz de Arruda, L., Borghesi, R. and Oetterer, M. (2007). Use of Fish Waste as Silage - A Review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(5), 879-886. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000500016>
- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Allut, A. (2003). La pesca artesanal, el cambio y la patrimonialización del conocimiento. *PH* 44 (074-075). <https://doi.org/10.33349/2003.44.1567>
- García-Sifuentes, C. O., Scheuren-Acevedo, S. M. and Zamorano-Apodaca, J. C. (2020). Explorando diferentes subproductos considerados como residuos por la industria pesquera en México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 22(2), 61-69.
- Geron, L. J. V., Zeoula, L. M., Vidotti, R. M., Matsushita, M., Kazama, R., Neto, S. F. C. and Fereli, F. (2007). Chemical characterization, dry matter and crude protein ruminal degradability and *in vitro* intestinal digestion of acid and fermented silage from tilapia filleting residue. *Animal Feed Science and Technology*, 136(3-4), 226-239. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.006>
- Guler, G. O., Kiztanir, B., Aktumsek, A., Cital, O. B. and Ozparlak, H. (2008). Determination of the seasonal changes on total fatty acid composition and $\omega 3/\omega 6$ ratios of carp (*Cyprinus carpio* L.) muscle lipids in Beysehir Lake (Turkey). *Food Chemistry*, 108(2), 689-694. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.080>
- Hleap, Z. J. I. & Gutiérrez, C. C. A. (2017). Hidrolizados de pescado - producción, beneficios y nuevos avances en la industria. Una revisión. *Acta Agronómica*, 66(3), 311-322. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n3.52595>
- Holguín, M. S., Caicedo, L. A. y Veloza, L. C. (2009). Estabilidad de almacenamiento de ensilados biológicos a partir de residuos de pescado inoculados con bacterias ácido-lácticas. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 56(2), 95-104.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2019). Espacio y datos de México. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioidatos/default.aspx?ag=203240025>
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K. and Bawa, A. S. (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 278-293. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>
- Jiménez, G. del C. G., Martínez, L. L. & Martínez, M. V. (2022). Categorización de residuos de pescado para la elaboración de subproductos de valor agregado. *Revista Ingeniantes*, 1(1), 03-08.
- Leyva, C. L., Domínguez, G. J., Pérez, T. Y., Labrada, S. J. A., Revuelta, L. D. y González, S. R. (2010). Estudio comparativo de dos desechos pesqueros provenientes del municipio de Boyamo, Cuba. *Revista Científica UDO Agrícola*, 10(1), 191-122.
- Llanes, J., Bórquez, A., Alcaino, J. y Toledo, J. (2011). Composición físico-química y digestibilidad de los ensilajes de residuos pesqueros en el salmón del Atlántico (*Salmo salar*). *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 45(4), 417-422.
- Martínez-González, P. y Corgos-López-Prado, A. (2014). La pesca artesanal en Jalisco. Conflictos en torno a la conservación biocultural y la reproducción del capital. El caso de Careyitos. *Sociedad y Ambiente*, 1(4), 23-38.
- Naciones Unidas. (2018). Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. En: *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.

- <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
- Nazrul, I. and Razzaq, A. (2005). Seasonal variation of the proximate composition of freshwater gobi, *Glossogobius giurus* (Hamilton) from the River Padma. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8(4), 532-536. <http://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2005.532.536>
- NMX-BB-014-1973. Clasificación y tamaños nominales para utensilios usados en laboratorio. Normas mexicanas. Dirección General de Normas. <https://vlex.com.mx/vid/nominales-utensilios-vidrio-usados-381803330?ga=2.59387757.1343266062.1506519523-290677727.1506519523>
- NMX-F-066-S-1978. Determinación de cenizas en alimentos. Normas mexicanas. Dirección General de Normas. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-066-S-1978.PDF>
- NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo. Normas mexicanas. Dirección General de Normas. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-089-S-1978.PDF>
- NMX-F-068-S-1980. Alimentos. Determinación de proteínas. Normas mexicanas. Dirección General de Normas. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-068-S-1980.PDF>
- NMX-F-083-1986. Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios. Normas mexicanas. Dirección General de Normas. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/mexicanas/NMX-F-083-1986.PDF>
- NOM-161-SEMARNAT-2011. Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.
- <https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5286505>
- NRC (National Research Council). (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. National Academy Press. Whashington, D.C. USA, p. 381.
- Olsen, R. L., Toppe, J. and Karunasagar, L. (2014). Challenges and realistic: opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends in Food Science and Technology*, 36(2), 144-151. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.007>
- Osejos, M. A. M., Merino, M. V. C. y Merino, M. C. C. (2017). Incidencia de la pesca artesanal en la contaminación de la Playa del Cantón Puerto López, de la Provincia de Manabí-Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 20(40), 18-27. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v20i40.14385>
- Petenuci, M. E., Stevanto, F. B., Visentainer, J. E. L., Matsushita, M., Garcia, E. E., de Souza, N. E. and Visentainer, J. V. (2008). Fatty acid concentration, proximate composition, and mineral composition in fishbone flour of Nile Tilapia. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(1), 87-90.
- Puig, P., Grunwaldt, P. y González, S. (2010). Pesquería artesanal de corvina en Uruguay. *Frente Marítimo*, 21, 23-35.
- Rodiles-Hernández, S. L., Cerdaneres-Ladrón de Guevara, G., Ramos-Carrillo, S., Mayell-Maldonado, L. y Quiroz-Uría, M. (2024). La participación de la mujer en la red de producción y el valor agregado resultado de las actividades pesqueras. Un estudio de caso en Puerto Ángel, Oaxaca, México. *Ciencia Pesquera*, 32(Número especial), 33-43.
- Ruiz, L. A. y Madrid, V. J. (1997). Análisis comparativo de tres sistemas de pesca artesanal. *Región y Sociedad*, 8(13), 76-98.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2014). Plan de manejo pesquero de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) del Océano Pacífico mexicano. *Instituto Nacional de Pesca*.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial de la Federación
- Santana-Delgado, H., Ávila, E. and Sotelo, A. (2008). Preparation of silage from Spanish mackerel (*Scomberomorus maculatus*) and its evaluation in broiler diets. *Animal Feed Science and Technology*, 141(1-2), 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.023>
- SAS Institute Inc. (2015). SAS/STAT 14.1 User's Guide Statistics. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Shimada, M.A. (2003). Alimentos: su composición y cómo evaluarla. En: *Nutrición animal*. Editorial Trillas. México, pp. 26-63.
- Soto-Simental, S., Valera-Quesada, E., Hernández-Chavez, J. F., Güemes-Vera, N. y Ayala-Martínez, M. (2016). Efecto de grasa, agua añadida, carragenina y fosfatos en un producto emulsionado con carne de carpa (*Cyprinus carpio*). *Agrociencia*, 50(4), 413-427.
- Stevanato, F. B., Almeida, V. V., Matsushita, M., Oliveira, C. C., Souza, N. E. and Visentainer, J. V. (2008). Fatty acids and nutrients in the flour made from tilapia (*Oreochromis niloticus*) heads. *Food Science and Technology*, 28(2), 440-443. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000200027>
- Tiwo, C. T., Chandra, M. V., Womeni, H. M., Zambou, N. F., Ndomou, S., Tchoumboungang, F., Dzoukoua, D. A., Nayak, B. B., Anandan, R. and Pankaj, K. (2018). Effect of ice storage on the textural and rheological properties of proteins from freshwater fish, *Cyprinus carpio* (Common carp). *Fish Aqua Journal*, 9(3), 255-265. <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000255>
- Toledo, P. J. y Llanes, I. J. (2006). Estudio comparativo de los residuos de pescado ensilados por vías bioquímica y biológica. *Aqua TIC*, 25, 28-33.
- Vidotti, R. M., Carneiro, D. J. and Viegas, E. M. M. (2002). Acid and fermented silage characterization and determination of apparent digestibility coefficient of crude protein for Pacu *Piaractus mesopotamicus*. *World Aquaculture Society*, 33(1), 57-62. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00478.x>
- Windsor, M. y Barlow, S. (1984). *Introducción a los subproductos de pesquería*. Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp 209.
- Yang, X., He, Y., Chi, S., Tan, B., Lin, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H. and Zhang, S. 2020. Supplementation with *Saccharomyces cerevisiae* hydrolysate in a complex plant protein, low-fishmeal diet improves intestinal morphology, immune function and *Vibrio harveyi* disease resistance in *Epinephelus coioides*. *Aquaculture*, 529, e73565. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735655>

SISTEMAS AGROFORESTALES COMO ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN DEL SUELO: REVISIÓN DEL CASO DE GUERRERO, MÉXICO

AGROFORESTRY SYSTEMS AS A STRATEGY FOR SOIL CONSERVATION: A REVIEW OF THE CASE OF GUERRERO, MEXICO

¹Celi Gloria Calixto-Valencia^{ORCID}, ²Erickson Basave-Villalobos^{ORCID}, ³Claudia Fernández-González^{ORCID}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Iguala. Iguala, Guerrero. México. ²INIFAP. Campo experimental Valle del Guadiana. Durango. México. ³Investigadora independiente. México. [§]Autor de correspondencia: (calixto.celi@inifap.gob.mx).

RESUMEN

La degradación del suelo es una problemática crítica en el estado de Guerrero, México, que exige acciones urgentes para su mitigación y reversión mediante prácticas de manejo sostenible. La agroforestería se presenta como una estrategia viable para armonizar la producción agropecuaria con la conservación de los ecosistemas, al integrar árboles, cultivos y ganado en sistemas productivos diversificados. Este artículo de revisión examina la relevancia, experiencias, limitaciones y necesidades de investigación en torno a la agroforestería como herramienta para conservación y restauración de suelos degradados en Guerrero. A pesar del alto potencial agroecológico del estado, el apoyo institucional al establecimiento de sistemas agroforestales no ha sido suficiente, además de que la agroforestería no es una práctica extendida en la entidad. No obstante, existen ejemplos valiosos como los sistemas tradicionales de *tlacolol* y los huertos familiares, que destacan por su sostenibilidad y adaptación local. Aunque se reconocen ampliamente los beneficios ecológicos de estos sistemas, aún falta evidencia empírica y cuantitativa sobre su efectividad para recuperar la funcionalidad del suelo. La mayoría de las iniciativas agroforestales en Guerrero se orientan a la producción de subsistencia, aprovechando elementos del paisaje y conocimientos tradicionales. Programas recientes como “Sembrando Vida” ofrecen una oportunidad clave para documentar estudios de caso y generar datos concretos sobre los impactos de la agroforestería en la salud del suelo. Finalmente, se destaca la

necesidad urgente de desarrollar herramientas integradas de monitoreo y evaluación que consideren indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo. Estas permitirán comprender con mayor precisión los procesos de degradación y recuperación, así como fortalecer la toma de decisiones informada para la implementación de sistemas agroforestales más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: agroecosistemas, cambio climático, ENASAS, servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

Soil degradation is a critical issue in the state of Guerrero, Mexico, requiring urgent actions to mitigate and reverse its impacts through sustainable land management practices. Agroforestry emerges as a viable strategy to harmonize agricultural production with ecosystem conservation by integrating trees, crops, and livestock into diversified production systems. This review article explores the relevance, experiences, limitations, and research needs surrounding agroforestry as a tool for conserving and restoring degraded soils in Guerrero. Despite the state's high agroecological potential, institutional support for establishing agroforestry systems has been limited, in addition to the fact that agroforestry is not a widespread practice in the state. Nevertheless, valuable examples exist, such as traditional “*tlacolol*” systems and home gardens, which stand out for their sustainability and local adaptation. While the ecological benefits of these systems are widely acknowledged, empirical and quantitative evidence on their effectiveness in restoring soil

functionality remains scarce. Most agroforestry initiatives in Guerrero are oriented toward subsistence production, drawing on landscape elements and traditional knowledge. Recent programs such as “Sembrando Vida” present a key opportunity to document case studies and generate concrete data on the impacts of agroforestry on soil health. Finally, there is an urgent need to develop integrated monitoring and evaluation tools that include physical, chemical, and biological soil indicators. Such tools would enable a more precise understanding of degradation and recovery processes and support informed decision-making for the implementation of more efficient and sustainable agroforestry systems.

Index words: agroecosystems, climate change, ENASAS, ecosystem services.

INTRODUCCIÓN

En México, la degradación de los suelos es un problema preocupante que ha ameritado atención en la agenda nacional (ENASAS, 2022). Ejercicios de monitoreo y evaluación de la degradación realizados en el país en la última década, señalan que cerca del 64 % de los suelos del territorio nacional presentan degradación, condición acompañada de una pérdida significativa de cubierta vegetal, correspondiente al 54 % de la superficie de la nación (CONAFOR, 2013; Cotler et al., 2020). A una escala estatal, Guerrero destaca como una de las entidades federativas con mayor afectación debido a la susceptibilidad a erosión hídrica por la combinación de lluvias torrenciales u otros fenómenos climáticos extremos, topografía accidentada, tipo de suelos y deforestación; se estima que 31.8 % de la superficie del estado tiene este tipo de afectación, también con la respectiva pérdida de cobertura vegetal a una tasa acelerada (INEGI, 2017; SEMARNAT, 2003). Por su parte, Figueroa et al. (2024) mencionan que entre el 2001 y el 2018 se deforestaron 239 614 ha, cifra que corresponde a una tasa de 13 311 ha por año. Entre las causas principales de la degradación del suelo en la entidad sobresalen el sobrepastoreo,

la actividad agrícola y la deforestación (Figueroa et al., 2024; SEMARNAT, 2003) (**Figura 1**).

Ante tal situación de pérdida acelerada de cobertura vegetal y de degradación del suelo, es imperante emprender acciones para detener y revertir los procesos de degradación. Por tal motivo, en años recientes se han articulado un conjunto de estrategias para ese propósito y que han dado origen a ENASAS, que refiere según sus siglas, a la “Estrategia Nacional del Suelo para la Agricultura Sostenible” (Ortiz-García et al., 2023). Un enfoque central de dicha estrategia es promover el manejo sostenible del suelo, así como la restauración de aquellos sometidos a procesos de degradación, para garantizar su conservación y el mantenimiento de su funcionalidad.

El fomento de prácticas de producción sostenibles tanto agrícolas como ganaderas, es una de las líneas de acción de ENASAS (Ortiz-García et al., 2023). Las prácticas agropecuarias deben compatibilizar la producción con la conservación del suelo, privilegiando la integridad de sus componentes y las propiedades físico, químicas y biológicas de las que depende la salud y calidad de este complejo. Sin embargo, esta visión tiende a estar limitada por un conjunto de factores socioeconómicos, culturales y ecológicos que influyen en el manejo de los sistemas de producción, tanto a una escala de subsistencia como de alta tecnificación (Vogel et al., 2018).

Las limitaciones antes referidas inciden significativamente en regiones o estados con altos índices de marginación y pobreza, como Guerrero (CONAPO, 2023), donde la prioridad suele ser la producción de alimentos y la satisfacción de las necesidades básicas de la población. Sin embargo, estas actividades no siempre se realizan bajo esquemas sostenibles para el suelo (Ceccon, 2020, 2016) ni para otros recursos naturales (Mozo y Silva, 2022; Salgado et al., 2017). Por ello, lograr un equilibrio entre atender las necesidades básicas de la población y conservar la integridad y salud de los suelos sigue siendo un desafío complejo. A



Figura I. Pérdida de cobertura vegetal por incendios y erosión del suelo en paisajes del trópico seco en la región de Tierra Caliente en el estado de Guerrero.

pesar de ello, para el caso particular de Guerrero, la compatibilización de las prácticas de producción agropecuarias con la conservación de los ecosistemas sigue representando una oportunidad para adoptar y promover prácticas de manejo que coadyuven a la sostenibilidad de los agroecosistemas, especialmente del recurso suelo. En este contexto, la agroforestería se postula como una práctica que armoniza la producción agropecuaria con la conservación de los ecosistemas y el suelo (Kaur et al., 2023; Shi et al., 2018; Montagnini et al., 2004), aspecto en el cual Guerrero tiene un alto potencial para el impulso y establecimiento de sistemas agroforestales. Por otra parte, aunque se admiten los beneficios ambientales y ecológicos que se obtienen de los sistemas agroforestales, se carece de información que documente cuantitativamente la contribución de estos sistemas de producción en la recuperación de la funcionalidad de suelos degradados.

El presente trabajo ofrece un panorama sobre la relevancia, experiencias, limitaciones y necesidades de investigación relacionadas con la agroforestería como instrumento para la conservación y recuperación de suelos en el estado de Guerrero, México.

DESARROLLO

Importancia de la agroforestería y su relación con la conservación y recuperación de suelos

La agroforestería resalta como una opción viable para producir implementando prácticas de manejo sostenible del suelo con las que no solo se conserve este recurso, sino que también se restaure aquellos en proceso de degradación. Esta forma de uso de la tierra como refiere Somarriva (2012), integra árboles en sistemas de producción agrícola y ganadera, brindando beneficios económicos y ambientales. La agroforestería permite a los agricultores diversificar ingresos al combinar cultivos, árboles o ganado en un mismo espacio, contribuyendo a la conservación del suelo, mitigación del cambio climático y promoción de la biodiversidad. Así, impulsa la sostenibilidad a largo plazo y ofrece oportunidades económicas inmediatas con los cultivos agrícolas para quienes dependen de la agricultura (Ibrahim y Zapata, 2012).

Desde la perspectiva científica, son diversos los estudios que destacan el potencial de los enfoques agroforestales para implementar prácticas sostenibles del suelo, así como los beneficios en las propiedades de este (Kaushal et al., 2021). Se ha documentado, por ejemplo, cómo la incorporación de residuos orgánicos contribuye a mejorar la estructura del suelo gracias a que el aporte de

materia orgánica, tanto de cultivos como de árboles, afecta la estabilidad de los agregados y modifica la densidad aparente (Kaur et al., 2023). Estos cambios en las propiedades del suelo inciden positivamente en la recirculación de nutrientes y en la infiltración de agua (Koryś et al., 2021; Gageler et al., 2014), las cuales son condiciones que en conjunto favorecen el establecimiento, desarrollo y crecimiento de las plantas (Fahad et al., 2022). Para el caso del componente forestal en particular, existe evidencia científica que ratifica el potencial biológico de la cobertura arbórea de incorporar materia orgánica en el suelo (Xu et al., 2024), independientemente de que las tasas de producción y acumulación de dicho material en el suelo, por caída de hojarasca u otros residuos orgánicos, suelen variar entre especies o entornos naturales (González-Rodríguez et al., 2019; Ceccon et al., 2015; Haase y Jacobs, 2013).

Por ejemplo, Ceccon et al. (2015) examinaron los patrones de producción, calidad y descomposición de hojarasca de cuatro especies nativas del bosque tropical estacionalmente seco, dos de ellas de lento crecimiento (*Crescentia alata* Kunth y *Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg.) y dos de rápido crecimiento (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth). Estos autores reportan diferencias en la producción de hojarasca, siendo *P. dulce* la especie con mayores altas de producción seguida de *L. leucocephala* y finalmente *C. alata* y *E. polystachya* que tuvieron cifras similares de producción de hojarasca. De estas cuatro especies destacó *L. leucocephala* por su elevada tasa de descomposición y *P. dulce* de producción, por lo que los autores las recomiendan para usarse en trabajos de restauración de suelos y agroforestería.

Principales sistemas agroforestales practicados en Guerrero

Los esquemas agroforestales más conocidos son el cultivo en callejones, taungya, maderables como sombra de cultivos perennes, leñosas perennes dispersos en campos de cultivos anuales, bancos forrajeros de leñosas y huertos caseros. En general, estos esquemas corresponden a la clasificación

propuesta por Combe y Budowski (1997) que considera los cultivos asociados para integrarlos en sistemas: silvoagrícolas, (árboles con cultivos agrícolas), agrosilvopastoriles (árboles con cultivos agrícolas y ganadería) y silvopastoriles (árboles con ganadería). Sin embargo, cabe mencionar que los sistemas agroforestales más utilizados o preferidos por los productores son aquellos que combinan cultivos agrícolas con árboles, que es el sistema silvoagrícola, ya que existe un consenso del beneficio tanto para mejorar la productividad como para preservar el medio ambiente, aunque también se reporta que los sistemas silvopastoriles se practican de manera extendida no solo en México, sino en varios países de Latinoamérica (Murgueitio et al., 2015). Los sistemas antes referidos son fundamentales en las zonas rurales, donde los pequeños y medianos productores implementan prácticas para optimizar el uso del suelo y mantener la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos (Kaushal et al., 2021; Montagnini et al., 2004).

En México, con base en informes oficiales, durante el periodo de 2000-2010 se promovió el establecimiento o mantenimiento de plantaciones agroforestales para una superficie de 83 171.52 ha; no obstante, estas mismas fuentes reportan que solo se asignaron recursos económicos para atender el 28 % de esa superficie, a reserva de que se desconoce si efectivamente esa superficie fue atendida en su totalidad bajo los principios de la agroforestería, ya que en ese momento no se tenía definida una categoría de plantaciones agroforestales en las reglas de operación de los programas gubernamentales ejecutados (CONAFOR, 2013).

En ese periodo (2000-2010), Guerrero ocupó el 4º lugar en superficie establecida de sistemas agroforestales apoyados por CONAFOR (CONAFOR, 2013). Los sistemas agroforestales establecidos fueron los fomentados por esta comisión debido a su idoneidad para las condiciones agroecológicas y socioculturales de la entidad. Estos fueron los siguientes: taungya, cultivo en callejones, árboles en pastizales,

combinaciones de cultivos perennes con árboles y plantaciones de árboles con pastos y animales. Guerrero tiene un alto potencial para el establecimiento de sistemas agroforestales, ya que sus condiciones agroecológicas son diversas por sus variadas condiciones topográficas, geológicas y climáticas que se extienden desde zonas costeras tropicales hasta zonas montañosas templadas según refieren Figueroa et al. (2024).

Sin embargo, se tiene registro que, en la entidad, los apoyos otorgados en aquel periodo para establecer los sistemas agroforestales, únicamente se enfocaron en la región Costa Grande, concretamente en los municipios de Atoyac de Álvarez y Técpan de Galeana (CONAFOR, 2013). En general, en Atoyac de Álvarez los esquemas agroforestales consistieron en la combinación de cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King.) con cultivos de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus* spp.) y pasto (géneros y especies no reportados), mientras que en Técpan de Galeana se consideraron las combinaciones de cedro, caoba o cueramo (*Cordia*

elaegnoides A.DC.) con el cultivo de coco (*Cocos nucifera* L.).

Por otra parte, la importancia de valorar los conocimientos tradicionales para integrar e implementar adecuadamente las prácticas de manejo en los sistemas agroforestales ha sido resaltada por Moreno-Calles et al. (2014, 2013). Desde la perspectiva biocultural, estos autores destacan al *tlacolol* como uno de los sistemas agroforestales tradicionales más representativos en Guerrero (Figura 2). Este sistema tradicional consiste básicamente en prácticas de roza, tumba y quema (Moreno-Calles et al., 2013). Asimismo, Moreno-Calles et al. (2013) en su revisión clasifican al *tlacolol* como un sistema de baja intensidad de manejo con periodos de descanso largo, usualmente practicado en parcelas de terrenos montañosos de laderas pronunciadas. El aclareo de la vegetación y el uso del fuego para después sembrar los cultivos de interés, son prácticas inherentes a este sistema.



Figura 2. Paisaje en donde se muestran claros abiertos en la vegetación para establecer cultivos mediante el sistema *tlacolol*, en parajes montañosos en el estado de Guerrero.

La virtud del *tlacolol* como sistema de producción compatible con el manejo sostenible del suelo, radica en que el periodo de descanso es mayor al periodo del cultivo de los terrenos (Moreno-Calles et al., 2014, 2013). Aunado a esto, está el hecho de dejar selectivamente algunos tocones o árboles en pie con el propósito de facilitar la recuperación de la vegetación o para promover y facilitar el establecimiento de otras plantas de interés como el café (*Coffea arabica* L.) en asociaciones con árboles de alto valor de importancia como *Alnus acuminata* Kunth, *Clethra mexicana* DC. y *Myrsine juergensenii* (Mez) Ricketson & Pipoly en la Montaña de Guerrero (Silva et al., 2024). En lo que respecta al componente forestal, un número importante de especies de uso múltiple tanto arbóreas como arbustivas han sido identificadas en este sistema. Por ejemplo, las especies de árboles más utilizadas como alimento para consumo humano, forraje y que además son fijadoras de nitrógeno son *Leucaena esculenta* (DC.) Benth. y *Pithecelobium dulce*. Otras especies apreciadas porque proporcionan madera, leña, postes o frutos son *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C.Johnst., *Spondias purpurea* L. y *Psidium guajava* L., por mencionar algunos ejemplos.

Los huertos familiares o caseros son otro de los sistemas de producción agroecológica practicados

en Guerrero dentro del enfoque de la agroforestería (Figura 3). Al igual que el *tlacolol*, se ha destacado que los huertos familiares son sistemas tradicionales cuya práctica obedece a un contexto de arraigo cultural y de herencia social campesina que valora la identidad cultural con el entorno natural como una estrategia de vida familiar del medio rural (González et al., 2018; García-Flores et al., 2016).

Un estudio realizado por Jiménez-Alpizar et al. (2021) reportan que en los huertos de la región de La Montaña es común encontrar plantas silvestres y cultivadas, mayoritariamente para fines alimenticios (frutales y hortalizas), medicinales y ornamentales. En su investigación estos autores identificaron 104 especies distribuidas en 42 familias botánicas de las cuales sobresalen la Asteraceae, Lamiaceae, Rutaceae, Solanaceae y Lauraceae por concentrar un número mayor de taxones. Los resultados del estudio de Jiménez-Alpizar et al. (2021) comprueban la gran diversidad de plantas útiles en los huertos. Lo mismo sucede en comunidades rurales de la región Centro del estado en donde las principales categorías de uso de los huertos son por orden de importancia: ornamental, comestible y medicinal. En este último caso sobresale que 67 % de las especies vegetales utilizadas son silvestres (González et al., 2018).



Figura 3. Huerto casero en la comunidad de La Bajada, en el municipio de Coyuca de Catalán, Guerrero.



Figura 4. Milpa establecida en un área ribereña en la cuenca media del río Balsas en la comunidad de La Bajada, en el municipio de Coyuca de Catalán, Guerrero.



Figura 5. Esquemas agroforestales con árboles dispersos en potreros o terrenos de cultivo y cercos vivos en potreros o agostaderos en municipios con vocación ganadera de la región Tierra Caliente, Guerrero.

Asimismo, se tiene evidencia documental de la implementación de huertos en las regiones de Costa Chica y Tierra Caliente que favorecen el uso de especies frutales nativas (Ballesteros et al., 2011). Los huertos por lo general se establecen en el traspatio de la casa habitación en forma de jardín o patio. Son superficies pequeñas donde las plantas se cultivan en macetas o directamente en la tierra. También en áreas cuyas condiciones agroecológicas lo permiten, se cultiva milpa en parcelas aledañas a áreas ribereñas, arroyos o canales para garantizar humedad en el suelo o la disponibilidad de agua para riego (Figura 4).

Finalmente, otros esquemas agroforestales que comúnmente se encuentra en Guerrero son los árboles dispersos en potreros o terrenos de cultivo, cercos vivos y bancos de proteína en potreros o agostaderos, estos últimos especialmente en municipios con vocación ganadera de la región Tierra Caliente, que además comprenden comunidades circunvecinas de Michoacán y Estado de México (Figura 5). En los sistemas antes referidos se privilegia el uso de especies arbóreo-arbustivas multipropósito, representadas en su mayoría por leguminosas como *Acacia macilenta* Rose, *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd., *E. cyclocarpum*, *Haematoxylum brasiletto* H. Karts., *Havardia acatensis* Britton & Rose, *Lysiloma divaricatum* (Jacq.) Benth., *P. dulce*, *Leucaena leucocephala* (González et al., 2006). Igualmente, coexisten árboles de taxones con usos tradicionales variados como *C. elaeagnoides*, *Crescentia alata* Kunth, *Ziziphus amole* (Sessé & Moc.) M.C.Johnst., *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Mastichodendron capiri* (A. DC.) Cronquist (Olivares-Pérez et al., 2018; González et al., 2006).

Necesidades y direcciones futuras de investigación

Aunque se admiten los beneficios ambientales y ecológicos que se obtienen de los sistemas agroforestales tanto tradicionales y no tradicionales, a la par de su relevancia para implementar estrategias de restauración (Cervantes et al., 2014), se carece de información que documente cuantitativamente la contribución de

estos sistemas de producción en la recuperación de la funcionalidad de suelos degradados. En un estudio realizado por Cervantes et al. (2014), se reconoce un alto riesgo de degradación del suelo por disturbio ecológico y conflictos agrarios en comunidades indígenas del estado de Guerrero. Para revertir ese problema se establecieron sistemas agroforestales y plantaciones utilizando especies nativas del bosque tropical caducifolio.

Se asume que estos biosistemas han contribuido a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, como la formación de agregados y el contenido de materia orgánica por el desempeño en supervivencia y crecimiento de los árboles debido en parte al involucramiento de los pobladores por mantener las plantaciones o sistemas agroforestales en sus unidades familiares de producción. Y aunque los autores reportan haber hecho una caracterización biofísica del suelo, el enfoque metodológico no confirma un cambio positivo de esas propiedades del suelo, de manera que los autores recomiendan corroborar el impacto de dichas prácticas en la mejora del suelo. Por su parte, Cecon y colaboradores han realizado esfuerzos de investigación experimental en la Montaña de Guerrero en el que han evaluado el efecto de abonos verdes de *Mucuna pruriens* L. DC. en el rendimiento de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en callejones con *Calliandra houstoniana* Standl., para a su vez examinar la calidad de hojarasca de esta especie como abono (Cecon, 2020). Paralelamente, las investigaciones de este equipo de trabajo se han centrado en analizar las asociaciones de leguminosas arbóreas (*Leucaena macrophylla* subsp. *macrophylla* Benth) con cultivos de maíz. Sus resultados muestran el potencial de esta leguminosa para usarse en sistemas agroforestales gracias a su calidad de hojarasca (Cecon, 2020, 2016; Hernández-Muciño et al., 2015).

Sin embargo, pese a que estos enfoques de investigación son relevantes conforme a su planteamiento, no aportan evidencia suficiente de cómo se modifican las propiedades del suelo para indagar si hay cambios en la calidad de este

mediante estas alternativas agroecológicas de producción. Sobre este último aspecto, Kaushal et al. (2021) proponen que es fundamental medir los beneficios que aporta la conservación del suelo a través de prácticas agroforestales, incorporando estos datos en los programas de políticas públicas, de manera que los beneficios lleguen a los actores que implementan estas tecnologías. Para lograr esto, es imperante desarrollar herramientas de monitoreo y evaluación que integren indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo para estudiar la dinámica de su degradación o recuperación (ENASAS, 2022). Lamentablemente, se carece de estudios comprensivos en esta materia (Santellanez-Arreola, et al., 2025), de modo es esencial que se promueva investigación al respecto. Este vacío de conocimiento no es una situación propia de la entidad, sino también es una condición generalizada en muchas otras regiones de México (ENASAS, 2022).

En Guerrero, los esquemas agroforestales implementados obedecen en mayor medida a una estrategia de fomento a la producción a escala de agricultura o ganadería de subsistencia, utilizando un enfoque de manejo que aprovecha los elementos del paisaje disponibles. Ejemplo de esto, son los

árboles dispersos o en arreglo de cerco vivo localizados en potreros o terrenos de cultivo en Tierra Caliente (**Figura 5**).

Estos sistemas de producción por lo general se inducen mediante prácticas de desmonte en las que se remueve una alta proporción de vegetación arbórea nativa, por lo que podría ser cuestionable el impacto ambiental. Al respecto, Borda-Niño et al. (2017) aportan evidencia científica de cómo estas prácticas alteran el paisaje modificando la estructura, diversidad y composición. Esto reduce la conectividad del paisaje porque se crean fragmentos en los que los bosques remanentes están sometidos a un fuerte efecto borde. Considerando lo anterior, sería relevante entonces definir cuál es la cobertura arbórea mínima necesaria que debería permanecer, ya sea en forma de cerco vivo o árboles dispersos, para mantener la integridad y funcionalidad del suelo a la par que se asegura su productividad. Caso similar sucede en los cultivos de agave mezcalero que están siendo establecidos en las laderas de los cerros de las regiones Norte y Centro del estado (**Figura 6**).



Figura 6. Plantación de agave mezcalero con algunos elementos arbóreos en agroecosistemas de la región Norte de Guerrero.

Actualmente, en la entidad, así como en otras partes de México, se están estableciendo sistemas agroforestales de árboles maderables y frutales (SAF) y de milpa intercalada entre árboles frutales (MIAF), particularmente a través del programa de fomento social *Sembrando Vida* (Secretaría de Bienestar, 2020). Esto representa una oportunidad para generar evidencia empírica en la que se documenten los estudios de caso y se obtengan resultados cuantitativos acerca de la contribución de las prácticas agroforestales en el mantenimiento de la salud y funcionalidad del suelo, o, de ser el caso, de la recuperación de aquellos en proceso de degradación. Sería importante comparar parcelas con y sin prácticas agroforestales con los enfoques metodológicos y experimentales conducentes para ello. En Guerrero, por sus variadas condiciones agroecológicas y biodiversidad hay un abanico de oportunidades para realizar investigación desde una escala local o de paisaje, donde se evalúe, por ejemplo, el desempeño de especies forestales, sobre todo nativas, así como de cultivos locales para definir los patrones de arreglo, técnicas de cultivo y manejo (tanto agronómico como silvícola), e interacciones entre cultivos, considerando las condiciones del sitio (ambientales y edafológicas). Para lograr lo anterior, es fundamental la participación coordinada entre especialistas de las diferentes disciplinas afines a la materia, así como el involucramiento de técnicos y productores, para crear sinergias que permitan generar mecanismos para crear conocimientos científicos, así como desarrollar avances tecnológicos a la par de estrategias para su transferencia y adopción.

Asimismo, es esencial reconocer la importancia de los conocimientos tradicionales para integrar e implementar adecuadamente las prácticas de manejo en los sistemas agroforestales, más si estos están orientados a conservar y recuperar suelos degradados, por lo que es crucial que sigan promoviéndose los estudios etnoagroforestales, esto en concordancia con lo expresado por Moreno-Calles et al. (2014, 2013) y otros expertos en el tema. De acuerdo con ENASAS (2022), el éxito de los esfuerzos realizados a nivel

local o regional dependerá en gran medida del involucramiento y compromiso de todos los actores involucrados, aunque se reconoce que los que tienen un papel protagónico relevante son los poseedores del recurso suelo.

Finalmente, es fundamental que todos los esfuerzos previamente mencionados se orienten hacia la promoción y consolidación de sistemas agroforestales, asegurando su implementación exitosa sin importar su escala o modalidad. Esto se debe a que cualquier intervención que aumente la cobertura vegetal del suelo puede contribuir significativamente a mitigar los efectos del cambio climático. Según el Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte (NALCMS, 2024), las alteraciones en la cobertura del suelo, tanto a nivel local como regional, inciden en la dinámica terrestre al modificar patrones de temperatura y precipitación, los cuales tienen un impacto directo en las condiciones climáticas globales.

COMENTARIOS FINALES

Es urgente emprender acciones concretas para detener y revertir los procesos de degradación del suelo. Esto se puede lograr mediante la promoción de prácticas productivas sostenibles que compatibilicen la producción agrícola con la conservación de los recursos naturales. En este sentido, la agroforestería se posiciona como una alternativa viable para fortalecer la integridad de los componentes del suelo y garantizar la sostenibilidad de los agroecosistemas. En el estado de Guerrero, esta temática representa una oportunidad significativa para adoptar y promover estrategias de manejo sustentable que contribuyan tanto al bienestar de las comunidades rurales como a la conservación de los ecosistemas.

Resulta prioritario el desarrollo de herramientas de monitoreo y evaluación que integren indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, con el fin de estudiar con mayor precisión la dinámica de su degradación o

recuperación. Asimismo, los actuales programas gubernamentales pueden servir como plataforma para generar evidencia empírica robusta, mediante estudios de caso que documenten de forma cuantitativa la contribución de las prácticas agroforestales en el mantenimiento de la salud y funcionalidad del suelo, así como en la restauración de áreas degradadas.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento y reconocimiento a todos los productores y ejidatarios que permitieron visitar sus predios y que nos mostraron con orgullo su trabajo en el campo.

REFERENCIAS

- Ballesteros, P., G., Cruz, L. A., Tovar, S., H., Rodríguez, P., L. A., Echeverría, M., Campos, D., L., y Escobar, M., Y. (2011). Las ciruelas (*Spondias purpurea*) Componentes básicos de los huertos familiares en la Tierra Caliente del Balsas, México. *Mesoamericana*, 5(12), 320.
- Borda-Niño, M., Hernández-Muciño, D. and Cecon, E. (2017). Planning restoration in human-modified landscapes: New insights linking different scales. *Applied Geography*, 83, 118-129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.03.012>
- Cecon, E. (2016). La dimensión social de la restauración en bosques tropicales secos: diálogo de saberes con la organización no gubernamental Xuajin Me'Phaa en Guerrero. En: *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. Cecon, E. y Martínez-Garza, C. Cuernavaca, México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias-Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad Autónoma del Estado de Morelos/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 347-368. <https://doi.org/10.22201/crim.9786070294778e.2017>
- Cecon, E. (2020). Sistemas agroforestales como herramienta de restauración socio-ecológica del paisaje: el caso de la organización indígena Xuajin Me'Phaa de la Montaña, Guerrero, México. En: *Los Sistemas Agroforestales de México: Avances, experiencias, acciones y temas emergentes*. Moreno, C. A. I., Soto, P. M. L., Cariño, O. M. M., Palma, G. J. M., Moctezuma, P. S., Rosales, A. J. J., Montañez, E. P. I., Sosa, F. V. J., Ruenes, M. M. R. y López, M. W. W. (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 225-249. <https://doi.org/10.22201/enesmorelia.9786073040761e.2020>
- Cecon, E., Sánchez, I. y Powers, J. (2015). Biological potential of four indigenous tree species from seasonally dry tropical forest for soil restoration. *Agroforestry Systems*, 89(3), 455-467. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9782-6>
- Cervantes, G., V., Gama, C., J.E., Roldán, A., I.E., and Hernández, C., G. (2014). Basis for implementing restoration strategies: San Nicolás Zoyatlan social-ecological system (Guerrero, Mexico). *Terra Latinoamericana*, 32(2), 143-159.
- Combe, J., & Budowski, G. (1979). *Clasificación de las técnicas agroforestales; una revisión de literatura*. Programa de Recursos Naturales Renovables. Turrialba (Costa Rica), CATIE.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2013). *Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación, Informe Final*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31169/degradacion-tierras-desertificacion2_PARTE_I.pdf
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2013). *Sistemas agroforestales maderables en México*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/126296/Sistemas_agroforestales_maderables_en_Mexico.pdf
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). (2023). *Índices de marginación 2020*. Consejo Nacional de Población. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/848423/Indices_Coleccion_280623_entymun-p_ginas-I-153.pdf
- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones*

- geográficas *Geográficas*, (101), e59976.
<https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- ENASAS (Estrategia Nacional de Suelo para la Agricultura Sostenible). (2022). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (AGRICULTURA).
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/754319/Estrategia_Nacional_de_Suelo_para_la_Agricultura_Sostenible.pdf
- Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., Pradhan, A., Jinger, D., Rawale, G., Yadav, D. K., Kumar, V., Farooq, T. H., Ali, B., Sawant, A. V., Saud, S., Chen, S., and Poczar, P. (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance. *Sustainability*, 14(22), 14877.
<https://doi.org/10.3390/su142214877>
- Figuroa, D., Prado-Pano, B. y Klimek-Alcaraz, O. A. (2024). *Manual para la Evaluación Ciudadana de los Suelos y la Vegetación de Guerrero. Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo (PUEIS)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
<https://doi.org/10.22201/pueis.001b.2024>
- Gageler, R., Bonner, M., Kirchhof, G., Amos, M., Robinson, N., Schmidt, S. and Shoo, L. P. (2014). Early response of soil properties and function to riparian rainforest restoration. *PLoS ONE*, 9(8), e104198.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104198>
- García-Flores, J. C., Gutiérrez-Cedillo, J. G., Balderas-Plata, M. Á. y Araújo-Santana, M. R. (2016). Estrategia de vida en el medio rural del altiplano central mexicano: el huerto familiar. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(4), 621-641.
<https://doi.org/10.22231/asyd.v13i4.498>
- González, G. J. C., Madrigal, S., X., Ayala, B., A., Juárez, C., A. y Gutiérrez, V., E. (2006). Especies arbóreas de uso múltiple para la ganadería en la región de Tierra Caliente del Estado estado de Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*, 18(8), P 109.
- González, G., A., González, S., M. V. y Castellanos, S., J. A. (2018). Huerto familiar y la cultura un espacio destinado a las plantas medicinales en Xochipala, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (1), 215-227.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.860>
- González-Rodríguez, H., López-Hernández, J. M., Ramírez-Lozano, R. G., Gómez-Meza, M. V., Cantú-Silva, I., Sarquís-Ramírez, J. I., and Mora-Olivo, A. (2019). Litterfall deposition and nutrient return in pine-oak forests and scrublands in northeastern Mexico. *Madera y Bosques*, 25(3), e2531514.
<https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531514>
- Haase, D.L. and Jacobs, D.F. (2013). Nutrient dynamics of planted forests. *New Forests*, 44, 629–633. <https://doi.org/10.1007/s11056-013-9383-7>
- Hernández-Muciño, D., Sosa-Montes, E., and Ceccon, E. (2015). *Leucaena macrophylla*: An ecosystem services provider? *Agroforestry Systems*, 89(1), 163–174.
<https://doi.org/10.1007/s10457-014-9751-0>
- Ibrahim, M. y Zapata, P. (2012). Producción de madera en sistemas silvopastoriles. En: *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. G. Detlefsen y E. Somarriba (Eds.). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. pp. 112-132
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). *Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VI (2014), escala 1: 250 000*. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s6gw.html>
- Jiménez-Alpizar, V. P., Melesio-Velázquez, M. y Martínez-Rodríguez, I. (2021). Plantas útiles en huertos familiares tradicionales de Xalpatláhuac, Región Montaña de Guerrero. *Ciencias Sociales y Humanidades*, 8(1): 43–55.
<https://doi.org/10.36829/63CHS.v8i1.1026>
- Kaur, A., Paruchuri, R. G., Nayak, P., Devi, K. B., Upadhyay, L., Kumar, A., Pancholi, R., & Yousuf, M. (2023). The role of agroforestry in soil conservation and sustainable crop production: A comprehensive review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 3089-3095.
<https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113478>

- Kaushal, R., Mandal, D., Panwar, P., Rajkumar; Kumar, P., Tomar, J. M. S., Mehta, H. (2021). Soil and Water Conservation Benefits of Agroforestry. In: *Forest Resources Resilience and Conflicts*. P.K. Shit, H.R. Pourghasemi, P.P. Adhikary, G.S Bhunia, V.P. Sati (Eds.). Elsevier: Amsterdam. pp. 259-275. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00020-4>
- Koryś, K. A., Latawiec, A. E., Mendes, M. S., Sansevero, J. B. B., Rodrigues, A. F., Iribarrem, A. S., Dib, V., Jakovac, C. C., Allek, A., Pena, I. A. B., Lino, E., and Strassburg, B. B. N. (2021). Early response of soil properties under different restoration strategies in tropical hotspot. *Land*, 10(8), 768. <https://doi.org/10.3390/land10080768>
- Montagnini, F., Cusack, D., Petit, B., and Kanninen, M. (2004). Environmental services of native tree plantations and agroforestry systems in Central America. *Journal of Sustainable Forestry*, 21(1), 51–67. https://doi.org/10.1300/J091v21n01_03
- Moreno-Calles, A. I. Toledo, V. M., y Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398.
- Moreno-Calles, A. I., Galicia-Luna, V. J., Casas, A., Toledo, V. M., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita D. y Camou-Guerrero, A. (2014). La etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12(3), 1-16.
- Mozo, O. A. y Silva, A. M. (2022). Caracterización del aprovechamiento de leña en una comunidad Me'phaa de la Montaña de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1263>
- Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio, R. M. and Molina, J. J. (2015). The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(4), 541-554.
- NALCMS (Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte). (2024). <https://storymaps.arcgis.com/stories/d93f8ca21d6842d7b77350d135417399>
- Olivares-Pérez, J., Rojas-Hernández, S., Quiroz-Cardozo, F., Camacho-Díaz, L.M., Cipriano-Salazar, M., Damián-Valdéz, M.A., Ávila-Morales, B., y Villa-Mancera, A. (2018). Diagnóstico de los usos, la distribución y características dasométricas del árbol cirrián (*Crescentia alata* Kunth) en el municipio de Pungarabato, Guerrero, México. *Polibotánica*, 45(1), 191-204. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.14>
- Ortiz-García, S., Torres-Gómez, M., Benavides, A., Anaya, M., Anglés-Hernández, M., Cerón, A., Cotler, H., Cueto-Wong, J. A., Etchevers, J. D., Fernández-Luqueño, F., Gonzalez-Meraz, J., Guerrero-Peña, A., Meneses, M., Miranda, M., Pérez, M., Pulido, L., Reyes-Sánchez, L. B., Reynoso, V., Saynes... and Guevara, M. (2023). National Soil Strategy for Sustainable Agriculture (ENASAS): A new systemic approach in Mexico. *European Journal of Soil Science*, 74(5), e13395. <https://doi.org/10.1111/ejss.13395>
- Salgado, T. O., Borda, N. M. L., y Ceccon, E. (2017). Uso y disponibilidad de leña en la región de La Montaña en el estado de Guerrero y sus implicaciones en la unidad ambiental. *Madera y Bosques*, 23(3), 121–135. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331473>
- Santellanez-Arreola, K., Martínez-Gamiño, M. A., Constante-García, V., Arreola-Ávila, J., García-De la Peña, C., Siller-Rodríguez, Q. K., Trejo-Calzada R. and Nava-Reyna, E. (2025). Beyond soil health: the microbial implications of conservation agriculture. *Diversity*, 17(2), 90. <https://doi.org/10.3390/d17020090>
- Secretaría de Bienestar. (2020). *Programa Sembrando Vida*. <https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2003). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000, Memoria Nacional 2001-2002*. https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001-

[2002 Evaluacion de la Degradacion del Suelo causada por el Hombre en la Republica Mexicana escala 1:250000 Memoria Nacional](#)

- Shi, L., Feng, W., Xu, J., and Kuzyakov, Y. (2018). Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degradation & Development*, 29(11), 3886-3897. <https://doi.org/10.1002/ldr.3136>
- Silva, A. M., Olgún, C. F. y Cruz, S. J. (2024). Árboles asociados a los cafetales en comunidades de la Montaña de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(83), 80-106. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i83.1420>
- Somarriba, E. (2012). Definición de agroforestería. En: *Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica*. Detlefsen y E. Somarriba (Eds.). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. pp. 21-26
- Vogel, H., Bartke, S., Daedlow, K., Helming, K., Kögel-Knabner, I., Lang, B., Rabot, E., Russell, D., Stöbel, B., Weller, U., Wiesmeier, M., and Wollschläger, U. (2018). A systemic approach for modeling soil functions. *SOIL*, 4(1), 83-92. <https://doi.org/10.5194/soil-4-83-2018>
- Xu, S., Eisenhauer, N., Zeng, Z., Mo, X., Ding, Y., Lai, D. Y. F., and Wang, J. (2024). Drivers of soil organic carbon recovery under forest restoration: a global meta-analysis. *Carbon Research*, 3(80). <https://doi.org/10.1007/s44246-024-00165-6>

RESINA DE PINO EN OAXACA: CIENCIA, CONOCIMIENTO ANCESTRAL Y POTENCIAL PRODUCTIVO

PINE RESIN IN OAXACA: SCIENCE, ANCESTRAL KNOWLEDGE, AND PRODUCTIVE POTENTIAL

María Mercedes Cervantes-Machuca^{id}, Salvador Lozano-Trejo^{id}, Gerardo Rodríguez-Ortiz^{id}, Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez^{id}

Tecnológico Nacional de México (TecNM). Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán-Oaxaca. México. §Autor de correspondencia: (d21920197@voaxaca.tecnm.mx).

Resumen. La resina de pino es un recurso forestal no maderable y por su versatilidad ha sido de gran importancia para la sociedad desde la antigüedad. El objetivo fue proporcionar una visión general de la actividad resinera a través del tiempo en Oaxaca. Se realizó una investigación documental a través de bases de datos (SciELO, Web of Science, Scopus y Google Scholar) y colecciones institucionales; se utilizó como palabras clave: resina, rendimiento de resina, métodos de resinación y producción de resina. En Oaxaca, la actividad resinera se ha fortalecido y retomado como parte del manejo forestal comunitario, desde su aprovechamiento en artesanías hasta sus usos medicinales y ha ido trascendiendo a través de los años. Además, Oaxaca cuenta con las condiciones ambientales y orográficas naturales para las diversas especies de coníferas con alto potencial resinero, por lo cual representa un recurso estratégico con un gran potencial para el estado.

Palabras clave: colofonia, *Pinus*, recursos no maderables, rendimiento, resina.

Abstract. Pine resin is a non timber forest resource and, due to its versatility, has been of great importance to society from ancient times. The objective of this review was to provide an overview of resin activity over time in Oaxaca. Documentary research was carried out through databases (SciELO, Web of Science, Scopus and Google Scholar) and institutional collections; the keywords used were: resin, resin performance, resin extraction methods and resin production. In Oaxaca, resin extraction has strengthened and

resumed as part of community forest management, from its use in handicrafts to its medicinal uses, and has been growing over the years. Furthermore, Oaxaca has the natural environmental and topographic conditions for diverse conifer species with high resin potential, making it a strategic resource with great potential for the state.

Index words: rosin, *Pinus*, non-timber resources, yield, resin.

Introducción. Desde la antigüedad, en los ecosistemas y principalmente en los árboles, el ser humano ha encontrado una fuente inagotable de bienes, entre los que destaca, la resina de pino como un recurso muy versátil y valioso. Esta sustancia que brota naturalmente del tallo de los pinos cuando sufren estrés o algún daño físico, es de consistencia pegajosa, se ha utilizado por diversas culturas a lo largo del tiempo para una gran variedad de fines (Puente-Villegas et al., 2017). Por otro lado, la artesanía tradicional ha utilizado la resina como barniz, sellador e incluso como pegamento natural; y con gran utilidad en la construcción de embarcaciones y herramientas (Tellería-Mata et al., 2019). Además, sus propiedades antimicrobianas la convirtieron en un remedio natural para tratar heridas, problemas respiratorios y dolores musculares, sentando las bases de su uso en la medicina natural y en la industria química (Arteaga et al., 2007).

La trementina y colofonia son compuestos que se obtiene a través de procesos de destilación de la resina, que en la actualidad son esenciales en la

fabricación de pinturas, adhesivos, tintas, productos de limpieza y cosméticos (Quiroz-Carranza y Magaña-Alejandro, 2015). Esta combinación de usos tradicionales y aplicaciones industriales modernas demuestra que la resina de pino no solo tiene un pasado fascinante, sino también un papel relevante en el presente y un futuro prometedor en sectores que valoran los materiales sostenibles y de origen natural (Sarria-Villa et al., 2021).

Por lo anterior, la resina de pino ha desempeñado un papel significativo en la historia de México, desde el punto de vista cultural hasta el económico; es por ello que, su aprovechamiento se remonta a tiempos prehispánicos y ha evolucionado hasta convertirse en una industria de gran importancia para diversas regiones del país. Antes de la llegada de los conquistadores; diversos pueblos originarios de Mesoamérica, como los Purépechas y Nahuas, ya utilizaban la resina de pino por sus propiedades adhesivas, impermeabilizantes y combustibles; además de ser apreciada en contextos medicinales y de rituales; por ejemplo, los purépechas la empleaban para sellar canoas, fabricar antorchas y elaborar objetos ceremoniales (Tellería-Mata et al., 2018).

Durante el periodo virreinal, la explotación de recursos naturales se intensificó, y la resina de pino no fue la excepción. Los colonizadores españoles aprovecharon sus aplicaciones en la fabricación de brea y alquitrán para la industria naval, al mismo tiempo que se mantuvieron muchos de los usos tradicionales por parte de las comunidades indígenas. Durante los siglos XIX y principios del XX, la resina siguió siendo parte importante de las economías campesinas en regiones boscosas. Sin embargo, su producción era limitada debido a la escasa tecnología disponible y a la falta de organización en los procesos de recolección y transformación (Puente-Villegas et al., 2017).

Durante la década de 1930, el aprovechamiento de productos forestales, incluida la resina de pino, comenzó a tecnificarse; por ello, se establecieron destilerías para procesar la resina y obtener subproductos como la trementina (aguarrás) y la colofonia, fundamentales para industrias como la farmacéutica, la alimentaria y la química (Velasco-García y Hernández-Hernández, 2024b). A partir de este surgimiento, estados como Michoacán, Oaxaca, Puebla, Durango y Jalisco se consolidaron como zonas productoras clave de este recurso (Delgado-Macías, 2020). Por lo anterior, el objetivo de esta revisión fue proporcionar una visión general de la actividad resinera a través del tiempo en Oaxaca.

Desarrollo. México es uno de los principales productores de resina natural en el mundo representado por el 44 % del valor económico forestal no maderable anual (SEMARNAT, 2018), contribuyendo con países como China, Brasil e Indonesia considerados potencialmente productores de resina a nivel mundial (Muñoz-Flores et al., 2022). Por otro lado, México lidera cómodamente la producción en Latinoamérica, con una participación destacada en el mercado global, esta posición se debe a la riqueza de sus bosques templados; donde especies de pino como *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., *P. pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb y *P. devoniana* Lindl. crecen en condiciones ideales para la resinación (Arias-Toledo y Chávez-López, 2006; CONAFOR, 2013). Dentro del país, la resina se aprovecha bajo la norma NOM-026-Semarnat-1996 y la normatividad vigente que comprende la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su reglamento (SEMARNAT, 2016). Por lo anterior, el sistema de resinación utilizado corresponde al método Tradicional Francés modificado para México y establecido en el año 1937 (Delgado-Macías, 2020; Reyes-Ramos et al., 2019) (**Figura I**).

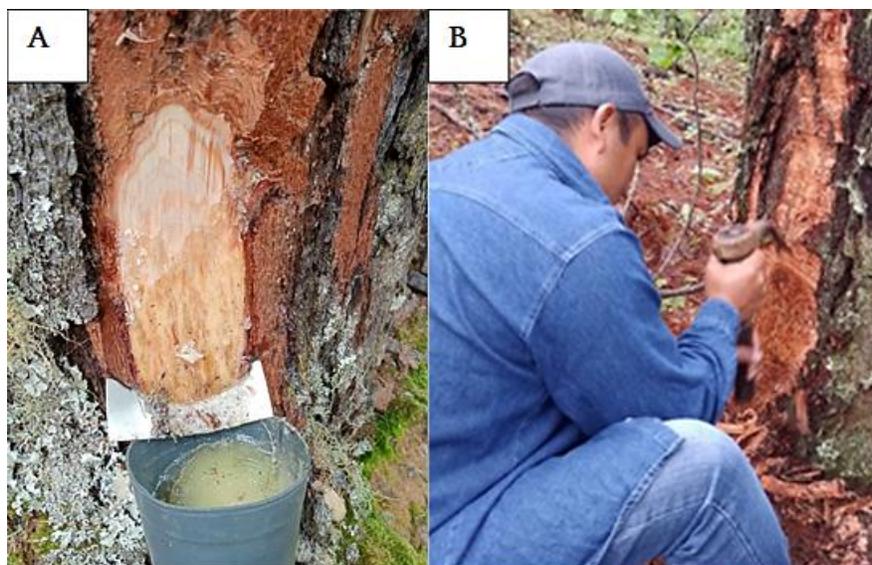


Figura 1. Extracción de resina de pino: A) Método Francés modificado para México y B) apertura de cara con hacha curva. Fuente: elaboración propia.

Michoacán es el estado que produce el 82.7 % de resina en México, por arriba de Jalisco (6 %), Oaxaca (5.3 %) y el Estado de México (6 %) (Leyva-Ovalle et al., 2013; Rojas-Rodríguez et al., 2025); en donde gran parte de las comunidades rurales viven del aprovechamiento responsable de los bosques y utilizan superficies como predios particulares, ejidales y comunales (SEMARNAT, 2016). En la actualidad se practica principalmente en predios particulares, como el caso de Michoacán que lidera con 782 predios (98 %) mientras que Chiapas solo cuenta con seis (1 %) al igual que México con 1 %; esto sucede ya que, esta actividad es realizada por los

propietarios quienes participan como resinadores, recolectores y son quienes transportan la resina al centro de acopio, evitando así el pago de terceros (CONAFOR, 2013). En relación a los predios ejidales, en Oaxaca solo son aprovechados dos predios (1 %) muy por debajo de los 127 predios en Michoacán (72 %) dejando el resto del aprovechamiento en predios ejidales para los estados de México, Jalisco, Guerrero y Chiapas; el no contratar a terceras personas beneficia a los productores con mayores ingresos, debido a los bajos costos de la resina (\$ 13.00 por kg) (Xiangyan et al., 2024) (**Figura 2**).

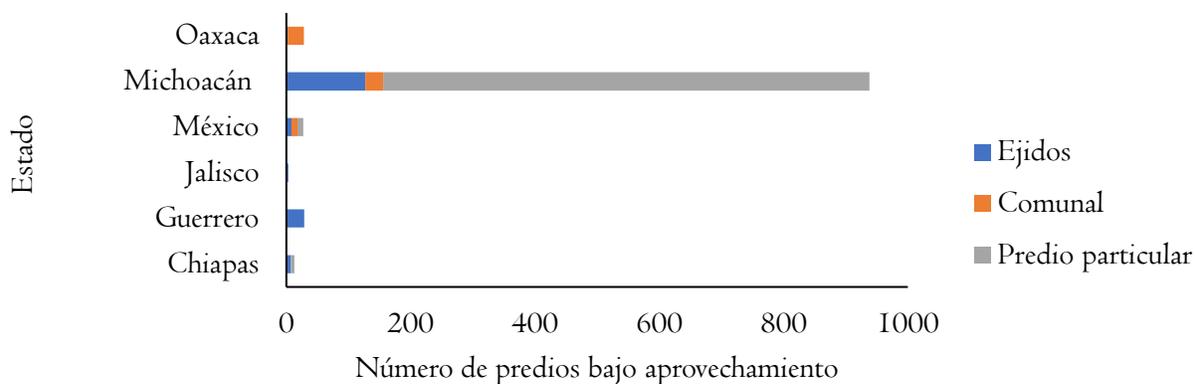


Figura 2. Predios con aprovechamiento de resina de pino con respecto al régimen de las tierras en México. Fuente: elaboración propia, con datos tomado de <https://snif.cnf.gob.mx/datos-abiertos/>

Dentro de los estados productores de resina en el país, se utilizan diferentes especies en las que destaca: *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl. (91 724.22 ha), *P. pseudostrobus* Lindl. (44 145.62 ha), *P. pringlei* Shaw (47 470.83 ha), *P. lawsoni* Roetzl ex Gordon. (54 921.31 ha), *P. herrerae* Martínez. (59 272.48 ha) y *P. devoniana* Lindl. (71 392.59 ha); sin embargo, las especies de pino estudiadas para la extracción de resina son: *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl, *P. pseudostrobus* Lindl., *P. greggii* Engelm. ex Parl., *P. caribaea* Morelet y *P. elliottii* Engelm., esta última introducida con buenos resultados productivos (Quiroz-Carranza y Magaña-Alejandro, 2015). Diversos estudios han demostrado que estas especies presentan condiciones específicas las cuales aumentan su producción de resina como son: de crecimiento lento (Vázquez-González et al., 2021), resistencia a estrés biótico,

heredabilidad del flujo de resina, heredabilidad en la viscosidad de la resina (López-Álvarez et al., 2023) y número de canales resiníferos (Villalba-Fonte y Betancourt-Figuera, 2011). Esta selección en campo de árboles productores de resina da como resultado, rendimientos de 200 % por arriba del promedio (2.5 t ha⁻¹ para *Pinus* spp.) (Fabián- Plesníková et al., 2021); la mayor producción se concentra en el Estado de México con 9.04 t ha⁻¹ al utilizar *P. pringlei* Shaw, seguido de Michoacán con 4.01 t ha⁻¹ al aprovechar *P. devoniana* Lindl., esta producción puede deberse a una buena selección en campo de árboles con altos rendimientos de resina (Tabla I), y para *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl. considerada como especie netamente resinera se obtuvo rendimientos de 3.5 kg/mes por árbol (Muñoz-Flores et al., 2022).

Tabla I. Especies de mayor producción resinera a nivel nacional.

Estado	Especie	Superficie (ha)	Volumen (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Chiapas	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i>	280.777	389.630	1.387
	<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	4543.224	5805.576	1.277
	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	59.580	153.167	2.570
Guerrero	<i>P. ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.	5813.940	22.978	0.003
	<i>P. devoniana</i> Lindl.	5813.940	112.764	0.019
	<i>P. douglasiana</i> Martínez.	6321.030	357.131	0.056
	<i>P. herrerae</i> Martínez.	5813.940	550.108	0.094
	<i>P. lawsoni</i> Roetzl ex Gordon.	6631.370	1642.432	0.247
	<i>P. maximinoii</i> H.E. Moore.	2181.810	1244.558	0.570
	<i>P. michoacana</i> Martínez.	817.430	111.890	0.136
	<i>P. montezumae</i> Gordon & Glend.	5,813.940	105.536	0.018
	<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	3050.750	2,306.516	0.756
	<i>P. pringlei</i> Shaw.	6631.370	461.650	0.069
	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	6321.030	772.815	0.122
<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltdl.	5813.940	582.382	0.100	
Jalisco	<i>P. Pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i>	528.910	800.745	1.513
	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	3758.586	3374.865	0.897
	Estado de México	<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	124.330	373.530
<i>P. pringlei</i> Shaw.		99.280	898.350	9.048

	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	18.290	50.630	2.768
	<i>P. Pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i>	11601.900	21443.865	1.848
Michoacán	<i>P. devoniana</i> Lindl.	50.750	203.915	4.018
	<i>P. herrerae</i> Martínez.	14.860	49.790	3.350
	<i>P. lawsoni</i> Roetzl ex Gordon.	1462.770	1462.770	1.000
	<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schltdl.	2568.785	1478.385	0.575
	<i>P. michoacana</i> Martínez.	29.740	110.800	3.725
	<i>P. montezumae</i> Gordon & Glend.	96.250	206.125	2.141
	<i>P. oocarpa</i> Schiede ex Schltdl.	5742.490	8854.818	1.541
	<i>P. pringlei</i> Shaw.	2607.560	6170.950	2.366
	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	3306.160	6,233.942	1.885
	<i>P. Pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i>	112744.000	220,678.591	1.957
	<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltdl.	671	627.105	0.934
Oaxaca	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	1754.650	4,397	2.505
	<i>P. Pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i>	2010.510	3,194.050	1.588
	<i>P. teocote</i> Schiede ex Schltdl	31947.410	44,099.913	1.380

Rendimiento = volumen/superficie; debido a que en la plataforma no se encuentra información sobre densidad. Fuente: elaboración propia, con datos tomados de <https://snif.cnf.gob.mx/datos-abiertos/>

Cabe destacar que, en relación a las investigaciones enfocadas al proceso de producción de resina, son pocas las instituciones involucradas; como el caso del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) quienes han iniciado proyectos de selección fenotípica de árboles superiores, evaluación de huertos semilleros y ensayos de progenie de especies de pino con alto rendimiento en resina, establecidos en entidades como Michoacán y Jalisco; estos estados ya cuentan con plantaciones de *P. pseudostrobus* Lindl. provenientes de germoplasma mejorado, con incrementos de productividad superiores al 40 % respecto a masas no mejoradas (Fabián-Plesníková et al., 2021; Reyes-Ramos et al., 2019). Bajo este enfoque, diversos estudios han reportado incrementos significativos en la producción de resina mediante mejoramiento genético; por ejemplo, árboles seleccionados de *P. pseudostrobus* Lindl. en Michoacán han

alcanzado producciones de 6.1 a 7.3 kg de resina por árbol en un periodo de nueve meses, frente a promedios de 1.5 a 2 kg en poblaciones sin selección (Fabián-Plesníková et al., 2020; Muñoz et al., 2023). Por otro lado, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en 2019, inicio un proyecto para mejorar la producción de resina de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. bajo el enfoque de selección de procedencias y fenotipos de mayor rendimiento en resina (Romero-Sanchez et al., 2022; Velasco-García y Hernández-Hernández, 2024a).

Empresas resinera-forestales (PROQUIMEX o Reforestadora integral), han colaborado con estados como Michoacán, Veracruz y Oaxaca, donde se han establecido huertos clonales y de semillas mejoradas; con el objetivo de integrar el mejoramiento genético con prácticas de silvicultura intensiva resinera.

Por otro lado, La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en conjunto con la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Universidad de Colima (UCOL) y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) han desarrollado trabajos de investigación sobre silvicultura y mejoramiento genético. Bajo este enfoque, la CONAFOR ha impulsado programas a nivel nacional (Apoyo para el Desarrollo Forestal Sustentable) con el objetivo de instalar y poner en marcha plantas destiladoras de resina con beneficios económicos, sociales y ambientales para los productores de diferentes estados del país. Michoacán, un estado beneficiado bajo estos programas con la planta resinera “Lázaro Cárdenas” la cual beneficia a 2000 productores de 27 núcleos agrarios con un incremento del 10 % en la producción nacional y alrededor de 3000 empleos; por otro lado, la plantación “Ejido Verde” un proyecto que promueve el establecimiento de pinos resiníferos en tierras degradadas, involucra a comunidades rurales con el objetivo de reactivar la producción sostenible de resina de pino, la restauración de bosques nativos y de suelos degradados.

La Planta Destiladora de Resina y Derivados de Ixtepeji, ubicada en Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca; fue reconstruida con el apoyo de la CONAFOR, el INPI y comuneros locales, beneficiando a comunidades de la Sierra Norte, Sierra Sur y la Mixteca. Además, genera productos como brea, aguarrás, aceite de pino y jabón agrícola; y genera una derrama económica de 13.6 millones de pesos y la creación de 22 empleos directos.

En Chiapas, se busca desarrollar la instalación de una planta destiladora de resina de pino con capacidad de procesar 2000 t/año y beneficiar a más de 600 productores de diferentes ejidos de la región, principalmente los municipios de Villacorzo, Villaflores, La Concordia y Cintalapa (Carrasco-Ramírez, 2023).

En el estado de Oaxaca, la extracción de resina de pino representa una actividad forestal no

maderable que se inserta dentro de un modelo más amplio de manejo comunitario de los recursos naturales. Esta práctica, que históricamente ha formado parte de la economía rural en zonas montañosas, se ha integrado a estrategias de desarrollo sustentable impulsadas por comunidades indígenas y campesinas que gestionan de forma colectiva sus territorios forestales (Merino, 2004). Oaxaca destaca por contar con uno de los modelos de gobernanza forestal comunitaria más consolidados del país. Aproximadamente el 80 % de sus bosques se encuentran bajo propiedad ejidal o comunal, y muchas de estas comunidades han desarrollado empresas forestales comunitarias que abarcan desde la reforestación y aprovechamiento maderable hasta actividades no maderables como la recolección de resina, hongos comestibles o plantas medicinales (Moctezuma-López y Flores, 2020). Bajo este enfoque, Oaxaca registra 28 municipios que han presentado (activos y vencidos) programas de aprovechamiento de resina (Figura 3).

Debido a proyectos de éxito como el caso de Ixtepeji, se han formado sociedades de producción rural y comités de aprovechamiento comercial de resina de pino; en la región de San Miguel Chimalapa y comunidades Zoques han reactivado la extracción de resina de manera sustentable, por otro lado, Santa María Atzompa (municipio perteneciente a los Valles Centrales de Oaxaca) busca oportunidades similares en esta actividad, principalmente en el desarrollo e implementación de una planta resinera.

Por otro lado, productores han observado oportunidades significativas en el creciente interés de la sociedad por los productos derivados del bosque, así como la promoción de programas gubernamentales y civiles para la valorización de los servicios ecosistémicos (Balvanera, 2012). Consolidar un desarrollo rural sustentable para Oaxaca se puede lograr, siempre y cuando se busque fortalecer la cadena de valor de la resina, a través del apoyo a la organización comunitaria y el acceso a financiamientos de esta actividad.

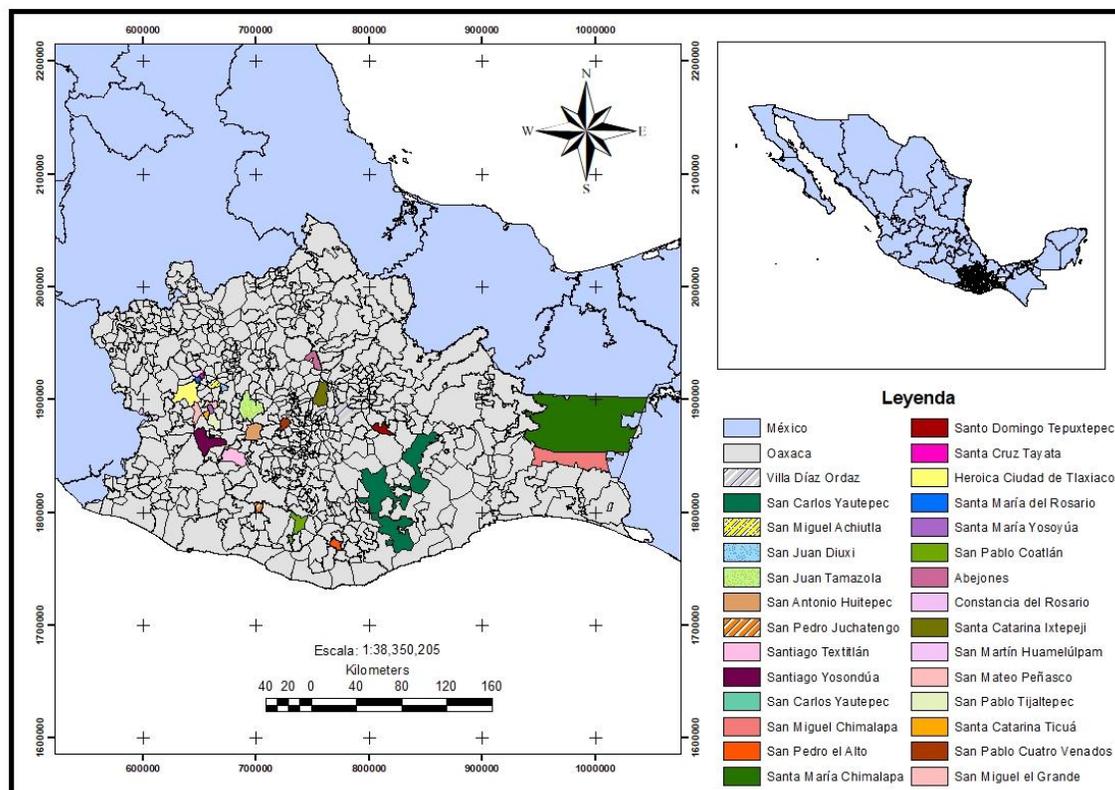


Figura 3. Municipios de Oaxaca con registro para aprovechamiento de resina de pino. Fuente: elaboración propia.

Prospectiva. A partir del siglo XX y con el auge de la actividad resinera en el país, en el estado de Oaxaca se han presentado diversas causas de rezago en la producción de resina; principalmente en el acceso a las áreas de producción, falta de apoyo a los productores por parte de las autoridades municipales y poco acceso a materiales y herramientas a utilizar; sin embargo, aunado a esto, Oaxaca cuenta con las condiciones ambientales y orográficas naturales para el aprovechamiento de resina de pino y la gran mayoría de las comunidades presentan una amplia distribución de especies de coníferas con alto potencial resinero. De igual manera, dependencias gubernamentales públicas/privadas y autoridades del sector forestal le han apostado a la actividad resinera, al implementar programas de capacitación, asistencia técnica e instalación de nuevas plantas destiladoras. Ante la creciente demanda de productos de origen natural y biodegradable, la resina de pino representa un recurso estratégico con gran potencial para el

estado; sin embargo, el aprovechamiento de resina de manera sostenible en el estado, aun requiere del impulso de la ciencia y la tecnología a comunidades locales; además de promover políticas públicas estatales que incentiven la investigación, la innovación y el valor agregado de los recursos forestales no maderables. Por lo anterior, Oaxaca no sólo tiene los recursos naturales para mantener su liderazgo en este sector, sino también el conocimiento tradicional y científico para convertir la resinación en un modelo ejemplar de economía forestal sostenible.

REFERENCIAS

- Arias-Toledo, A. A. y Chávez-López, A. (2006). Resina: entre la madera y el desarrollo comunitario integral. *Biodiversitas*, 65, 1-7.
- Arteaga, C. Y., Carballo, A. L., Tiomno, T. O., Casal, V. A., Tacoronte, M. J. E. y Cruz, S. R. (2007). Resina de pino: química verde y

- potencialidades biológicas. *Revista Cubana de Química*, 19(1), 91-93.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 136-147.
- Carrasco-Ramírez, P. (2023). La resina en Chiapas: Caracterización del manejo forestal no maderable y su impacto en la calidad de vida. *Revista latinoamericana de ciencias sociales y humanidades*, IV(4), 482. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i4.1232>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2013). La producción de resina de pino en México. CONAFOR: Guadalajara, México. pp. 20–82. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6046La%20producci%C3%B3n%20de%20resina%20de%20pino%20en%20M%C3%A9xico.pdf>
- Delgado-Macías, J. L. (2020). Transferencia tecnológica y conservación forestal en la industrialización de la resina de pino en la Sierra de Tapalpa, Jalisco, México. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 41(162), 34-61. <https://doi.org/10.24901/rehs.v41i162.710>
- Fabián-Plesníková, I., Sáenz-Romero, C., Cruz-De León, J., Martínez-Trujillo, M., Sánchez-Vargas, N.M. y Terrazas, T. (2021). Heritability and characteristics of resin ducts in *Pinus oocarpa* stems in Michoacán, Mexico. *IAWA Journal*, 42(3), 1-21. <https://doi.org/10.1163/22941932-bja10055>
- Fabián-Plesníková, I., Sáenz-Romero, C., de León, J.C., Martínez-Trujillo, M. y Sánchez-Vargas, N.M. (2020). Parámetros genéticos de caracteres de crecimiento en un ensayo de progenies de *Pinus oocarpa*. *Madera y Bosques*, 26, e2632014. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632014>
- Leyva-Ovalle, A., Velázquez-Martínez, A., Aldrete, A., Gómez-Guerrero, A. y Medina H. J. A. (2013). *La producción de resina de pino en México*. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México.
- López-Álvarez, Ó., Zas, R. and Marey-Pérez, M. (2023). Resin tapping: A review of the main factors modulating pine resin yield. *Industrial Crops and Products*, 202, 117105. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117105>
- Moctezuma-López, G. y Flores, A. (2020). Importancia económica del pino (*Pinus* spp.) como recurso natural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(60), 161-185. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i60.720>
- Muñoz-Flores, H. J., Hernández R. J., Sáenz-Reyes, J. T., Reynoso-Santos, R. y Barrera-Ramírez, R. (2022). Modelos predictivos de producción de resina en *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 128-154. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1188>
- Muñoz F. H. J., Sáenz R. J., Gómez C. M., Hernández R. J. y Barrera R. R. (2023). Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina. *Acta Universitaria*, 33, e3549. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3549>
- Puente-Villegas, S., Moreno-González, V., Labarga, V. D., Martínez, V. E y Acebes, A. J. (2017). El hombre y la resina de pino: desde su uso pasado hasta la actualidad con especial atención en España. *AmbioCiencias*, 15, 21-30. <https://doi.org/10.18002/ambioc.v0i0.5556>
- Quiroz-Carranza, J. A. y Magaña-Alejandro, M. A. (2015). Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. *Madera y Bosques*, 21(3), 171-183. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213466>
- Reyes-Ramos, A., Cruz-de León, J., Martínez-Palacios, A., Marc-Lobit, P. C., Ambríz-Parra, J. E. y Sánchez-Vargas, N. M. (2019).

- Caracteres ecológicos y dendrométricos que influyen en la producción de resina en *Pinus oocarpa* de Michoacán, México. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511414. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511414>
- Rojas-Rodríguez, G., Meza-Colín, J., Munro, A., García-Moreno, T., Morales-Hernández, F., Virgen-Ortiz, J. J., Salvador-Hernández, J. L., Rodríguez-García, G., del Río, R. E., Ramírez-Briones, E. y Gómez-Hurtado, M.A. (2025). Dynamics on resin production from *Pinus pringlei* and *Pinus devoniana* var. *cornuta* using chemical-stimulation strategy. *Brazilian Journal of Botany*, 48(40). <https://doi.org/10.1007/s40415-025-01081-8>
- Romero-Sanchez, M. E., Velasco-García, M. V., Perez-Miranda, R., Velasco-Bautista, E. and Gonzalez-Hernandez, A. (2022). Different modelling approaches to determine suitable areas for conserving Egg-Cone Pine (*Pinus oocarpa* Schiede) plus trees in the central part of Mexico. *Forests*, 13, 2112. <https://doi.org/10.3390/f13122112>
- Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, J. A. and Benítez-Benítez, R. (2021). Characterization and determination of the quality of resins and turpentine extracted from *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* resin. *Heliyon*, 7, e07834. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07834>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016*. SEMARNAT. Miguel Hidalgo, Cd. Mx, México. 228 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/file/282951/2016.pdf
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2018). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2018*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Ciudad de México, México, 2021; pp. 139–146. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/porta/publicaciones/2021/2018.pdf>
- Tellería-Mata, N., Villanueva, S. y Henríquez, M. (2018). Estudio de tendencia: aplicaciones de la colofonia y sus derivados. *INGENIERÍA UC*, 25(3), 325-337.
- Tellería-Mata, N., Villanueva, S. y Henríquez, M. (2019). Obtención de trementina y colofonia a partir de la resina de pino. Estado del arte. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 1(12), 17.
- Vázquez-González, C., López-Goldar, X., Alía, R., Bustingorri, G., José-Lario, F., Lema, M., de la Mata, R., Sampedro, L., Touza, R. and Zas, R. (2021). Genetic variation in resin yield and covariation with tree growth in maritime pine. *Forest Ecology and Management*, 482, 118843. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118843>
- Velasco-García, M.V. y Hernández-Hernández, A. (2024a). Altitudinal genetic variation of *Pinus oocarpa* seedling emergence in the southern mountains, Oaxaca, Mexico. *Seeds*, 3, 1–15. <https://doi.org/10.3390/seeds3010001>
- Velasco-García, M. V. y Hernández-Hernández, A. (2024b). Geographic and climatic variation in resin components and quality of *Pinus oocarpa* in Southern Mexico provenances. *Plants*, 13(13), 1755. <https://doi.org/10.3390/plants13131755>
- Villalba-Fonte, M. J. y Betancourt-Figueras, Y. P. (2011). Características de los canales resiníferos verticales en *Pinus caribaea* Morelet, var. *Caribaea* y su significación en la producción de resina. *Revista Forestal Baracoa*, 30(1), 67-72.
- Xiangyan, L., Bingli, Q., Xiaopeng, C., Xin, L., Jiezheng, L., Xiaojie, W. and Linlin, W. (2024). Quality aspects during pine resin storage: Appearance deterioration, turpentine chemical components change, kinetic model and insights into isomerization mechanisms. *Industrial Crops and Products*, 222(5), 120075. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120075>

DESCRIPCIÓN DE PLANTAS Y FRUTOS DE “CHILE DE AGUA” (*Capsicum annuum* L.) EN
ETLA, OAXACA

DESCRIPTION OF PLANTS AND FRUITS OF “CHILE DE AGUA” (*Capsicum annuum* L.) IN
ETLA, OAXACA

§Karen del Carmen Guzmán-Sebastián^{ib}, Estefanía Pérez-López^{ib}, Vicente Arturo Velasco-Velasco^{ib},
Hermila Cruz-García^{ib}, Cira Valeriano-Ruiz^{ib}

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Santa Cruz
Xoxocotlán-Oaxaca, México. §Autor de correspondencia: (karen_guzmansebastian@hotmail.com).

Resumen. La mayoría de los chiles que se consumen en México pertenecen a la especie *Capsicum annuum*. En Valles Centrales de Oaxaca se cultiva, comercializa y consume el “chile de agua”. Se realizó la caracterización morfológica de plantas y frutos, en cultivos establecidos a cielo abierto en San Sebastián de las Flores y San Pablo, ETLA, Oaxaca. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio, se registraron 11 variables en planta y 20 en frutos. Se utilizó la metodología del descriptor de *Capsicum* IPGR. Se identificaron frutos: elongados, triangulares y acampanulados en bloque; formas en el fruto en la unión del pedicelo: trunca, cordado y lobulado; formas del ápice: puntudo, romo, hundido y hundido-puntudo. Las plantas presentaron caracteres homogéneos y los frutos presentaron mayor variación fenotípica dentro de la población.

Palabras clave: caracterización, descriptor de *Capsicum*, morfología, morfotipo.

Abstract. Most of the *chili* peppers consumed in Mexico belong to the *Capsicum annuum* species. In the Central Valleys of Oaxaca, the “chile de agua” is grown, marketed, and consumed. The morphological characterization of plants and fruits was carried out in open-air crops in San Sebastián de las Flores and San Pablo, ETLA, Oaxaca. A completely randomized experimental design was used, and 11 variables were recorded in plants and 20 in fruits. The *Capsicum* IPGR descriptor methodology was used. The following fruit shapes were identified: elongated, triangular,

and bell-shaped in blocks; fruit shapes at the pedicel junction: truncated, cordate, and lobed; apex shapes: pointed, blunt, sunken, and sunken-pointed. The plants presented homogeneous characteristics, and the fruits presented greater phenotypic variation within the population.

Keywords: characterization, *Capsicum* descriptor, morphology, morphotype.

Introducción. El género *Capsicum* es nativo del continente americano, se han descrito más de 90 especies, de las cuales son cinco las más cultivadas: *Capsicum annuum* var. *annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* var. *pendulum* y *C. pubescens* (Toniolo et al., 2006). La especie *Capsicum annuum* es la más importante a nivel económico, incluye prácticamente todos los chiles que pueden consumirse en frescos, secos y procesados. La mayoría de los chiles que se consumen en México pertenecen a esta especie (Lesur, 2006), 200 variedades criollas registradas y 64 variedades domesticadas (Vela, 2009). En Oaxaca existen alrededor de 25 morfotipos.

Los morfotipos de *Capsicum annuum* frecuentemente cultivados en la región de Valles Centrales son los nombrados localmente como: “chile de agua” (Martínez-Sánchez et al., 2010; Escamirosa-Tinoco et al., 2021), “Tabiche”, “Tusta”, “Piquín”, “Solterito”, “Nanche” (Castellón-Martínez et al., 2012). Velasco-Velasco et al. (1998) consideran al chile de agua como una variedad endémica de la región de los

Valles Centrales de Oaxaca. Su cultivo es importante económicamente en la región (Pérez et al., 2008), considerado símbolo de la horticultura regional. Es por ello, que además del crecimiento vegetativo y rendimiento comúnmente estudiado, caracterizar morfológicamente la planta de chile de agua, tiene como fin obtener nuevos datos de esta hortaliza como la forma, tipo de ápice, epidermis, estructuras internas en el fruto y hábitos de crecimiento, entre otras variables, para posteriores estudios científicos sobre este cultivo, en la mejora de los caracteres deseables en la calidad del fruto, además de disminuir el sesgo en la identificación de los morfotipos que pertenecen al género *Capsicum*. El objetivo de este estudio fue describir las características morfológicas de la planta y frutos de chile de agua, con base al descriptor para el género *Capsicum* en cultivos establecidos a cielo abierto en San Sebastián de las Flores, San Pablo, Etna, Oaxaca.

Desarrollo. Durante el ciclo otoño-invierno 2023, en la localidad de San Sebastián de las Flores, Etna, Oaxaca, se recolectaron diferentes plantas de chile de agua para obtener el material biológico. Las muestras del material vegetal se obtuvieron durante la etapa de producción de frutos. Las plantas se caracterizaron con base al descriptor de *Capsicum* (IPGRI, 1995).

La germinación se realizó en condiciones de invernadero tipo túnel con malla sombra, se sembraron en charolas de unicel de 200 cavidades de 22 mL, con un sustrato a base de Peat Moss®. El trasplante se realizó a los 40 días en I ha a cielo abierto, se utilizó acolchado de plástico con perforación a tresbolillo. La distancia entre surcos fue de 1.60 m, entre hileras 0.40 m y entre plántula de 0.35 m, con densidad de siembra de 40 000

plantas ha⁻¹. Para el suministro de agua se utilizó el sistema de riego por goteo. Una vez recolectados los frutos de la primera cosecha, se realizó el registro de datos (IPGRI, 1995). Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio (DCA) y se realizó un análisis de correlación de Pearson ($p \leq 0.05$) entre las variables registradas. Se seleccionó un tamaño de muestra de $n = 50$ plantas al azar.

En las plantas se midió la altura y ancho de la planta (cm), hábito de crecimiento, diámetro y longitud del tallo (cm), densidad de ramificación y hojas, color y forma de la hoja, margen de la lámina foliar y pubescencia de la hoja (cm). En el fruto: días a fructificación, manchas o rayas antocianínicas, color en estado intermedio y maduro, prendimiento (cuajado), periodo de fructificación, forma del fruto, longitud (cm) y ancho del fruto (mm), longitud del pedicelo (mm), espesor de la pared (mm), peso del fruto (g), forma del fruto en la unión con el pedicelo, forma del ápice, tipo de epidermis, arrugamiento transversal del fruto, número de lóculos, persistencia del fruto maduro, longitud de la placenta y condición de mezcla varietal (IPGRI, 1995).

La planta de chile de agua presenta un ciclo de vida anual, de 66 a 85 cm de altura promedio y hábito de crecimiento intermedio, se pueden encontrar plantas con crecimiento erecto, el tipo de ramificación es densa, las hojas son de color verde oscuro en forma lanceolada con un margen ondulado, longitud promedio de 9.1 cm y ancho de 3.5 cm, muestra pubescencia escasa, tallo cilíndrico color verde, antocianinas del mismo color con escasa pubescencia (**Figura I**).

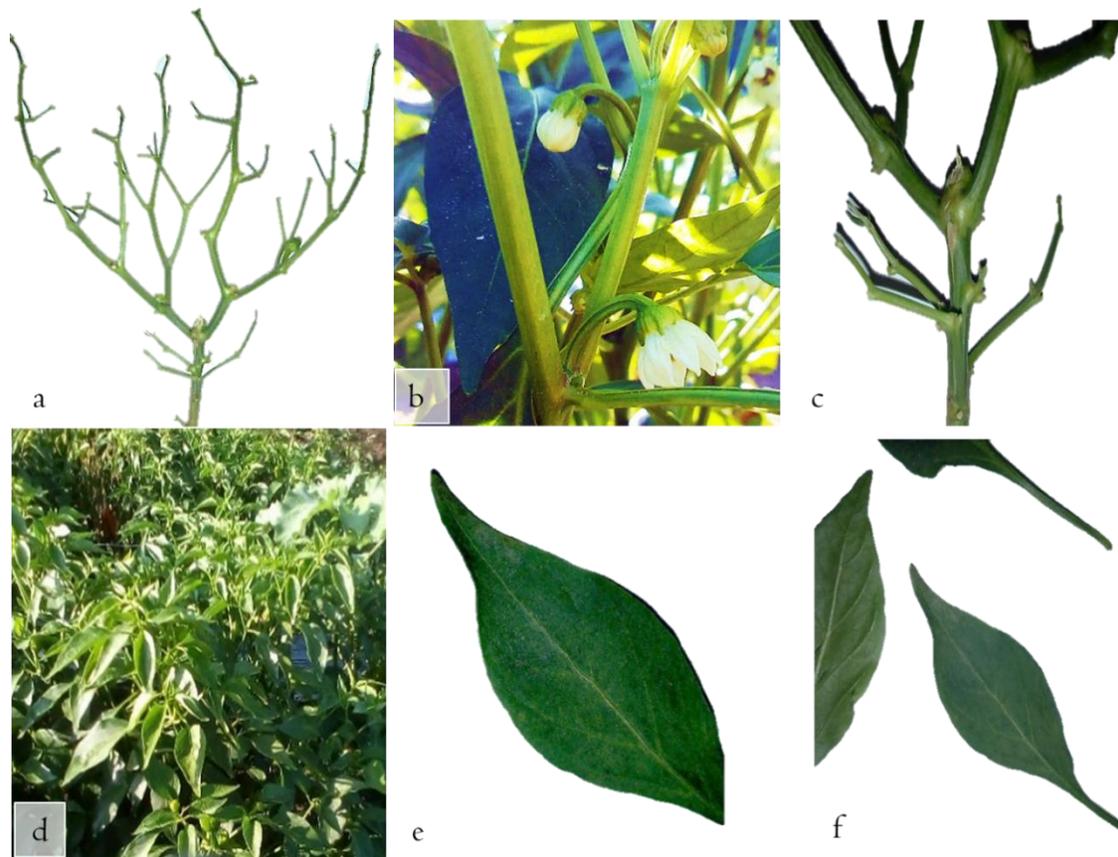


Figura 1. a) Hábito de crecimiento intermedio, b) tallo cilíndrico verde, c) pubescencia del tallo escasa, d) densidad de ramificación alta, e) hoja color verde oscuro y forma lanceolada y f) pubescencia escasa.

El fruto presenta coloración verde en maduración intermedia o comercial, y rojo en maduración fisiológica. Presenta cáliz con margen dentado sin construcción anular y prendimiento del fruto es alto. Se encontraron diferentes formas: elongados, triangulares y acampanulados en bloque; longitud de 9.98 cm en promedio, los frutos más grandes pueden llegar a medir 13.0 cm. En otros frutos de chile de agua se encontraron entre 9.0 y 10.5 cm de longitud (Martínez-Sánchez et al., 2010; Montes, 2021) y en condiciones bajo cubierta, Cruz-Andrés et al. (2022) registraron el mayor peso, diámetro y longitud significativo del fruto en un cultivar originario del municipio de Ejutla. Se registró un promedio de 3.5 cm de ancho. El espesor de la pared se encontró de 0.31 mm en la unión del pedicelo.

Se identificaron diferentes formas del fruto en la unión del pedicelo: trunca, cordado y lobulado; se registró ausencia del cuello en la base del fruto.

Forma del ápice del fruto: puntudo, romo, hundido y hundido-puntudo; ausencia del vestigio de la floración. Arrugamiento transversal: levemente corrugado, intermedio y muy corrugado. Lóculos entre 5 y 7 cámaras; epidermis lisa y semirrugosa; longitud de la placenta presente en más de la mitad del fruto; con condición en la mezcla varietal importante (**Figura 2**).

Carrillo et al. (2009), identificaron que un factor significativo que influye en la morfología y crecimiento de las plántulas de chile de agua es la procedencia de la semilla o colecta. Narez-Jiménez et al. (2014), evidenciaron una gran diversidad

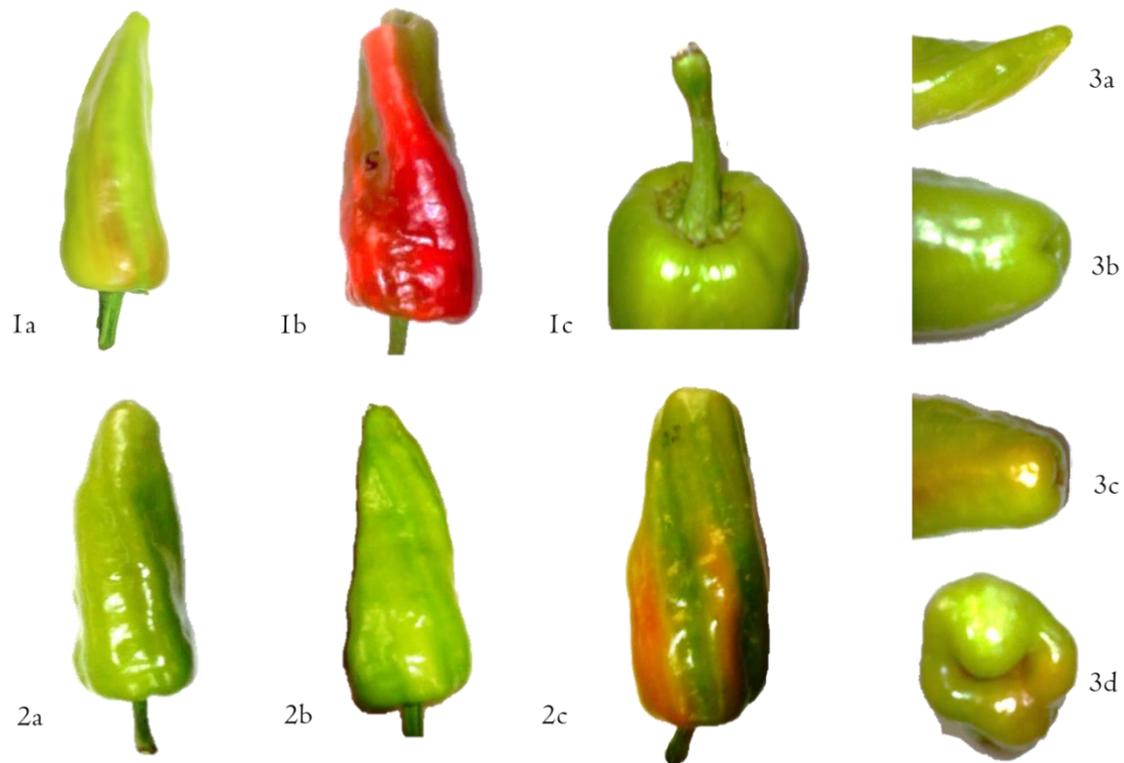


Figura 2. Características del fruto usando el descriptor de *Capsicum*. 1a) color del fruto en estado intermedio, 1b) en estado maduro, 1c) forma lobulada del fruto en la unión con el pedicelo. Forma: 2a) elongada, 2b) triangular, 2c) acampanulado y en bloque. Ápice: 3a) puntudo, 3b) romo, 3c) hundido- puntudo, 3d) hundido.

Tabla I. Correlación de Pearson ($\alpha \leq 0.05$) entre las variables morfológicas de fruto en plantas de chile de agua, de San Sebastián de las Flores, Etlá, Oaxaca.

	LF	AF	EPH	EPV	NL	LP	DP	LPL	NS
PF	0.70**	0.61**	0.47**	0.18 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.77**	0.46**
LF		0.30*	0.26 ^{ns}	0.20 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.97**	0.1 ^{ns}
AF			0.41*	0.38*	0.42*	0.19 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.40*	0.50**
EPH				0.42*	0.34*	-0.06 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.31*	0.36*
EPV					0.35*	0.01 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.22 ^{ns}
L						0.11 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.25 ^{ns}
LP							0.24 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.03 ^{ns}
DP								0.12 ^{ns}	-0.11 ^{ns}
LPL									0.24 ^{ns}

PF = peso unitario de fruto, LF = longitud de fruto, AF = ancho de fruto, EPH = espesor de pared horizontal, EPV = espesor de pared vertical, NL = número de lóculo, LP = longitud pedicelo, DP = diámetro de pedúnculo, LPL = longitud de placenta, NS = número de semillas. *Significativa ($p \leq 0.05$), **altamente significativa ($p \leq 0.01$), ^{ns}no significativa ($p > 0.05$).

morfológica en diferentes frutos de *Capsicum*. Estos resultados robustecen que cada morfotipo presenta características únicas, como lo es el morfotipo chile de agua.

En las variables morfológicas cuantitativas evaluadas se encontró relación positiva altamente significativa ($p \leq 0.05$) entre la longitud del fruto y de la placenta ($r = 0.97$). Esto indica que el tamaño de la placenta aumenta o disminuye respecto de la longitud de fruto. De igual manera, el peso del fruto se correlacionó con la longitud ($r = 0.77$), ya que el peso y longitud del fruto son características importantes en la formación del fruto (Ramírez-Novoa et al., 2018) e interés económico de los frutos (Montaño-Lugo et al., 2014). Para el resto de las variables las correlaciones fueron bajas (Tabla I).

Prospectiva. El hábito de crecimiento de las plantas es homogéneo. Los frutos presentan mayor variación en tamaño, formas de ápice, unión del pedicelo y del fruto mismo. Estas características permiten observar las variaciones dentro de la población. Quizás a largo plazo, se puedan obtener subclasificaciones y generar descriptores específicos para chile de agua.

El productor al contar con diferentes características físicas en los frutos, tiene la oportunidad de ofrecer al mercado diversidad de formas y tamaños del fruto con diferente valor comercial. Los productores para la venta clasifican a los frutos en primera, segunda y tercera calidad, lo que se traduce en mejores y mayores ventas económicas. Por lo que es importante determinar las características físicas del fruto desde el momento de la cosecha. Lo anterior permite asegurar la economía de las familias oaxaqueñas.

REFERENCIAS

Carrillo, E. P., Mejía C. J. A., Carballo C. A., García de los S. G., Aguilar R. V. H. & Corona T. T. (2009). Calidad de semilla en colectas de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) de los Valles Centrales de Oaxaca,

México. *Agricultura Técnica en México*, 35(3), 257-266.

Castellón-Martínez, E., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C. y Vera-Guzmán, A. M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 27-35. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.Especi al 5.27>

Cruz-Andrés, O. R., Escamirosa, T. C. y Martínez-Gutiérrez, G. A. (2022). Evaluación del chile agua (*Capsicum annuum*) cultivado dentro de macrotúneles con distintas cubiertas. *Universidad y Ciencia, II*(Especial CIVITEC), 66-77.

Escamirosa-Tinoco, C., Martínez-Gutiérrez, G.A., Morales, I., Aquino-Bolaños, T., Cortés-Martínez, C.I. y Cruz-Andrés, O.R. (2021). Rendimiento de chile de agua bajo diferentes cubiertas de macrotúnel. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 333-340. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.333>

IPGRI. (1995). *Descriptors for Capsicum (Capsicum spp.)*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación Relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán, y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Lesur, L. (2006). *Manual del cultivo de chile: una guía paso a paso*. México: Trillas.

Martínez-Sánchez, D., Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, J.E. & Moreno P. E. del C. (2010). Colecta y caracterización morfológica de 'Chile de Agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 169-176.

Montaño-Lugo, M. L., Velasco-Velasco, V. A., Ruiz-Luna, J., Campos-Ángeles, G. V., Rodríguez-Ortiz, G. y Martínez-Martínez, L. (2014). Contribución al conocimiento etnobotánico del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 503-511.

- Montes, G. L. A., Velasco V. V. A., Paredes R, S. (2021). Determinación de capsaicina y nutrimentos en los frutos de chile de agua (*Capsicum annuum* L.). En: *Innovación en procesos bioproductivos*. Editorial Red Iberoamericana de Academias de Investigación A. C. Veracruz, México. pp. 55-67.
- Narez-Jiménez C. A., de-la-Cruz-Lázaro, E., Gómez-Vázquez, A., Castañón-Nájera, G., Cruz-Hernández, A. y Márquez-Quiroz, C. (2014). La diversidad morfológica *in situ* de chiles silvestres (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 209-215.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2014.3.209>
- Pérez C., L. M., Castañón N., G. y Mayek P., N. (2008). Diversidad morfológica de chiles (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. *Cuadernos de Biodiversidad*, 37(3), 209-215.
<https://doi.org/10.14198/cdbio.2008.27.02>
- Toniolo, P. M., Schifino W. M.T. & De Bem-Bianchetti, L. (2006). Chromosome numbers in wild and semidomesticated Brazilian *Capsicum* L. (Solanaceae) species: do $x = 12$ and $x = 13$ represent two evolutionary lines?, *Botanical Journal of Linnean Society*, 151(2), 259-269. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00503.x>
- Ramírez-Novoa, U. I., Cervantes O. F., Montes H. S., Raya P. J.C., Cibrián J. A. y Andrio E. E. (2018). Diversidad morfológica del chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) de Querétaro y Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(6), 1159-1170.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v9i6.1581>
- Vela, E. (2009). Los chiles de México, catálogo visual. *Arqueología Mexicana*. (32).
- Velasco-Velasco, V. A., Trinidad-Santos, A., Tirado-Torres, J.L. Téliz-Ortíz, D., Martínez-Garza, A. y Cadena-Hinojosa, M. (1998). Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile de agua infectadas con virus. *Terra Latinoamericana*, 16(4):317-324.