

AGRO
PRODUCTIVIDAD



Relación de índices fotográficos
y NDVI con la producción
de biomasa seca en
triticale
(× *Triticosecale wittmack*)
en el valle de Mexicali

pág. 29

Año 13 • Volumen 13 • Número 1 • enero, 2020

- Producción agroecológica de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) como estrategia para la seguridad alimentaria en Campeche, México 3
- Principales enfermedades fúngicas de las orquideas 9
- Prácticas utilizadas para la producción y mejora de la productividad de un módulo agroforestal 15
- Distribución potencial del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida* Nelson 1903) en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México 23
- Preparación y caracterización de bioplástico a partir de almidón del fruto de pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg) 37
- Calidad de aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart: alternativa para la producción de biodiesel en México 43

y más artículos de interés...

3	Agroecological production of codorniz (<i>Coturnix coturnix japonica</i>) as strategy for food security in Campeche, Mexico / Producción agroecológica de codorniz (<i>Coturnix coturnix japonica</i>) como estrategia para la seguridad alimentaria en Campeche, México.
9	Main fungal diseases of the orchids / Principales enfermedades fúngicas de las orquídeas.
15	Practices used to production and to improve productivity of an agroforestry module / Prácticas utilizadas para la producción y mejora de la productividad de un módulo agroforestal.
23	Potential distribution of the Mexican spotted owl (<i>Strix occidentalis lucida</i> Nelson 1903) in Aguascalientes, Durango, Jalisco and Zacatecas, Mexico / Distribución potencial del tecolote moteado mexicano (<i>Strix occidentalis lucida</i> Nelson 1903) en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México.
29	Relationship of photographic indexes and NDVI values to dry biomass production in triticale (× <i>Triticosecale wittmack</i>) in the Mexicali valley / Relación de índices fotográficos y NDVI con la producción de biomasa seca en triticale (× <i>Triticosecale wittmack</i>) en el valle de Mexicali.
37	Preparation and characterization of bioplastic from breadfruit (<i>Artocarpus altilis</i> (S. Park) Fosberg) starch / Preparación y caracterización de bioplástico a partir de almidón del fruto de pan de sopa (<i>Artocarpus altilis</i> (S. Park) Fosberg).
43	Pulp oil quality of <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Ex Mart: Alternative for biodiesel production in Mexico / Calidad de aceite de pulpa de <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. Ex Mart: alternativa para la producción de biodiesel en México.
51	Use of artificial drinking fountains by the Central American agouti (<i>Dasyprocta punctata</i>) in the Calakmul biosphere reserve in Mexico / Uso de bebederos artificiales por el sereque centroamericano (<i>Dasyprocta punctata</i>) en la Reserva de la biosfera Calakmul, México
59	The infective capacity of propagules of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in sugarcane (<i>Saccharum</i> spp.) / La capacidad infectiva de propágulos de hongos micorrizicos arbusculares en caña de azúcar (<i>Saccharum</i> spp.).
67	The tlacoyo as a food resource, and its relationship with the local tourist offer: Cases Texcoco and Chiconcuac, Mexico / El tlacoyo como recurso alimentario y su relación con la oferta turística local: Casos Texcoco y Chiconcuac, México.
75	Soil organic carbon stocks and ectomycorrhizal abundance under two trees species at Nevado de Toluca, Mexico / Almacén de carbono orgánico del suelo y abundancia ectomicorrízica bajo dos especies de coníferas en el Nevado de Toluca, México.

Comité Científico

Dr. Giuseppe Colla
University of Tuscia, Italia
ORCID: 0000-0002-3399-3622

Dra. Magaly Sánchez de Chial
Universidad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-6393-9299

Dra. Maritza Escalona
Universidad de Ciego de Ávila, Cuba
ORCID: 0000-0002-8755-6356

Dr. Kazuo Watanabe
Universidad de Tsukuba, Japón
ORCID: 0000-0003-4350-0139

Dra. Ryoko Machida Hirano
Organización Nacional de Investigación en Agricultura y Alimentación (NARO-Japón)
ORCID: 0000-0002-7978-0235

Dr. Ignacio de los Ríos Carmenado
Universidad Politécnica de Madrid, España
ORCID: 0000-0003-2015-8983

Dra. María de Lourdes Arévalo Galarza
Colegio de Postgraduados, México
ORCID: 0000-0003-1474-2200

Dra. Libia Iris Trejo Téllez
Colegio de Postgraduados, México
ORCID: 0000-0001-8496-2095

Comité Editorial

Dr. Rafael Rodríguez Montessoro[†] — *Director Fundador*
Dr. Jorge Cadena Iñiguez — *Editor en Jefe*
Dr. Fernando Carlos Gómez Merino — *Editor de sección*
Dr. Ángel Bravo Vinaja — *Curador de metadatos*
M.A. Ana Luisa Mejía Sandoval — *Asistente*
M.C. María Isabel Iñiguez Luna — *Asistente*
M.C. Valeria Abigail Martínez Sias — *Diagramador*
Lic. Hannah Infante Lagarda — *Filólogo*
Biól. Valeria J. Gama Ríos — *Traductor*
Téc. Mario Alejandro Rojas Sánchez — *Diseñador*

Directrices para Autores/as

Naturaleza de los trabajos: Las contribuciones que se reciban para su eventual publicación deben ser resultados originales derivados de un trabajo académico de alto nivel sobre los tópicos presentados en la sección de temática y alcance de la revista.

Extensión y formato: Los artículos deberán estar escritos en procesador de textos, con una extensión de 15 cuartillas, tamaño carta con márgenes de 2.5 centímetros, Arial de 12 puntos, interlineado doble, sin espacio entre párrafos. Las páginas deberán estar foliadas desde la primera hasta la última en el margen inferior derecho. La extensión total incluye abordaje textual, bibliografía, gráficas, figuras, imágenes y todo material adicional. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las secciones principales del artículo deberán escribirse en mayúsculas, negritas y alineadas a la izquierda. Los subtítulos de las secciones se escribirán con mayúsculas sólo la primera letra, negritas y alineadas a la izquierda.

Exclusividad: Los trabajos enviados a Agro Productividad deberán ser inéditos y sus autores se comprometen a no someterlos simultáneamente a la consideración de otras publicaciones; por lo que es necesario adjuntar este documento: Carta de originalidad.

Frecuencia de publicación: Cuando un autor ha publicado en la revista como autor principal o de correspondencia, deberá esperar tres números de ésta para publicar nuevamente como autor principal o de correspondencia.

Idiomas de publicación: Se recibirán textos en español con títulos, resúmenes y palabras clave en español e inglés.

ID Autores: El nombre de los autores se escribirán comenzando con el apellido o apellidos unidos por guion, sólo las iniciales del nombre, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Es indispensable que todos y cada uno de los autores proporcionen su número de identificador normalizado ORCID, para mayor información ingresar a (<https://orcid.org>).

Institución de adscripción: Es indispensable señalar la institución de adscripción y país de todos y cada uno de los autores, indicando exclusivamente la institución de primer nivel, sin recurrir al uso de siglas o acrónimos. Se sugiere recurrir al uso de la herramienta wayta (<http://wayta.scielo.org/>) de Scielo para evitar el uso incorrecto de nombres de instituciones.



Año 13, Volumen 13, Número 1, enero 2020, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203. ISSN: 2594-0252, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, M.C. Valeria Abigail Martínez Sias. Fecha de última modificación, 31 de enero de 2020.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Contacto principal

8 Jorge Cadena Iñiguez
📍 Guerrero 9, esquina avenida Hidalgo, C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.
✉ agroproductividadeditor@gmail.com

Contacto de soporte

8 Soporte
☎ 01(595) 928 4703
✉ agroproductividadesoporte@gmail.com

Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Anonimato en la identidad de los autores: Los artículos no deberán incluir en ni en cuerpo del artículo, ni en las notas a pie de página ninguna información que revele su identidad, esto con el fin de asegurar una evaluación anónima por parte de los pares académicos que realizarán el dictamen. Si es preciso, dicha información podrá agregarse una vez que se acredite el proceso de revisión por pares.

Estructura de los artículos: Los artículos incluirán los siguientes elementos: Título, title, autores y adscripción, abstract, keywords, resumen, palabras clave, introducción, objetivos, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones y literatura citada en formato APA.

Título: Debe ser breve y reflejar claramente el contenido, deberá estar escrito en español e inglés. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en itálicas. No deberá contener abreviaturas ni exceder de 20 palabras, se usará solo letras mayúsculas, en negritas, centrado y no llevará punto final.

Resumen y Abstract: Deberá integrarse un resumen en inglés y español (siguiendo ese orden), de máximo 250 palabras, donde se destaque obligatoriamente y en este orden: a) objetivo; b) diseño / metodología / aproximación; c) resultados; d) limitaciones / implicaciones; e) hallazgos/ conclusiones. El resumen no deberá incluir citas, referencias bibliográficas, gráficas ni figuras.

Palabras clave y Keywords: Se deberá incluir una lista de 3 a 5 palabras clave en español e inglés que permitan identificar el ámbito temático que aborda el artículo.

Introducción: Se asentará con claridad el estado actual del conocimiento sobre el tema investigado, su justificación e importancia, así como los objetivos del trabajo. No deberá ser mayor a dos cuartillas.

Materiales y Métodos: Se especificará cómo se llevó a cabo la investigación, incluyendo el tipo de investigación, diseño experimental (cuando se traten de investigaciones experimentales), equipos, substancias y materiales empleados, métodos, técnicas, procedimientos, así como el análisis estadístico de los datos obtenidos.

Resultados y Discusión: Puede presentarse en una sola sección. En caso de presentarse de forma separada, la discusión debe enfocarse a comentar los resultados (sin repetirlos), en términos de sus características mismas, su congruencia con la hipótesis planteada y sus semejanzas o diferencias con resultados de investigaciones similares previamente realizadas.

Conclusiones: Son la generalización de los resultados obtenidos; deben ser puntuales, claras y concisas, y no deben llevar discusión, haciendo hincapié en los aspectos nuevos e importantes de los resultados obtenidos y que establezcan los parámetros finales de lo observado en el estudio.

Agradecimientos: Son opcionales y tendrán un máximo de tres renglones para expresar agradecimientos a personas e instituciones que hayan contribuido a la realización del trabajo.

Cuadros: Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Los cuadros deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Cuadro 1. Título), y se colocarán en la parte superior. Al pie del cuadro se incluirán las aclaraciones a las que se hace mención mediante un índice en el texto incluido en el cuadro. Se recomienda que los cuadros y ecuaciones se preparen con el editor de tablas y ecuaciones del procesador de textos.

Uso de siglas y acrónimos: Para el uso de acrónimos y siglas en el texto, la primera vez que se mencionen, se recomienda escribir el nombre completo al que corresponde y enseguida colocar la sigla entre paréntesis. Ejemplo: Petróleos Mexicanos (Pemex), después sólo Pemex.

Elementos gráficos: Corresponden a dibujos, gráficas, diagramas y fotografías. Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Las figuras deben numerarse

progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Figura 1. Título), y se colocarán en la parte inferior. Las fotografías deben ser de preferencia a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF O RAW. El autor deberá enviar 2 fotografías adicionales para ilustrar la página inicial de su contribución. Las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS).

Unidades. Las unidades de pesos y medidas usadas serán las aceptadas en el Sistema Internacional.

Citas bibliográficas: deberán insertarse en el texto abriendo un paréntesis con el apellido del autor, el año de la publicación y la página, todo separado por comas. Ejemplo (Zheng *et al.*, 2017). El autor puede introducir dos distintos tipos de citas:

Citas directas de menos de 40 palabras: Cuando se transcriben textualmente menos de 40 palabras, la cita se coloca entre comillas y al final se añade entre paréntesis el autor, el año y la página. Ejemplo:

Alineado al Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, (DOF, 2013), el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018 establece "Construir un nuevo rostro del campo sustentado en un sector agroalimentario productivo, competitivo, rentable, sustentable y justo que garantice la seguridad alimentaria del país" (DOF, 2013).

Citas indirectas o paráfrasis: Cuando se interpretan o se comentan ideas que son tomadas de otro texto, o bien cuando se expresa el mismo contenido pero con diferente estructura sintáctica. En este caso se debe indicar el apellido del autor y el año de la referencia de donde se toman las ideas. Ejemplo:

Los bajos rendimientos del cacao en México, de acuerdo con Avendaño *et al.* (2011) y Hernández-Gómez *et al.* (2015); se debe principalmente a la edad avanzada de las plantaciones.

Las referencias bibliográficas: al final del artículo deberán indicarse todas y cada una de las fuentes citadas en el cuerpo del texto (incluyendo notas, fuentes de los cuadros, gráficas, mapas, tablas, figuras etcétera). El autor(es) debe revisar cuidadosamente que no haya omisiones ni inconsistencias entre las obras citadas y la bibliografía. Se incluirá en la lista de referencias sólo las obras citadas en el cuerpo y notas del artículo. La bibliografía deberá presentarse estandarizada recurriendo a la norma APA, ordenarse alfabéticamente según los apellidos del autor.

De haber dos obras o más del mismo autor, éstas se listan de manera cronológica iniciando con la más antigua. Obras de un mismo autor y año de publicación se les agregará a, b, c... Por ejemplo:

Ogata N. (2003a).

Ogata N. (2003b).

Artículo de revista:

Wang, P., Zhang, Y., Zhao, L., Mo, B., & Luo, T. (2017). Effect of Gamma Rays on *Sophora davidii* and Detection of DNA Polymorphism through ISSR Marker [Research article]. <https://doi.org/10.1155/2017/8576404>

Libro:

Turner J. (1972). Freedom to build, dweller control of the housing process. New York: Macmillan.

Uso de gestores bibliográficos: Se dará prioridad a los artículos enviados con la bibliografía gestionada electrónicamente, y presentada con la norma APA. Los autores podrán recurrir al uso de cualquier gestor disponible en el mercado (Reference Manager, Crossref o Mendeley entre otros), o de código abierto tal como Refworks o Zotero.

Agroecological production of codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) as strategy for food security in Campeche, Mexico

Producción agroecológica de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) como estrategia para la seguridad alimentaria en Campeche, México

López-Salazar S.E.¹, Flota-Bañuelos Carolina^{2*}, Fraire-Cordero, Silvia²

¹Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, Champotón, Campeche, México. C. P. 24400. ²CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, Champotón, Campeche, México. C. P. 24400.

*Autor para correspondencia: cflota@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To design an agroecological system using foliage of two local species to assess quail productivity (*Coturnix coturnix japonica*).

Design/methodology/approach: 150 birds were used, divided into three treatments of feeding: T1, *Moringa oleifera*; T2, *Leucaena leucocephala*; and T3, Commercial food. Consumption and rejection in all three treatments were measured for 15 days, weight gain was evaluated and the number of eggs was counted. The data were analyzed under a design of measures repeated over time, to subsequently perform the comparison of means using the Tukey test with a significance of 95% with the statistical program v7.

Results: Quails fed with moringa and leucaena foliage only consumed 23%, compared to those fed with commercial concentrate that ate the 100% offered. There was no difference between the final weights and the daily weight gain between the quails fed with moringa and the control group. The number of eggs was higher in the quail that consumed the foliage ($P \leq 0.05$), compared to those fed with commercial food.

Limitations on study/implications: Using more than 30% of both forage plants can cause negative effects on weight gain, because these birds have the ability to restrict their consumption.

Findings/conclusions: The use of *M. oleifera* and *L. leucocephala* makes it feasible the production of quail meat and eggs in the short term, which are essential foods for the protein contribution of family members.

Keywords: Coturniculture, agroecology, forage plants, protein.

RESUMEN

Objetivo: Diseñar un sistema agroecológico utilizando follaje de dos especies forrajeras locales para evaluar la productividad de la codorniz (*Coturnix coturnix japonica*).



Diseño/metodología/aproximación: Se utilizaron 150 aves, divididas en tres tratamientos de alimentación: T1, *Moringa oleifera*; T2, *Leucaena leucocephala*; y T3, Alimento comercial. Durante 15 días se midió el consumo y el rechazo en los tres tratamientos, se evaluó la ganancia de peso y se contó el número de huevos. Los datos fueron analizados bajo un diseño de medidas repetidas en el tiempo, para posteriormente realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey con una significancia del 95 % con el programa Statística v7.

Resultados: Las codornices alimentadas con follajes de moringa y leucaena sólo consumieron el 23%, en comparación de las alimentadas con concentrado comercial que comieron el 100% ofrecido. No hubo diferencia entre los pesos finales y la ganancia diaria de peso entre las codornices alimentadas con moringa y el grupo testigo. El número de huevos fue mayor en las codornices que consumieron los follajes ($P \leq 0.05$), en comparación con las alimentadas con alimento comercial.

Limitaciones del estudio/implicaciones: El utilizar más del 30% de ambas plantas forrajeras puede causar efectos negativos en la ganancia de peso, debido a que estas aves tienen la capacidad de restringir su consumo.

Hallazgos/conclusiones: El uso de las especies *M. oleifera* y *L. leucocephala* posibilita la producción de carne y huevo de codornices a corto plazo, los que representan alimentos fundamentales para el aporte proteico a los integrantes de las familias.

Palabras Clave: Coturnicultura, agroecología, plantas forrajeras, proteína.

esta especie muestra un rendimiento de 76% de carne, 14% de piel y un 10% de hueso (Santos *et al.*, 2012). Por lo tanto, la implementación de coturnicultura en zonas rurales de Campeche, puede ser una buena alternativa y oportunidad de obtención de alimento a corto plazo y de buena calidad. El objetivo del trabajo fue diseñar un sistema agroecológico utilizando follaje de especies locales para evaluar la productividad de la codorniz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El trabajo se llevó a cabo de junio a diciembre de 2018 en el Colegio de Postgraduados Campus Campeche, localizado en Sihochac, municipio de Champotón, Campeche, México; ubicado a 19° 29' 51.79" N y 90° 32' 45.01" O, a 24 msnm. El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano (García, 2004), presentando una temperatura media anual de 26° C (INEGI, 2017).

Implementación de módulo y manejo de codornices

Para realizar el módulo para las codornices, se rediseñaron y reusaron unas jaulas, para que tuvieran espacio de 100 cm² por cada ave y evitar en hacinamiento. Posteriormente se recolectaron tubos de PVC en desuso y se realizaron modificaciones para adecuarlas como comederos, finalmente se adquirieron bebederos tipo copa para adaptarlas a las jaulas, para que tengan acceso *ad libitum* (Figura 1).

Se utilizaron 150 codornices de 20 días de edad, distribuidas al azar, divididas 50 aves por cada tratamiento alimenticio. T1 correspondió a ofrecer forraje de *Leucaena leucocephala*. En T2 se ofreció *Moringa oleifera*; y en T3 se ofreció alimento

INTRODUCCIÓN

Se estima que existen más de 795 millones de personas que presentan algún grado de desnutrición, por falta de acceso a recursos alimenticios (FAO, 2019). En México, los estados con más altos índices de desnutrición se ubican en el sureste. En Campeche, se reportaron de 165 a 261 millones de personas carentes de alimentación del 2008 a 2018 (CONEVAL, 2019). Una de las causas principales de este incremento se debe a la competencia que existe entre la producción de materias primas para el consumo humano y para la alimentación de animales (FAO, 2010). Por consiguiente, uno de los desafíos, es cumplir con los requerimientos de proteína para la población, que sean de bajo costo, con alta disponibilidad, y que puedan utilizarse con la finalidad de reemplazar los alimentos convencionales (Olugbemi *et al.*, 2010; Thornton, 2010; Abouelezz *et al.*, 2011; Melesse *et al.*, 2011). Actualmente existen sistemas de producción alternativos, bajo el esquema agroecológico, que minimizan el impacto ambiental, promueven el bienestar animal y abastecen las necesidades nutricionales de los animales (Gliessman *et al.*, 2007). En este sentido, la coturnicultura se basa en la producción de codorniz, que puede ser la especie *Coturnix coturnix japonica*. Ésta es una especie que se ha extendido en casi todo el mundo, debido a su rusticidad, reproducción rápida en comparación con el pollo o el pavo (Obregón *et al.*, 2012), presenta madurez sexual temprana, mejor resistencia a las enfermedades (Abbas *et al.*, 2015), alta producción de huevo y carne (Tarhyel *et al.*, 2012; Ismail *et al.*, 2015). Además,

comercial, como testigo. Se implementó un proceso de adaptación en un periodo de 5 días. Los tratamientos alimenticios se ofrecieron a cada grupo diariamente en cantidades de 150 g durante 15 días y complementado con alimento concentrado, a fin de cubrir los requerimientos nutricionales de la codorniz (NRC, 1994) (Figura 2).

Al término de la prueba se evaluó el consumo del follaje, en un periodo de 2 horas (8:00-10:00 h) y restando el rechazo (Balami et al., 2012; Santos-Ricalde et al., 2017), la ganancia de peso se midió con el peso final y peso inicial entre el número de días, y el número de huevos se registró en horarios de 8:00 y 16:00 h.

Los datos fueron analizados a bajo un diseño de medidas repetidas en el tiempo. Las medias de las variables

consumo de follaje, ganancia de peso y postura, en los tres tratamientos, se compararon con la prueba de Tukey con una significancia de 95%, analizando con el programa Statistica v7.

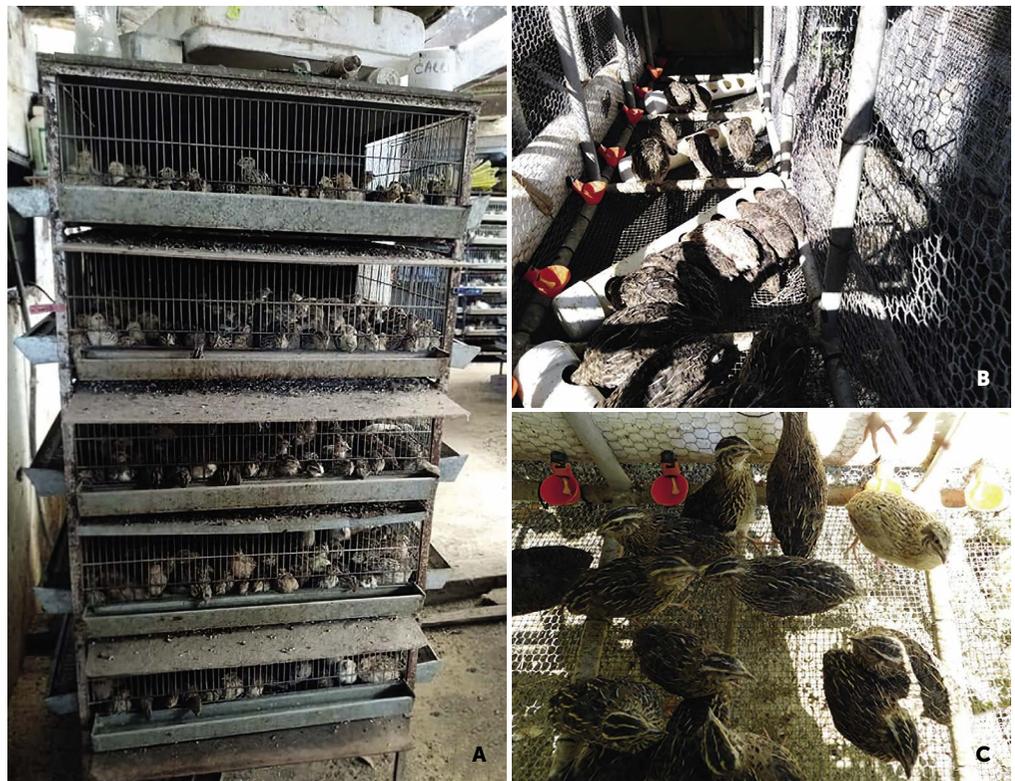


Figura 1. A) Jaulas tipo batería para crianza de codornices, B) y C) Jaulas y tubos rediseñadas y adaptadas para codornices.



Figura 2. A) Sistema silvopastoril de *M. oleifera* y *L. leucocephala*, B) Secado de follaje de *L. leucocephala*, C) *L. leucocephala* molida, D) *M. oleifera* molida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mayor consumo lo presentó el grupo testigo ($P \leq 0.05$), en el cual las codornices consumieron el 100% del alimento comercial comparado con los follajes. Con relación al consumo de follaje, se observó que no existió diferencia entre moringa y leucaena, con consumos de 35 g en promedio (Cuadro 1). Estas cantidades consumidas son similares con las registradas por Abouelezz et al. (2011), en gallinas ponedoras alimentadas con hojas de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala*, demostrando que estas aves fueron capaces de consumir hasta 10% de *M. oleifera* y *L. leucocephala* de su ingesta total diaria. Abdullahi-Mahmud et al. (2016), demostraron que un aumento en el porcentaje de moringa del 10, 15 y 20%, tiende a disminuir la ingesta alimenticia en pollos de engorda.

Cuadro 1. Productividad de las codornices alimentadas con leucaena y moringa.

Tratamiento	Consumo (g)	peso inicial	peso final	GDP (g)	Número de huevos
T1: Leucaena	34.68b	0.085	0.142	0.015	44a
T2: Moringa	36.17b	0.084	0.148	0.016	55a
T3: Testigo	150a	0.086	0.184	0.02	10b

Letras distintas en cada columna, indican diferencias estadísticas sigfigativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$). GDP: Ganancia diaria de peso.

Los pesos iniciales, finales y la ganancia diaria de peso no mostraron diferencias significativas entre las codornices alimentadas con moringa y el grupo testigo (Cuadro 1). Esto es similar a lo reportado por Gadzirayi *et al.* (2012, quienes al incluir la harina de *Moringa oleifera* como suplemento proteico en las dietas de pollos de engorda con un nivel de inclusión del 25% produce y una tasa de crecimiento similar en comparación con aquellos alimentados con alimentos comerciales. Sin embargo, el uso de leucaena, sólo se recomienda una inclusión de hasta 10% en la dieta de crecimiento de gallinas ponedoras Rhodes Island Red e New Hampshire de 14 a 19 semanas de edad (Oliveira *et al.*, 2014).

En cambio, el número de huevos por grupo de aves, fue superior en las codornices que consumieron follaje de moringa y leucaena ($P \leq 0.05$), en comparación con las alimentadas con alimento comercial (Cuadro 1). Abouelezz *et al.* (2012) señalan que la inclusión de *M. oleifera* en dietas de gallinas ponedoras producen un incremento en la producción de huevos del 71.4%, sugiriendo que la moringa puede emplearse como suplemento en alimentación de las aves (Abouelezz *et al.*, 2011). Debido a que la adición del 5% o 10% de moringa, podría mejorar el color de la yema, la altura de la albúmina y la unidad de huevos durante el almacenamiento, y sin efectos adversos en el rendimiento de la puesta y la calidad de las capas. Por lo tanto, se podría agregar un 5% a las dietas de las gallinas ponedoras (Wei Lu *et al.*, 2016). Finalmente, Ahmad *et al.* (2018) mostraron que la

moringa utilizada como aditivo de alimentación fitogénica enriquece los huevos con compuestos bioactivos y funcionales, y mejora el rendimiento de producción. Con relación a la suplementación combinada de hojas granuladas de leucaena más una fuente dietética de Ca, resulta altamente benéfica para mejorar la producción de huevos sin poner en peligro la codorniz japonesa y podrían usarse como un potenciador de huevo (Rojina *et al.*, 2018) (Figura 3).

CONCLUSIONES

La utilización del follaje de *M. oleifera* y *L. leucocephala*, en pequeñas raciones, incrementa satisfactoriamente la ganancia de peso, aumenta el número de huevos por grupo de codornices y disminuye el consumo de alimento comercial en un período de 12 días. Así mismo, el rediseño de las instalaciones y aditamentos para las codornices, permitió mayor movilidad, contribuyendo al bienestar entre las aves. Todo ello resulta ser atractivas para los habitantes de las comunidades rurales del estado de Campeche, México.



Figura 3. A) Pesaje de codornices, B) Conteo de huevos de codorniz.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca número 633215 otorgada al primer autor. Al proyecto cátedras 2181 "Estrategias agroecológicas para la seguridad alimentaria en zonas rurales de Campeche".

LITERATURA CITADA

- Abbas, Y., Sahota, W., Akram, M., Mehmood, S., Hussain, J., Younus, M., Awais, M., & Sial, R. (2015). Effect of Different Feed Restriction Regimes on Growth Performance and Economic Efficiency of Japanese Quails. *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 4: 966-970.
- Abdullahi-Mahmud, M., Shaba, P., James, G., Ndagimba, R., Wosilat, A., Musa, M. & Alhaji-Abubakar, M. (2016). Growth Performance and Gastrointestinal Tract Morphometry in Growing Japanese Quails Fed with *Moringa oleifera* Leaf Meal as Partial Replacement of Dietary Soya Beans Meal. *Journal of World's Poultry Research*. 2: 92-98.
- Abouelezz, F.M.K, Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R.H., & Solorio-Sanchez, F.J. (2011). Nutritional effects of dietary inclusion of *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* leaf meal on Rhode Island Red hens' performance. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 45. 163-169.
- Abouelezz, F.M.K., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R.H., & Solorio-Sánchez, F.J. (2012). Apparent Digestibility of Rhode Island Red Hens' diets containing *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* leaf meals. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15: 199-206.
- Ahmad, S., Khalique, A., Pasha, T.N., Mehmood, S., Ahmad, S., Sohail, K., & Hussain, K. (2018). Influence of *Moringa oleifera* Leaf Meal Used as Phyto-genic Feed Additive on the Serum Metabolites and Egg Bioactive Compounds in Commercial Layers. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2: 325-332. doi.org/10.1590/1806-9061-2017-0606
- Balami, A., Enam, S., Sule, A., Patrobas, M., Abdu, P., & Chiroma, M. (2018). The Relationship between Feed Conversion Ratio, Feed Intake and Body Weight Gain of Broilers fed *Moringa oleifera* Leaf Supplemented Feed Following Challenged with Very Virulent Infectious Bursal Disease Virus. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 6:228-233.
- Gadzirayi, B., Masamha, J.F., Mupangwa., & Washaya, S. (2012). Performance of Broiler Chickens Fed on Mature *Moringa oleifera* Leaf Meal as a Protein Supplement to Soyabean Meal. *International Journal of Poultry Science*. 11: 5-10. doi: 10.17582/journal.aavs/2018/6.6.227.233
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL]. (2019). Pobreza y Género en México: Hacia un Sistema de Indicadores. <https://www.coneval.org.mx/Paginas/principal.aspx>. Fecha consulta 27/08/2019
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2019). *The State of Food Insecurity in the World*, Roma. 71-85. <http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf>. Fecha de consulta 27/09/2019
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2010). *World livestock. Livestock in food security*. Rome. 145-150.
- Gliessman, S., Rosado-May, F., Guadarrama Zugasti, C., Jedlicka, Julie., A.C., Méndez, E., Roseann, C., Trujillo-Ortega, L., Bacon, C., & Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas. Revista científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. 16:1-3.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [INEGI]. (2017). *Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental*. https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#_08/2018
- Ismail, F.S.A., Hayam M.A., Abo, E.M., Rabie, M.H., & Aswad, A.Q. (2015). Productive Performance of Bovans White Laying Hens Fed High Nutrient Density Diets Under Egyptian Summer Conditions. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 10: 865-874.
- Melesse, A., Tiruneh, W., & Tegene, N. (2011). Effects of feeding *Moringa stenopetala* leaf meal on nutrient intake and growth performance of Rhode Island Red chicks under tropical climate. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2: 485-492.
- Nutrients requirements of poultry. [NRC]. (1994). Ninth Revised Edition. 1: 110-112.
- Obregón, J.F., Bell, C., Elenes, I., Estrada, A., Portillo, J., & Rios, F. (2012). Efecto de la cocción de garbanzos descartados (*Cicer arietinum* L.) sobre la respuesta productiva y el rendimiento de la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) en la etapa de engorde. *Revista de Ciencia Cubana Agrícola*. 2: 169-173.
- Oliveira, A., Nunes de Freitas, E.R., Cruz, C., Braga-Filgueira, E., Marcel Bezerra, T., Nascimento-Germano, A., Do, J., & Castro, R. (2014). Inclusion of leucaena leaf hay in the diet of laying hens during the growing phase. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 3:297-301. <https://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v36i3.21834>
- Olugbemi, T., Mutayoba, S., & Lekule, F. (2010). Effect of *Moringa oleifera* Inclusion in Cassava Based Diets Fed to Broiler Chickens. *International Journal of Poultry Science*. 4: 363-367.
- Rojina-Begum, M.T., Rakibul-Islam, M.D., Mahmudul, H., Sarkar, S., Binthe-Aziz, F., Masuma-Pervez, M., & Roy Goswami, D. (2018). Effects of ipil ipil and calcium dietary sources on egg and growth performances of Japanese quail. *Asian-Australasian Journal of Bioscience and Biotechnology*. 1:72-77.
- Taarhyela, R., Tanimomob, B.K., Hena S. A. (2012). Effect of sex, color and weight group on carcass characteristics of japanese quail. *Scientific Journal of Animal Science*. 1: 22-27.
- Martínez-Pérez, M., Santos-Ricalde, R., Segura-Correa, J.C., Sarmiento-Franco, L., & Sandoval- Castro, C.A. (2017). Poultry meat production in free-range systems perspectives for tropical areas. *World's Poultry Science Journal*. 73:309-317. doi:<https://doi.org/10.1017/S0043933917000034>
- Santos, T.C., Murakami, A.E., Oliveira, C.A.L & Giralde, N. (2012). Sperm-egg interaction and fertility of Japanese breeder quails from 10 to 61 weeks. *Poultry Science*. 1: 205-210.
- Thornton Philips., (2010). *Livestock production: recent trends, future prospects*. *Philosophical transactions of the royal society*. 365:2853-2867.
- Wei Lu, J. Wang, H. J. Zhang, S. G. Wu & G.H.Q. (2016) Evaluation of *Moringa oleifera* leaf in laying hens: effects on laying performance, egg quality, plasma biochemistry and organ histopathological indices. *Italian Journal of Animal Science*. 4: 658-665. doi: 10.1080/1828051X.2016.1249967.

Main fungal diseases of the orchids

Principales enfermedades fúngicas de las orquídeas

Fernández-Herrera, Ernesto^{1*}; Ramírez-Bustos, Irene I.²; Moreno-Salazar, Sergio F.¹; Ochoa-Meza, Andrés¹; Villar-Luna, Edgar³

¹Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora, Carr. Bahía de Kino, Km. 21. Hermosillo, Sonora, México. Apartado postal 305. Tel: 66 25 96 02 97. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD), Km. 0.6, Carretera a La Victoria, Hermosillo, Sonora, México. CP. 83304. ³Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán. Justo Sierra núm. 28, Jiquilpan, Michoacán, C. P. 59510, MÉXICO.

*Autor para correspondencia: ernesto.fernandez@guayacan.uson.mx

ABSTRACT

Objective: To describe some of the main fungal diseases associated with the cultivation of orchids.

Design/methodology/approximation: A review of the scientific literature was carried out on the main fungal diseases, symptoms and causal organisms, which detract from the production in orchid cultivation.

Results: It was found that *Fusarium proliferatum*, *F. solani*, *F. oxysporum*, *Phytophthora cactorum*, *P. palmivora* and *Pythium* spp., are the main pathogens that cause diseases in the radical system and pseudobulbs, while *Colletotrichum* spp., *Botrytis cinerea* and *Phyllosticta* are the main fungi that damage flowers and leaves. Symptoms caused by these pathogens are rot or root necrosis, pseudobulb rot, spots or blight on flowers or leaves, leaf fall, to the death of plants.

Findings/conclusions: In Mexico the cultivation of orchids is in development, and therefore there is a wide ignorance of the fungal diseases that limit commercial production. The greater knowledge of the symptoms and the causal pathogens of the main diseases of the orchid culture, will allow to make a correct diagnosis of the disease, since the choice of the appropriate management method that can avoid severe damage to the crop depends on this.

Keywords: Orchidaceae, oomycetes, *Fusarium* spp., *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Phyllosticta*.

RESUMEN

Objetivo: Describir algunas de las principales enfermedades fúngicas asociadas al cultivo de orquídeas.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó una revisión de la literatura científica sobre las principales enfermedades fúngicas, síntomas y organismos causales, que demeritan la producción en el cultivo de orquídeas.

Resultados: Se encontró que *Fusarium proliferatum*, *F. solani*, *F. oxysporum*, *Phytophthora cactorum*, *P. palmivora* y *Pythium* spp., son los principales patógenos que causan enfermedades en el sistema radical y pseudobulbos, mientras que *Colletotrichum* spp., *Botrytis cinerea* y *Phyllosticta* son los principales hongos que dañan las flores y hojas. Los síntomas generales causados por estos patógenos son desde pudriciones o necrosis de raíces, pudriciones de pseudobulbos, manchas o tizones en flores u hojas, caída de hojas, hasta la muerte de las plantas.

Hallazgos/conclusiones: En México el cultivo de orquídeas está en desarrollo, y por lo tanto existe un desconocimiento amplio de las enfermedades fúngicas que limitan la producción comercial. El mayor conocimiento de los síntomas y de los patógenos causales de las principales enfermedades del cultivo de orquídeas, permitirá realizar un diagnóstico correcto de la enfermedad, pues de esto depende en mucho la elección del método de manejo apropiado que pueda evitar daños severos al cultivo.

Palabras clave: Orchidaceae, oomicetos, *Fusarium* spp., *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Phyllosticta*.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 1, enero. 2020. pp: 9-14.

Recibido: septiembre, 2019. **Aceptado:** diciembre, 2019.

INTRODUCCIÓN

La familia Orchidaceae es la más grande de las angiospermas, con aproximadamente 880 géneros y 27,800 especies (Givnish *et al.*, 2016). Estas plantas han sido comercializadas durante mucho tiempo como plantas ornamentales y medicinales, y su cultivo representa una parte importante del comercio mundial de flores, con ventas anuales de más de 4 mil millones de dólares estadounidenses (Zhang *et al.*, 2018). A pesar de la expansión del comercio legal y bien establecido, las orquídeas son extraídas ilegalmente de sus hábitats naturales para el comercio local e internacional.

Los principales países productores de orquídeas son Tailandia, Japón, Taiwán, China, Países Bajos, Italia y Polonia (Hanks, 2018). En México, existe una gran demanda nacional e internacional para el comercio de orquídeas, aunque nuestro país no se encuentra entre los principales productores, tiene condiciones favorables para su producción y una cercanía con los Estados Unidos, país que importa grandes cantidades de estas especies (Murguía-González *et al.*, 2016). En México el cultivo de orquídeas es una actividad que apenas se está desarrollando, y que presenta, como cualquier otro cultivo, la problemática de la incidencia de plagas y enfermedades; considerada como un factor limitante en la producción comercial de orquídeas (Swett y Uchida, 2015). Sobre las enfermedades fúngicas de este cultivo existe poca información en México, la mayoría de los reportes científicos son producto de investigaciones de otros países. En una revisión de literatura sobre los hongos fitopatógenos que afectan a las orquídeas, se encontró que estos pueden causar pudriciones de raíces, tallos y pseudobulbos, manchas o necrosis de hojas y flores, pérdidas de raíces, reducción del crecimiento y muerte de plantas, entre otros síntomas.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión de la literatura científica sobre las principales enfermedades fúngicas, síntomas y organismos causales, que demeritan la producción en el cultivo de orquídeas.

Enfermedades causantes de pudrición de raíces, tallos y pseudobulbo

Marchitez por *Fusarium*: Este género puede causar marchitamientos, clorosis del follaje, pudriciones de raíces (Figura 1) y canchales en el tallo de muchos cultivos hortícolas, ornamentales y forestales, tanto en

ecosistemas agrícolas como naturales. En orquídeas, *Fusarium* es uno de los principales géneros de hongos fitopatógenos que infecta a las orquídeas y que puede ser propagado a través del comercio internacional de plantas.

Las enfermedades por *Fusarium* se inician en las raíces desde el inóculo presente en el suelo o en las partes superiores de la planta por el inóculo arrastrado por el aire o salpicado por el agua. Por ejemplo, *F. oxysporum* inicialmente penetra en las raíces sanas y posteriormente coloniza el tejido vascular, provocando un marchitamiento generalizado, clorosis y necrosis de la parte aérea de la planta (Ma *et al.*, 2013). En orquídeas, *Fusarium proliferatum* es una de las especies de *Fusarium* más comunes y ampliamente distribuida que afecta a estas plantas ornamentales. *F. proliferatum* causa manchas en las flores, hojas, tallo, así como la pudrición de meristemos apicales. Este patógeno infecta a las plantas cuando son jóvenes y la severidad de la enfermedad depende de la edad del tejido infectado y los niveles de humedad. Las plantas jóvenes mueren rápidamente cuando son infectadas por *F. proliferatum*, mientras que las plantas sobrevivientes continúan siendo afectadas, destruyendo el nuevo crecimiento y no floreciendo cuando maduran (Uchida, 1999). En este sentido, Swett y Uchida (2015) reportaron en viveros comerciales de orquídeas en Hawaii, que las especies de *Fusarium* presentes en plantas de orquídeas con síntomas de necrosis y degradación de raíces y pseudobulbos, muerte de los meristemos apicales, tizones en hojas y flores, fueron *F. proliferatum* (el más frecuentemente aislado), *F. solani*, *F. oxysporum* y dos aislados similares a *F. subglutinans*, indicando que la alta incidencia y el amplio rango de hospedantes de estos hongos, representa un desafío importante en la producción comercial de orquídeas. *F. oxysporum* y *F. solani* también han sido reportados ampliamente como patógenos de orquídeas, en las que induce amarillamiento de hojas, pudrición seca de raíces, pseudobulbos y colapso de plantas de *Cymbidium* spp. (Lee *et al.*, 2002), pudrición de raíces, tallos y vainas en *Vanilla planifolia* (Vilayan *et al.*, 2012), pudrición, estrangulamiento y decoloración vascular del tallo en *Anoectochilus formosanus* (Huang *et al.*, 2014), pudrición de raíces y tallos en plantas de *Dendrobium* (Latiffah *et al.*, 2009) y clorosis y caída de hojas, pudrición de raíces y muerte de plantas de *Phalaenopsis* (Su *et al.*, 2010).

Pudrición negra causada por oomicetos.

Estos organismos son miembros del reino Cromista y producen esporas de resistencia, llamadas oosporas, en su fase sexual, y esporas con movimientos propios, llamadas zoosporas en su fase asexual. *Pythium* y *Phytophthora* son dos de los principales géneros de oomicetos que causan importantes pérdidas económicas en cultivos de solanáceas, cucurbitáceas y muchas otras plantas ornamentales.

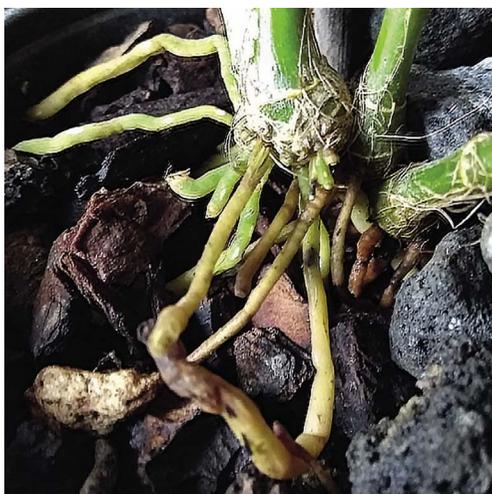


Figura 1. Necrosis radical en plantas de *Dendrobium nobile*, asociada a la infección por *Fusarium* sp.

En orquídeas, estos patógenos causan pérdidas importantes a los agricultores, principalmente en condiciones de alta humedad y temperaturas frescas. La lluvia es el factor ambiental más importante que afecta la incidencia y el progreso de las enfermedades causadas por oomicetos, así también, los riegos excesivos provocan un aumento en el brote de la enfermedad (Granke *et al.*, 2012), por lo que en las regiones tropicales y subtropicales, con lluvias abundantes y frecuentes, las enfermedades por oomicetos son comunes. En estos climas las zoosporas, esporas capaces de movimientos independientes, nadan a través del agua. Si esa agua está sobre una hoja de orquídea, las zoosporas pueden penetrar el tejido de la planta e infectarla, creciendo rápidamente a través de los tejidos de las plantas afectadas. Una vez que esto ocurre, los signos visibles de infección (manchas pequeñas, acuosas y translúcidas) se expanden rápidamente y cambian a marrón y luego a negro (Jones, 2002). Si no se trata, la planta o las plantas afectadas por oomicetos pueden infectar a otras y morir. Las plántulas jóvenes de orquídeas de muchos géneros son altamente susceptibles a las infecciones causadas por especies de *Phytophthora*, principalmente *P. palmivora* y *P. cactorum* (Uchida y Aragaki, 1991; Cating *et al.*, 2010). Las plántulas infectadas con estos patógenos típicamente tienen lesiones foliares de apariencia húmeda, pudriciones de tallo, pseudobulbo y raíz, las cuales causan que las plantas se debiliten y crezcan lentamente a medida que maduran, o bien pueden presentar hojas amarillas y caída prematura de hojas como en *Dendrobium* (Kawate y Sewake, 2014). En las plantas grandes, las lesiones suelen estar hundidas, secas y de color marrón oscuro a oscuro con centros pálidos, y las hojas eventualmente se vuelven amarillas y se caen (Uchida y Aragaki, 1991). El género *Pythium* causa síntomas si-

milares a los de *Phytophthora*, aunque estos patógenos son menos comunes en orquídeas y aunque son géneros diferentes, su ciclo de vida, epidemiología y control son muy similares (Cating *et al.*, 2008). En plantas de *Dendrobium* de dos a tres años, la infección por *Pythium* rara vez causa la muerte, mientras que en plántulas de un año la infección provoca pudrición de raíces, pseudobulbo, abscisión de hojas y muerte de las plantas (Tao *et al.*, 2011).

Enfermedades causantes de manchas en hojas y flores

Antracnosis causada por *Colletotrichum*. Este género es uno de los más comunes e importantes de hongos fitopatógenos que afecta a casi todos los cultivos que se producen en el mundo. Estos hongos causan antracnosis, manchas y tizones en las partes aéreas de plantas, además de pudriciones postcosecha, especialmente en frutas, vegetales y plantas ornamentales (Dean *et al.*, 2012). El género *Colletotrichum* se presenta principalmente en regiones con clima tropical y subtropical, aunque algunas especies afectan cultivos templados (Cannon *et al.*, 2012). Estos fitopatógenos invaden principalmente los tejidos lesionados o debilitados de las plantas, produciendo varias estructuras especializadas durante el proceso de infección (Gautam, 2014). En *Dendrobium*, la antracnosis causada por *Colletotrichum*, se caracteriza por presentar manchas foliares circulares, bien definidas y deprimidas, con centro oscuro y circundada por un halo difuso de coloración café claro (Figura 2A, 2B). Con el progreso de la enfermedad, las manchas crecen y se juntan para formar áreas necróticas más grandes. McMillan (2011) señala que en infecciones severas, en clima nublado y lluvioso, esta enfermedad puede provocar defoliación y muerte de las plantas. En *Paphiopedilum insigne*, los síntomas causados por *C. gloeosporioides* son similares a los descritos anteriormente, aunque cuando la colonización del tejido foliar es intensa, sobre todo en periodos de mucha humedad, se puede observar en el centro de la lesión masas de esporas de coloración crema, producidas en acérvulos (Mafia *et al.*, 2005).

Los estudios sobre los agentes causales de antracnosis en especies de orquídeas actualmente son pocos. En estas plantas se ha identificado a *Colletotrichum cymbidiicola*

y *C. cliviae* en orquídeas del género *Cymbidium*, *Eria*, *Dendrobium*, *Bulbophyllum*, *Oncidium*, *Coelogyne* y *Liparis* en India (Chowdappa et al., 2014), en diversas especies de orquídeas en Argentina (Cabrera et al., 2003), y *Colletotrichum karstii* en *Phalaenopsis* en Estados Unidos (Jadrane et al., 2012), entre otras.

Moho gris causado por *Botrytis cinerea*. *B. cinerea* es un importante fitopatógeno que causa enfermedades devastadoras antes y después de la cosecha en más de 500 especies de plantas (Hua et al., 2018). Este patógeno causa problemas en cultivos como tomate, vid, pepino, fresa, albahaca, flores con bulbo, flores de corte y planta ornamentales. En flores de corte la enfermedad se presenta en postcosecha, mientras que en plantas en maceta la enfermedad se encuentra tanto en pre y postcosecha. *B. cinerea* es un patógeno necrotrófico, que induce la muerte de la célula huésped y ocasiona daños graves en los tejidos, que culminan en la podredumbre de la planta o del producto cosechado (Dik y Wubben, 2004; van Kan, 2005).

B. cinerea produce un amplio rango de síntomas en sus hospedantes, siendo la pudrición blanda, acompañada de un colapso y apariencia húmeda del tejido, seguida de una rápida aparición de masas de esporas grises, los síntomas más típicos en las hojas y tejidos dañados (Williamson et al., 2007). En orquídeas, *B. cinerea* infecta a las flores, pero no a hojas y tallos. En flores causa manchas y tizones en flor, que con frecuencia son de forma circular y cafés o rosas, las cuales se expanden rápidamente y pudren todo el pétalo o la flor (Uchida, 1999). Bajo condiciones favorables de humedad en el tejido afectado es muy común observar estructuras reproductivas del hongo llamadas conidióforos (Figura 3). Este patógeno produce rápidamente esporas sobre las flores dañadas o tejido en descomposición, causando epidemias principalmente en los meses de mayor humedad y frío (Uchida, 1994).

Muchos cultivares comerciales de *Dendrobium* y *Vanda* son susceptibles a *Botrytis*. A diferencia de las enfermedades tropicales, las temperaturas óptimas



Figura 2. Antracnosis en hojas de *Dendrobium nobile*. A) haz y B) envés.

para que *Botrytis cinerea* dañe la floración son menores a 21 °C, pues arriba de los 27 °C la enfermedad se reduce (Kawate y Sewake, 2014).

Mancha foliar causada por *Phyllosticta*. Las especies de *Phyllosticta* (teleomorfo *Guignardia* Viala & Ravaz) causan manchas foliares y enfermedades de frutos en un amplio rango de hospedantes económicamente importantes en todo el mundo. Los síntomas de las enfermedades causadas por especies de *Phyllosticta*, son lesiones necróticas pequeñas en las hojas, a menudo de 1 a 2 mm de diámetro, circulares, de color café en el medio y más oscuras o rojizas en el margen, con picnidios en el centro (Wikee et al., 2011). En plantas de *Dendrobium*, *Phyllosticta* causa manchas amarillas en las hojas, que conforme la enfermedad avanza necrosa el tejido

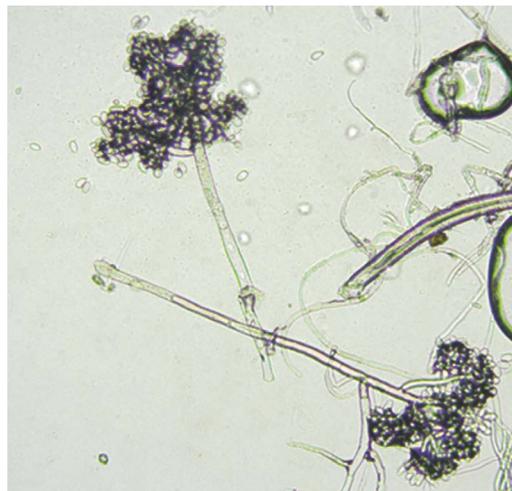


Figura 3. Conidióforos en forma de racimos de uvas, típico de *Botrytis cinerea*.

e invade toda la hoja, produciendo picnidios que en condiciones de humedad liberan esporas que se propagan a las hojas jóvenes para germinar e infectar a las plantas sanas (Uchida, 1999). Esta enfermedad se reportó en Brasil por Silva et al. (2008) en la orquídea terrestre *Bifrenaria harrisoniae*, quienes indicaron que *Phyllosticta capitalensis* producía en esta orquídea manchas cloróticas y circulares en un principio, y necróticas después, las cuales se unieron para formar

áreas más grandes que provocaron la muerte de las hojas. Así mismo, el teleomorfo de este hongo (*Guignardia endophyllicola*) ha sido identificado como el agente causal de lesiones necróticas foliares en plantas de *Cymbidium* (Silva y Pereira, 2007). También, debido a que las plantas afectadas por *Phyllosticta* pierden sus hojas en estado avanzados de la enfermedad, las flores producidas por estas plantas reducen su longevidad.

CONCLUSIONES

El cultivo de orquídeas es de gran importancia económica en el comercio mundial de flores. En México este cultivo está en desarrollo, y por lo tanto existe un desconocimiento de las enfermedades fúngicas que limitan la producción comercial a escala nacional. El mayor conocimiento de los síntomas y de los patógenos causales de las principales enfermedades del cultivo de orquídeas, permitirá realizar un diagnóstico correcto de la enfermedad, pues de esto depende en mucho la elección del método de manejo apropiado que pueda evitar daños severos al cultivo.

LITERATURA CITADA

- Cabrera, M. G., Galmarini, M. R. & Flachsland, E. (2003). *Colletotrichum gloeosporioides*, patógeno de orquídeas en el noroeste de Argentina. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica), 68, 57-61.
- Cannon, P. F., Damm, U., Johnston, P. R. & Weir, B. S. (2012). *Colletotrichum*, current status and future directions. *Studies in Mycology* 73(1), 181-213.
- Cating, R. A., Palmateer, A. J., Stiles, C. M., Rayside, P. A. & Davison, D. A. (2008). Black rot of orchids caused by *Phytophthora palmivora* y *Phytophthora cactorum*. UF/IFAS Extension, document PP260, University of Florida. Recuperado de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/PP/PP26000.pdf>
- Cating, R. A., Palmateer, A. J., Stiles, C. M. & Rayside, P. A. (2010). Black rot of orchids caused by *Phytophthora cactorum* and *Phytophthora palmivora* in Florida. *Plant Health Progress*. doi: 10.1094/PHP-2010-0614-01-DG.
- Chowdappa, P., Chethana, C. S., Pant, R.P. & Bridge, P. D. (2014). Multilocus gene phylogeny reveals occurrence of *Colletotrichum cymbidiicola* and *C. cliviae* orchids in north east India. *Journal of Plant Pathology* 96(2), 327-334.
- Dean, R., Van Kan, J. A. L., Pretorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di Pietro, A., Spanu, P. D.,... Foster, G. D. (2012). The Top 10 fungal pathogens in Molecular Plant Pathology. *Molecular Plant Pathology* 13(4), 414-430.
- Dik, A. J. & Wubben, J. P. (2004). Epidemiology of *Botrytis cinerea* diseases in greenhouses. En Y. Elad, B. Williamson, P. Tudzynski & N. Delen (eds.), *Botrytis: biology, pathology and control* (pp. 319-333). Dordrecht, Netherlands: Klumer Academic Publishers.
- Gautam, A. K. (2014). *Colletotrichum gloeosporioides*: biology, pathology and management in India. *Journal of Plant Physiology and Pathology*, 2(2), 1-11.
- Givnish, T. J., Spalink, D., Ames, M., Lyon, S. P., Hunter, S. J., Zuluaga, A.,...Cameron, K. M. (2016). Orchid historical biogeography, diversification, Antarctica and the paradox of orchid dispersal. *Journal of Biogeography* 43, 1905-1916.
- Granke, L. L., Quesada-Ocampo, L., Lamour, K. & Hausbeck, M. K. (2012). Advances in research on *Phytophthora capsici* on vegetable crops in The United States. *Plant Disease* 95(11), 1588-1600.
- Hanks, G. A. (2018). A review of production statistics for the cut flower and foliage (part of AHDB Horticulture project PO BOF 002a). The National Cut Flower Centre, AHDB. Recuperado de: <https://horticulture.ahdb.org.uk/sites/default/files/CFC%20Cut%20Flower%20production%20statistics%202018.pdf>
- Hua, L., Yong, Ch., Zhanquan, Z., Boqiang, L., Guozheng, Q. & Shiping, T. (2018). Pathogenic mechanisms and control strategies of *Botrytis cinerea* causing post-harvest decay in fruits and vegetables. *Food Quality and Safety* 3, 111-119.
- Huang, L. W., Wang, C. J., Lin, Y. S., Chung, W. C. & Chung, W. H. (2014). Stem rot of jewel orchids caused by a new forma specialis, *Fusarium oxysporum* f. sp. *anoectochili* in Taiwan. *Plant Pathology* 63, 539-547.
- Jadrane, I., Kornievsky, M., Desjardin, D. E., He, Z. H., Cai, L. & Hyde, K. (2012). First report of flower anthracnose caused by *Colletotrichum karstii* in white *Phalaenopsis* orchids in the United States. *Plant Disease* 96(8), 1227.
- Jones, S. (2002). Black rot. *The Bulletin of the American Orchid Society*. Recuperado de <http://www.aos.org/orchids/orchid-pests-diseases/black-rot.aspx>
- Kawate, M. & Sewake, K.T. (2014). Pest Management Strategic Plan for Potted Orchid Production in Hawai'i. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii at Mānoa, Honolulu, Hawaii. Recuperado de https://ipmdata.ipmcenters.org/documents/pmsps/HI_orchid_PMSP.pdf
- Latiffah, Z., Nur, H.M.Z., Baharuddin, S. & Maziah, Z. (2009). Identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with root rot and stem rot of *Dendrobium*. *Asian Journal of Plant Pathology* 3(1), 14-21.
- Lee, B. D., Kim, W. G., Cho, W. D. & Sung, J. M. (2002). Occurrence of dry rot on *Cymbidium* orchids caused by *Fusarium* spp. in Korea. *The Plant Pathology Journal* 18(3), 156-160.
- Ma, L.-J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F.,...Kazan, K. (2013). *Fusarium* pathogenomics. *Annual Review of Microbiology* 67: 399-416.
- Máfia, R. G., Alfenas, A. C., Ventura, G. M. & Alfenas, R. F. (2005). Antracnose em *Paphiopedilum insigne* (Orquidaceae) causada por *Colletotrichum gloeosporioides*. *Fitopatologia Brasileira* 30(4), 436.
- McMillan, R. T. Jr. (2011). Efficacy of fungicides for control of *Colletotrichum gloeosporioides* on *Dendrobiums*. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 124, 314-316.
- Murguía-González, J., Leyva-Ovalle, O.R., Lee-Espinosa, H.E., Galindo-Tovar, M.E., Pardío-Sedas, V.T., Llárena-Hernández, R.C. (2016). Sistemas de producción de orquídeas (Orquidaceae) en Veracruz, México. *Agroproductividad* 9(6), 62-66.
- Silva, M. & Pereira, O. L. (2007). First report of *Guignardia endophyllicola* leaf blight on *Cymbidium* (Orchidaceae) in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes* 2, 31-32.

- Silva, M., Pereira, O. L., Braga, I. F. & Melis, S. M. (2008). Leaf and pseudobulb disease on *Bifrenaria harrisoniae* (Orchidaceae) caused by *Phyllosticta capitalensis* in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes* 3, 53-56.
- Su, J. F., Lee, Y. C., Chen, C. W., Hsieh, T. F., and Huang, J. H. 2010. Sheath and Root rot of *Phalaenopsis* caused by *Fusarium solani*. *Acta Horticulturae* 878: 389-394.
- Swett, C. S. & Uchida, J. Y. (2015). Characterization of *Fusarium* diseases on commercially grown orchids in Hawaii. *Plant Pathology*, 64, 648-654.
- Tao, Y., Zeng, F., Ho, H., Wei, J., Wu, Y., Yang, L. & He, Y. (2011). *Pythium vexans* causing stem rot of *Dendrobium* in Yunnan province, China. *Journal of Phytopathology* 159, 255-259.
- Uchida, J. Y. 1994. Diseases of orchids in Hawaii. *Plant Disease*, 78(3), 220-224.
- Uchida, J. Y. (1999). Pests and pest management: diseases. En: K. Leonhardt & K. Sewake (eds), *Growing dendrobium orchids in Hawaii: production and pest management guide*. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii: College of Tropical Agriculture and Human Resources, 46-55.
- Uchida, J. Y. & Aragaki, M. 1991. *Phytophthora* diseases of orchids in Hawaii. Research extension series 129. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- van Kan, J. A. L. 2005. Infection strategies of *Botrytis cinerea*. *Acta Horticulturae* 669, 77-90.
- Vilayan, A. K., Sithara, L., Sreelakshmi, K. P., Thomas, J., Thomas, J., Misra, R. S. & Saju, K. A. (2012). Molecular diversity of *Fusarium oxysporum* causing rot diseases of vanilla in south India. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45(11), 1319-1326.
- Wikee, S., Udayanga, D., Crous, P. W., Chukeatirore, E., McKenzie, E. H. C., Bahkali, A. H., Dai, D. & Hyde, K. D. (2011). *Phyllosticta*, an overview of current status of species recognition. *Fungal Diversity* 51(1), 43-61.
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P. & Kan, J. A. L. V. (2007). *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology* 8(5), 561-580.
- Zhang, S-B., Yang, Y., Li, J., Qin, J., Zhang, W., Huang, W. & Hu, H. (2018). Physiological diversity of orchids. *Plant Diversity* 40(4), 196-208.



Practices used to production and to improve productivity of an agroforestry module

Prácticas utilizadas para la producción y mejora de la productividad de un módulo agroforestal

Torres-Aquino, M.¹; Sandoval-Noriega R. A.²; Martínez-Hernández, J.J.²; Gavi-Reyes, F.^{3*}; Sandoval-Noriega, R.A.²

¹Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. ²Comisión Nacional de Zonas Áridas. Blvd. Vito Alessio Robles 2565, Nazario S. Ortiz Garza, Coahuila, México. C. P. 25100. ³Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

*Autor de correspondencia: gavi@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To evaluate the practices for agricultural production and productivity improvement in an agroforestry module.

Design/methodology/approach: A comparatively analysis of practices performed by land producer in an agroforestry module was carried out. Yield obtained in two-year period, both from the economic income point of view and diversification of plant species established were also assessed.

Results: The practices used in the module were: a) conservation (reduced tillage), b) vegetative (crop diversification, associated crops, intercropping and crop rotation) and c) agronomic (bottom fertilization and fertigation). During this study (2015-2018), 16 plant species were established. Yields and income from the sale of surplus production increased over time, which contributed to the food security and economy of the rural family.

Limitations on study/implications: The present work did not evaluate the biological efficiency of the crop association in the agroforestry module, which could give an additional value to this type of production versus monoculture systems.

Findings/conclusions: The type of practices used in the production of food and fodder in an agroforestry module was documented. The production of crops in small areas, under the agroforestry approach, can represent a sustainable alternative of agricultural production for the arid and semi-arid regions and a mean to improve income and nutrition of the rural family.

Keywords: agroforestry, arid, income, water use efficiency.

RESUMEN

Objetivo. Determinar las prácticas utilizadas para la producción agrícola y mejora de la productividad de un módulo agroforestal.

Diseño/metodología/aproximación. Se realizó el análisis comparativo de las prácticas que el productor realiza en un módulo agroforestal, así como del rendimiento obtenido en dos años, desde el punto de vista económico y de diversificación de especies vegetales que fueron establecidas.



Resultados. Las prácticas utilizadas en el módulo fueron: a) conservación (labranza reducida); b) vegetativas (diversificación de cultivos, cultivos asociados, cultivos intercalados y rotación de cultivos); y c) agronómicas (fertilización de fondo y fertigación). Durante el periodo evaluado (2015-2018) se establecieron 16 especies vegetales. Los rendimientos e ingresos por venta de excedentes de la producción se incrementaron con el tiempo, lo cual contribuyó en la seguridad alimentaria y economía de la familia rural.

Limitaciones del estudio/implicaciones. En el presente trabajo, la eficiencia biológica de la asociación en el módulo agroforestal no fue evaluada. Dicha eficiencia podría dar un valor adicional a este tipo de producción *versus* los sistemas de monocultivo.

Hallazgos/conclusiones. Se documentaron las características del tipo de prácticas utilizadas en la producción de alimentos y forrajes en un módulo agroforestal. La producción de cultivos en pequeñas superficies, bajo el enfoque agroforestal, es una alternativa sustentable de producción agrícola para las regiones áridas y semiáridas, asimismo es un medio para mejorar el ingreso y nutrición de la familia rural.

Palabras clave: agroforestal, árido, ingreso, eficiencia del agua.

INTRODUCCIÓN

Las regiones áridas y semiáridas, generalmente enfrentan problemas de variabilidad climática, degradación de sus recursos naturales y como consecuencia disminución de la productividad agrícola (Syano *et al.*, 2016). Por lo tanto, se requiere del diseño de estrategias e implementación de técnicas sustentables orientadas a estabilizar la productividad y conservación de los ecosistemas degradados (Montagnini, 2017). Entre estas estrategias, los sistemas agroforestales (SAF) son cada vez más relevantes en todo el mundo, debido a que representan un componente integral de productividad y sustentabilidad en climas secos (Syano *et al.*, 2016).

Smith *et al.* (2013) definieron a los SAF, como la producción en asociación de árboles y cultivos o animales sobre una misma superficie de terreno, la cual puede ser deliberada o no, donde los árboles constituyen un nuevo estrato y un nuevo componente en interacción con los cultivos a diferentes niveles: en el suelo, vía el sistema radical; a nivel aéreo, por competición de luz e importante contribución en la generación de un microclima (Gea-Izquierdo *et al.*, 2009). El éxito de la asociación de diversas especies cultivadas sobre una misma superficie se sustenta en la complementariedad de estas especies desde un punto de vista biológico y agronómico (Smith *et al.*, 2013).

La sociedad ha llegado a reconocer los beneficios sociales, económicos y ambientales de los SAF, entre los que se encuentran: seguridad alimentaria y desarrollo rural (Tiwari *et al.*, 2017), la restauración de ecosistemas degradados (Montagnini, 2017), captura de carbono (Chevallier *et al.*, 2015), adaptación y mitigación al cambio climático (Catacutan *et al.*, 2017), uso eficiente del agua (Anderson *et al.*, 2009). En este contexto, investigadores del Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, diseñaron, consolidaron y transfirieron un módulo agroforestal para regiones de clima seco a pequeños

productores del Altiplano Potosino, pertenecientes a localidades de alta y muy alta marginación (Torres-Aquino *et al.*, 2016). Con base en lo anterior, el presente trabajo de investigación, tuvo como objetivos: 1) Conocer las prácticas utilizadas en la producción de cultivos en un módulo agroforestal y 2) Determinar la producción de cultivos en el módulo agroforestal durante dos años, en términos de diversificación de especies y beneficio económico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en un módulo agroforestal establecido en la localidad El Hospital, perteneciente al municipio de Charcas, San Luis Potosí (Figura 1), cuyo beneficiario es el Sr. Tomás Ibanda Carreón. Dicho módulo está conformado por una diversidad de grupos funcionales de plantas sobre el mismo terreno, importantes desde el punto de vista agrícola, hortícola, frutícola y pecuario.

De acuerdo con Barajas (2017), los elementos que conforman la unidad agroforestal bajo estudio son: predio de 1485 m², noria de bajo gasto, sistema de riego por goteo por gravedad con depósito para el agua con capacidad de 1.1 m³ colocado a 1 m de altura; en dicho depósito se realiza la mezcla de fertilizantes.

En 2015, se trasplantaron 2 hileras de árboles de durazno de la variedad Diamante mejorado, a distancia entre hileras de 22 m y separación entre árboles de 3.5 m; cada hilera cuenta con 16 árboles frutales.

El módulo tiene 44 camas de cultivo de 0.7 m por 0.3 m (ancho por profundidad), con una separación entre camas de 1 m. En ellas se siembran o trasplantan diversos cultivos, cuya

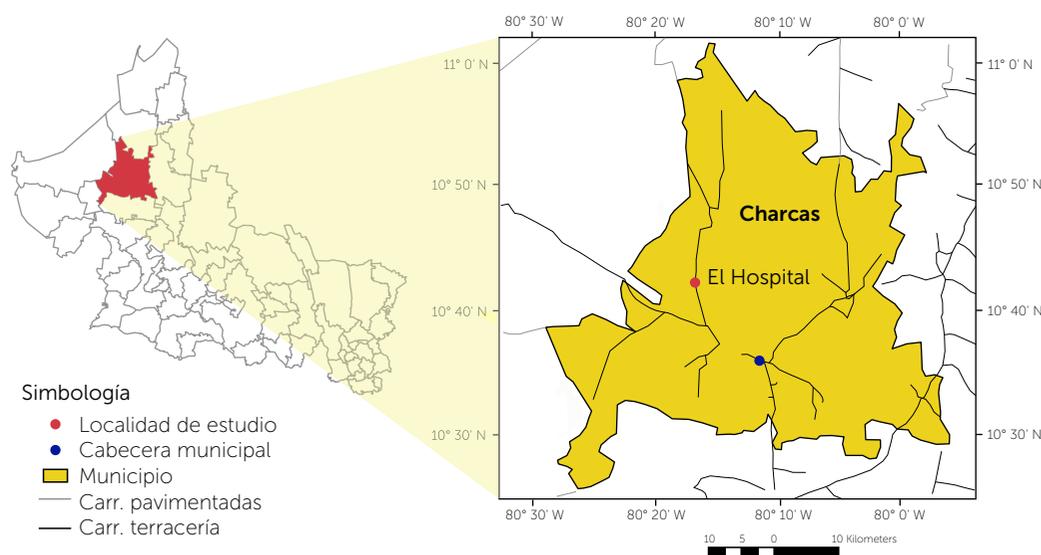


Figura 1. Localización geográfica de la localidad El Hospital, en el municipio de Charcas, San Luis Potosí, México, donde se ubica el módulo agroforestal.

densidad de población varía entre 5,000 a 35,000 plantas, en función de la especie vegetal y disponibilidad del agua.

Análisis de las prácticas utilizadas. Este fue realizado, con base en visitas de campo e información recabada de pláticas sostenidas con el productor y técnico encargado del módulo.

Productividad y diversificación. Para determinar la producción y diversificación de especies vegetales del módulo, se analizaron los datos de rendimiento de los cultivos cosechados durante 2015 a 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prácticas utilizadas en el módulo. En el ámbito de los suelos, el manejo puede darse mediante prácticas que conservan la fertilidad de los suelos (también conocidas como agronómicas y vegetativas) y prácticas de conservación cuya principal función es la de retener sedimentos (conocidas como prácticas mecánicas) (Cotler y Cuevas, 2017).

Las prácticas utilizadas en el módulo fueron: a) prácticas de conservación (labranza reducida), b) prácticas vegetativas (diversificación de cultivos, cultivos asociados, cultivos intercalados y rotación de cultivos) y c) prácticas agronómicas (fertilización de fondo y fertigación).

Labranza reducida. Al momento de establecer el módulo, se realizó la preparación del terreno mediante un paso de arado y rastreo del suelo, posterior a lo cual

se formaron las camas de cultivo. A la fecha sólo se trabaja con herramientas manuales en la cama de cultivo (en 5 años el suelo ha permanecido sin paso de arado). El término labranza reducida abarca una variedad de prácticas de labranza, pero nunca implica invertir el suelo. Kassam et al. (2009) afirmaron que tanto los cultivos como los árboles se benefician de una perturbación mínima del suelo, y que la agri-

cultura de conservación y la agroforestería combinadas tienen efectos sinérgicos en la salud del suelo y la productividad de los cultivos. Estos mismos autores recomiendan combinar la agricultura de conservación con agroforestería como un enfoque sustentable.

Prácticas vegetativas. Con el fin de diversificar la producción, en el módulo intencionalmente se realiza la siembra o trasplante de cultivos múltiples, lo cual incide en una dieta alimentaria más diversa, además de que el productor no tiene problemas para comercializar sus productos, con base en lo que demandan los pobladores del área de estudio.

Los tipos de cultivos múltiples establecidos en el módulo agroforestal fueron: cultivos asociados (durazno/cultivos), cuyo arreglo fue similar al utilizado por Pavón et al. (2014); cultivos intercalados; cultivos en fajas (ejemplo: surcos de ajo y alfalfa); y rotación de cultivos (Figura 2).

El sistema de cultivos múltiples, se basa en el desarrollo y manejo de la agrobiodiversidad en unidades de producción rural, con el fin de generar ingresos y servicios ecosistémicos (Godfray et al., 2010; Koohafkan et al., 2011). Con el establecimiento de cultivos múltiples se busca, en primer término, incrementar los rendimientos por unidad de área y tiempo, a través de dos mecanismos no excluyentes, los cuales son: i) utilización más eficiente de los recursos del ambiente; y ii) aprovechamiento de las ventajas de la interacción entre las especies componentes a través de una particular configuración espacial (Caviglia, 2009).



Figura 2. Rotación de cultivos en el módulo agroforestal localizado en la localidad El Hospital, Charcas, San Luis Potosí, México.

Prácticas agronómicas:

Fertilización de fondo. Ésta se realiza anualmente mediante la incorporación de una mezcla de estiércol vacuno (5 t ha⁻¹) y fertilizante mineral (40 N: 80 P₂O₅: 50 K₂O kg ha⁻¹) con las siguientes fuentes: sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y cloruro de potasio. Esta práctica, además de ser fuente de nutrientes para los cultivos, estimula la actividad microbiana y mejora la retención de agua del suelo. Actualmente se recomienda, la aplicación combinada de abonos orgánicos y fertilizantes inorgánicos, para la conservación y el incremento de la fertilidad del suelo (Fening et al., 2011). Dicha combinación induce mayor crecimiento y producción de frutos, asimismo mejora las propiedades físicas y químicas del suelo (Suge et al., 2011).

Riego. De acuerdo al cultivo se utilizan diferentes láminas de riego, las cuales varían de 120 a 290 m³ 1200².

Fertigación. Desde el trasplante hasta la cosecha se aplicó la fertilización 100 N:80 P₂O₅ :80 K₂O kg ha⁻¹, a través del sistema

de riego por goteo por gravedad. Esta práctica conocida como fertirrigación permite un adecuado y preciso suministro de agua y nutrientes con una distribución temporal y uniforme para satisfacer la demanda nutrimental del cultivo (Bar-Yosef, 1999), además asegura el ahorro de fertilizantes y disminuye la lixiviación de N-NO₃ (Asadi et al., 2019).

Cotler y Cuevas (2017) realizaron un estudio en 42 sistemas agrícolas y agroforestales determinando que en el 19% de ellos aplican sólo

una práctica agronómica, en 68% aplican dos o más y en el restante 13% no aplica este tipo de prácticas. Las prácticas más utilizadas fueron: rotación de cultivos, aplicación de materia orgánica y establecimiento de cultivos asociados, en combinación con prácticas mecánicas.

El mayor desafío para la agroforestería en zonas áridas es identificar las combinaciones de especies y prácticas de manejo que optimicen el suministro de la poca agua disponible y minimicen la inevitable competencia entre los árboles y cultivos (Ong et al., 2007).

Diversificación de especies.

Durante el período analizado el productor cosechó productos de 16 especies vegetales pertenecientes a 11 familias (Cuadro 1). Las familias Amaryllidaceae, Fabaceae, Cucurbitaceae, Apiceae, Astereceae y Solanaceae estuvieron representadas cada una por dos especies y el resto de las familias por una especie. En ambientes tropicales se ha reportado un número más elevado de especies vegetales. Pavón et al. (2014) reportaron 26 cultivos con

Cuadro 1. Composición de especies vegetales en el módulo agroforestal en el periodo bajo estudio.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Amaranthaceae	<i>Beta vulgaris</i> L. var. cicla	Acelga
Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i> L.	Ajo
Fabaceae	<i>Medicago sativa</i> L.	Alfalfa
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i> L.	Calabaza
Amaryllidaceae	<i>Allium cepa</i> L.	Cebolla
Apiaceae	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Cilantro
Asteraceae	<i>Tagetes erecta</i> L.	Cempasúchil
Solanaceae	<i>Capsicum annum</i> L.	Chile
Rosaceae	<i>Prunus persica</i> (L.) Stokes	Durazno
Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol
Asteraceae	<i>Lactuca sativa</i> L.	Lechuga
Poaceae	<i>Zea mays</i> L.	Maíz
Cucurbitaceae	<i>Cucumis sativus</i> L.	Pepino
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> L.	Repollo
Solanaceae	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate
Apiaceae	<i>Daucus carota</i> L.	Zanahoria

diferentes usos en SAF de Cuba; mientras que Okubo *et al.* (2010) encontraron 42 especies vegetales al analizar 83 SAF en Indonesia. Es importante mencionar que la superficie total analizada en estos estudios fue superior a la del módulo del presente estudio.

La diversificación de productos (granos, verduras, frutas, especies aromáticas, etc.) en los SAF permite una dieta variada para las familias rurales y la reducción del impacto que causa el cambio climático (Kumar y Nair, 2004; Torres Aquino *et al.*, 2016; Tiwari *et al.*, 2017). Además, los cultivos que se establecen en los SAF dependen de la elección de los productores (Hanif *et al.*, 2018). En el presente estudio, la evaluación se dividió en dos periodos, el primero de junio 2015 a marzo 2016 y el segundo de agosto 2017 a octubre 2018, debido a que el número de especies productoras fue diferente como se presentará a continuación.

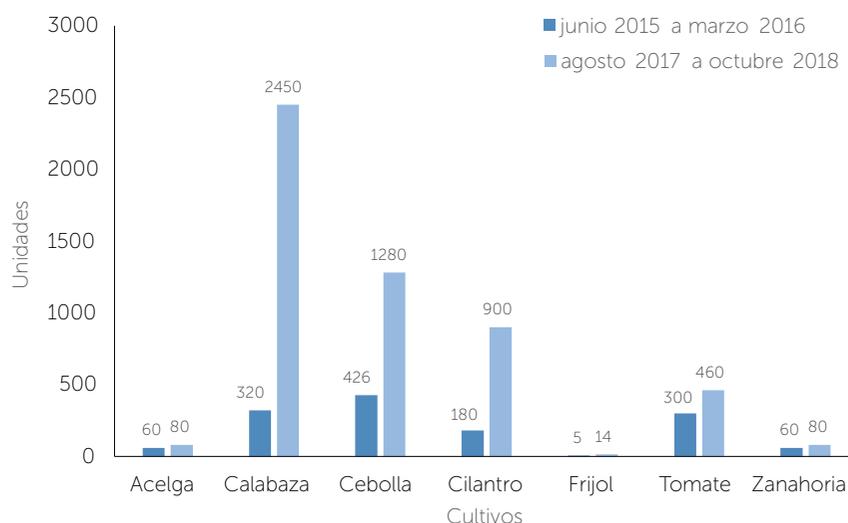


Figura 3. Producción de las especies vegetales en un módulo agroforestal de 1200 m². Las unidades de producción corresponden a kg, excepto para acelga y cilantro, cuyas unidades son manojos.

Rendimiento. Se observaron mayores rendimientos y un número mayor de especies cultivadas durante el segundo periodo, respecto al primero periodo evaluados (Cuadro 2 y Figura 3). En el primer periodo se cultivaron 10 especies y se realizaron 13 cosechas, ya que hubo

Cuadro 2. Rendimiento e ingreso obtenido en diferentes cultivos, en un módulo agroforestal con una superficie útil de 1200 m², durante los periodos analizados.

Junio 2015 a marzo 2016				Agosto 2017 a octubre 2018			
Cultivo	Unidad	Rendimiento	Ingreso (\$)	Cultivo	Unidad	Rendimiento	Ingreso (\$)
Acelga	manejo	60	300.00	Acelga	manejo	80	400.00
Calabaza	kg	240	2,400.00	Ajo	kg	30	1,500.00
Calabaza	kg	80	800.00	Ajo segunda etapa	pieza	22500	28,125.00
Cebolla	kg	426	4,260.00	Alfalfa	kg	1600	5,600.00
Chile	kg	10	150.00	Calabaza	kg	450	4,500.00
Cilantro	manejo	80	400.00	Calabaza	kg	2000	10,000.00
Cilantro	manejo	100	500.00	Cebolla	kg	880	8,800.00
Frijol	kg	5	75.00	Cebolla	kg	400	2,000.00
Maíz elote	pieza	500	1,000.00	Cilantro	manejo	900	4,500.00
Maíz forrajero	kg	300	150.00	Durazno	kg	30	450.00
Tomate	kg	300	3,000.00	Flor de cempasúchil	ramos	400	4,000.00
Verdura	paquete	280	2,800.00	Frijol	kg	14	210.00
Zanahoria	kg	60	600.00	Lechuga	pieza	360	2,520.00
				Pepino	kg	50	500.00
				Repollo	pieza	320	1,600.00
				Repollo	pieza	360	2,520.00
				Repollo	pieza	360	1,800.00
				Tomate	kg	60	1,200.00
				Tomate	kg	400	2,000.00
				Zanahoria	kg	80	560.00

dos cosechas de calabaza, cilantro y maíz. En el segundo periodo se cultivaron 14 especies y se llevaron a cabo 20 cosechas, ya que el ajo, la calabaza, cebolla, repollo y tomate tuvieron más de una cosecha.

La más amplia variedad de especies cultivadas, el mayor rendimiento y la experiencia acumulada del productor incidieron en el incremento de ingresos por venta de excedentes de producción, por lo que también se mejoró la relación beneficio costo del módulo agroforestal (Cuadro 3).

Dicha diversificación también aumentó el potencial de una adecuada alimentación de la familia rural. Al respecto, se ha mencionado que, la cantidad y diversidad de productos se incrementa sustancialmente en los SAF a través del tiempo, donde los productos son utilizados por la familia para contribuir en su seguridad alimentaria, y generar ingresos a través de la venta del excedente de productos, lo cual contribuye a la mejorara de la condición socio-económica de los productores rurales (Torres-Aquino *et al.*, 2012; Hanif *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

Las prácticas para la producción y mejora de productividad del SAF son: a) conservación (labranza reducida); b) vegetativas (diversificación de cultivos; cultivos asociados, cultivos intercalados y rotación de cultivos); y c) agronómicas (fertilización de fondo, riego y fertigración).

La diversificación y uso adecuado de prácticas de manejo mejoraron la productividad del módulo por unidad de superficie, cuyos indicadores fueron la producción y su valor.

Cuadro 3. Ingreso total obtenido por diferentes cultivos, en un módulo agroforestal con una superficie útil de 1200 m², durante los periodos analizados.

Periodo	junio 2015 a marzo 2016	agosto 2017 a octubre 2018
Ingreso total (\$)	16,435.00	82,785.00
Costo de producción (\$)	4,622.80	16,850.00
Relación B/C	3.60	4.90

El mayor ingreso económico y relación beneficio: costo se asociaron al incremento en especies vegetales cultivadas y a la introducción de un árbol frutal (durazno). Lo anterior se puede atribuir también a la experiencia y seguridad adquirida por la familia rural al paso de los años.

AGRADECIMIENTOS

Los datos del presente artículo forman parte de los resultados del "Proyecto para la suficiencia alimentaria en la Región Altiplano, Centro y Media del Estado de San Luis Potosí", el cual fue financiado por SAGARPA y Fundación Coca Cola, teniendo como instituciones ejecutoras al INCA RURAL y PRONATURA, A.C.

LITERATURA CITADA

Anderson, S.H., Udawatta, R.P., Seobi, T., & Garrett, H.E. (2009). Soil water content and infiltration in agroforestry buffer strips. *Agroforestry Systems* 75: 5-16. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9128-3>

Asadi, M.E., Clemente, R.S., Das Gupta A., Loof, R., Hamsem G.K (2019). Impacts of fertigation via sprinkler irrigation on nitrate leaching and corn yield in an acid-sulphate soil in Thailand. *Agricultural Water Management* 52: 197-213.

Barajas, T.S. (2017). Análisis de unidades de producción agroforestal familiar en el Altiplano Potosino. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados-Campus San Luis Potosi. Salinas, SLP, México. 90 p.

Bar-Yosef, B. (1999). Advances in fertigation. *Advances in Agronomy* 65: 1-77. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60910-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60910-4)

Catacutan, D.C., van Noordwijk, M., Nguyen, T.H., Öborn, I., & Mercado, A.R. (2017). Agroforestry contribution to food security and climate change adaptation and mitigation in Southeast Asia. White Paper. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program; Jakarta, Indonesia: ASEAN-Swiss Partnership on Social Forestry and Climate Change. 36 pp. Recuperado el 27 de julio de 2019 de <https://www.worldagroforestry.org/region/sea/publications/detail?pubID=4231>.

Cotler, H. & Cuevas, F.M.L. (2017). Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México. Fundación Río Arronte y Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable. CDMX, México. 114 pp. Recuperado el 27 de julio de 2019 de <https://www.centrogeo.org.mx/archivo/archivo-comunicacion/comunicacion-libros/275-estrategias-de-conservacion-de-suelos-en-agroecosistemas-de-mexico/file>.

Caviglia, O.P. (2009). La contribución de los cultivos múltiples a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2009, Publicación Miscelánea. 115, 37-47. Recuperado el 27 de julio de 2019 de http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/115/misc115_037.pdf.

Chevallier, T., Cardinael R., Béral C., Chenu C. & Bernoux M. (2015). L'agroforesterie permet-elle de concilier production agricole et atténuation du changement climatique? *Forêt-entreprise* 225: 49-53.

Fening, J.O., Ewusi-Mensah, N. & Safo, E.Y. (2011). Short term effects of cattle manure compost and NPK application on maize grain yield and soil chemical and physical properties. *Agricultural Science and Research Journal* 1: 69-83. DOI: 10.4067/S0718-95162017005000002

Gea-Izquierdo, G., Montero, G., & Cañellas, I. (2009). Changes in limiting resources determine spatio temporal variability in tree-grass interactions. *Agroforestry Systems*, 76: 375–387. DOI: 10.1007/s10457-009-9211-4

- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R. & Haddad, L. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327: 812–818. doi:10.1126/ science.1185383.
- Hanif, M.A., Roy, R.M., Bari, M.S., Ray, P.C., Rahman, M.CS, & Hasan M.F. (2018). Livelihood improvements through Agroforestry: Evidence from Northern Bangladesh. *Small-scale Forestry* 17. <https://doi.org/10.1007/s11842-018-9400-y>.
- Kassam, A.H., Friedrich, T., Shaxson, F., & Pretty, J. (2009). The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7: 292-320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>
- Koohafkan, P., Altieri, M., & Gimenez, E.H. (2011). Green agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agriculture and Sustainability* 10: 61–75. <https://doi.org/10.1080/14735903.2011.610206>
- Kumar, B.M., & Nair, P.K.R. (2004). The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61: 135-152. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028995.13227.ca>
- Montagnini, F. (2017). Introduction: Challenges for Agroforestry in the New Millennium. Pp 3-10. In Montagnini, F. *Integrating landscapes: Agroforestry for biodiversity conservation and food sovereignty*. *Advances in Agroforestry* 12. Springer.
- Okubo, S., Parikesit, Harashina, K., Dendi, M., Oekan, S.A., & Takeuchi, K. (2010). Traditional perennial crop-based agroforestry in West Java: the tradeoff between on-farm biodiversity and income. *Agroforestry Systems* 80: 17-31. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9341-8>
- Ong, C.K., Anyango, S., Muthuri, C.W., & Black, C.R. (2007). Water use and water productivity of agroforestry systems in the semi-arid tropics. *Annals of Arid Zone* 46: 255-284.
- Pavón, R.M.I., Domini, C.M.E., Suárez, V.G.M., Flores, J. y Almenares, G.G.R. (2014). Sistema agroforestal para el uso racional del suelo en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque. *Cultivos Tropicales* 35: 14-20.
- Smith, J., Pearce, B.D., & Wolfe, M.S. (2013). Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems* 28: 80-92. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000585>
- Suge, J.K., Omunyin, M.E., & Omami, E.N. (2011). Effects of organic and inorganic sources of fertilizer on growth, yield and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Archives of Applied Science Research* 3, 470-479.
- Syano, N.M., Wasonga, O.V., Nyangito, M., Kironchi, G., & Egeru, A. (2016). Ecological and socio-economic evaluation of dryland agroforestry systems in East Africa. in Fifth African Higher Education Week and RUFORUM Biennial Conference 2016, South Africa. RUFORUM Working Document Series (ISSN 1607-9345) No. 14 (1): 525-535. Recuperado el 27 de julio de 2019 de <https://repository.ruforum.org/system/tdf/Syano.pdf?file=1&type=node&id=36237&force=>
- Tiwari, P., Kumar, R., Thakur, L., & Salve, A. (2017). Agroforestry for Sustainable Rural Livelihood: A Review. *International Journal of Pure and Applied Bioscience* 5: 299-309. doi: <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.2439>.
- Torres-Aquino, M., Martínez-Hernández, J.J., Olmos-Oropeza, G., Ríos-Hernández, I. & Martínez-Montoya, J.F. (2012). Módulos agroforestales; una alternativa viable para regiones semiáridas. 235-239. En SMCS. *Memorias del XXXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Zacatecas, Zac., México*.
- Torres-Aquino, M., Martínez-Hernández, J.J., Olivera-Méndez, A., & Hernández-Ríos, I. (2016). Módulo agroforestal para regiones de clima seco. *Agroproductividad* 9: 43-44.



Potential distribution of the Mexican spotted owl (*Strix occidentalis lucida* Nelson 1903) in Aguascalientes, Durango, Jalisco and Zacatecas, Mexico

Distribución potencial del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida* Nelson 1903) en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México

Palma-Cancino, Davira Yolanda¹; Tarango-Arámbula, Luis Antonio^{2*}; Ugalde-Lezama, Saul³; Alcántara-Carbajal, José Luis²; Olmos-Oropeza, Genaro²; Ángeles-Pérez, Gregorio²; Rincón-Ramírez, Joaquín Alberto²

¹Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Mérida, Yucatán, México. C. P. 97205. ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230. ³Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

*Autor para correspondencia: ltarango@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To estimate the potential distribution of the threatened *Strix occidentalis lucida* in a portion of central Mexico and contribute with information throughout its range for conservation.

Design/methodology/approach: The Maxent algorithm and the ArcMap software were used with 21 records of the presence of the Mexican spotted owl, 19 bioclimatic layers, four layers of the digital elevation model, one of cover, and one of vegetation and land use to model the potential distribution. A map with different distribution categories was created with ArcMap and QGIS.

Results: The modeling of the distribution has a ROC curve value of 0.984 that indicates a good prediction. Three categories of probability of distribution were obtained. The layers with the greatest contribution to the model were the elevation, cover, vegetation, and six bioclimatic layers of precipitation and temperature. The area in km² and the municipalities corresponding to each category of distribution by state were obtained.

Limitations on study/implications: Maxent seems to be a useful tool to define the distribution of *Strix occidentalis lucida*. However, to validate its results it is necessary to verify in the field the presence of this species at the sites indicated by this model.

Findings/conclusions: The coverage, vegetation, elevation, precipitation and temperature were the variables that most explained the potential distribution model and correspond to those reported in the literature for the species. Zacatecas presented the largest area with a very high probability of distribution.

Keywords: potential habitat, conservation tool, presence prediction.

RESUMEN

Objetivo: Estimar la distribución potencial de la especie amenazada *Strix occidentalis lucida* en una porción del centro de México y contribuir con información en todo su ámbito de distribución para su conservación.

Diseño/metodología/aproximación: Se empleó el algoritmo Maxent y el software ArcMap utilizando 21 registros de presencia del tecolote moteado mexicano, 19 capas bioclimáticas, cuatro capas del modelo digital de elevación, una de cobertura, y una de vegetación y uso de suelo para modelar la distribución potencial. Se creó un mapa con diferentes categorías de distribución con ArcMap y QGIS.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 1, enero. 2020. pp: 23-28.

Recibido: octubre, 2019. **Aceptado:** enero, 2020.



Resultados: La modelación de la distribución tiene un valor de la curva ROC de 0.984 lo que indica una predicción buena. Se obtuvieron tres categorías de probabilidad de distribución. Las capas con mayor contribución al modelo fueron la capa de elevación, cobertura, vegetación, y seis capas bioclimáticas de precipitación y temperatura. Se obtuvo la superficie en km² y los municipios correspondientes a cada categoría de distribución por cada estado.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Maxent parece ser una herramienta útil para definir la distribución de *Strix occidentalis lucida*. Sin embargo, para validar sus resultados es necesario comprobar en campo la presencia de esta especie en los sitios indicados por este modelo.

Hallazgos/conclusiones: La cobertura, vegetación, elevación, precipitación y temperatura fueron las variables que más explicaron el modelo de distribución potencial y corresponde con los reportados en la literatura para la especie. Zacatecas presentó la mayor superficie con muy alta probabilidad de distribución.

Palabras clave: hábitat potencial, herramienta para conservación, predicción de presencia.

INTRODUCCIÓN

El tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida*) es la única subespecie de *S. occidentalis* que se distribuye en México y se encuentra listada como amenazada en la NOM-059-SEMARNAT 2010 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010). Esta especie se distribuye en bosques mixtos y bosques caducifolios de climas templados y fríos desde el sur de Estados Unidos hasta el centro de México (Tarango et al., 1997; Navarro y Tarango, 2000; Tarango et al., 2001). La literatura indica una preferencia por amplias áreas de vegetación madura y conservada, por lo que se considera como una especie indicadora de la calidad y condición de los bosques. El hábitat que seleccionan suele asociarse con áreas de difícil acceso, las cuales, en conjunto con su comportamiento críptico, dificulta su observación.

En México, los estudios sobre el tecolote moteado mexicano se han centrado en la Sierra Madre Occidental y se refieren a su dieta, características de los sitios de descanso (Bravo-Vinaja et al., 2005; Márquez, 2002; Tarango et al., 1997; Tarango et al., 2001; Young et al., 1997; Silva-Piña et al., 2018) y sobre vocalizaciones y territorios de descanso (Rafael-Valdez et al., 2019). Por ello, el desconocimiento específico de todas las zonas de distribución real y potencial de esta subespecie y sus amenazas regionales, limita el diseño de estrategias para el manejo adecuado (Tarango et al., 2001; Bravo-Vinaja et al., 2005) de esta especie y las áreas donde se distribuye.

Para determinar la distribución potencial de las especies se utilizan modelos predictivos, mismos que relacionan observaciones de campo con variables ambientales en las cuales una especie puede mantener sus poblaciones

(Guisan y Thuiller, 2005). Maxent es un algoritmo que crea modelos de distribución potencial a partir de capas de mapas digitales, utilizando información geográfica específica donde está presente la especie bajo estudio. Una de las ventajas de este algoritmo es su capacidad para modelar satisfactoriamente empleando un número pequeño de datos (Hernández et al., 2008; Phillips et al., 2006). En este estudio se utilizó Maxent para identificar las zonas de distribución potencial de *Strix occidentalis lucida* en una porción del centro-norte de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área que se utilizó para modelar la distribución del tecolote moteado mexicano corresponde a los estados de Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México, los cuáles en conjunto, ocupan una superficie de 280,495.30 km². Estos estados se seleccionaron por presentar zonas con cordilleras y elevaciones que oscilan entre los 2200-4500 msnm, con temperaturas de 20-22 °C o más bajas en temporadas frías, presentan climas templados y semi-fríos, precipitaciones altas en temporada de lluvias y una vegetación de bosque de coníferas o bosques mixtos (pino-encino) (Rzedowski, 2006; Ramos-Vizcaino et al., 2007; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2008) que constituyen hábitats para el tecolote moteado mexicano.

Obtención de registros del tecolote moteado mexicano

Los registros del tecolote moteado se obtuvieron a través de su búsqueda en la literatura científica. Se compiló y se utilizó la información geográfica (coordenadas) de los

sitios de anidación o descanso de la especie reportados para los cuatro estados bajo estudio.

Para modelar la distribución potencial del tecolote moteado mexicano, se empleó el algoritmo Maxent versión 3.3.3k. (Phillips, 2013). Para ello, se utilizaron las coordenadas de los sitios de anidación o descanso de *Strix occidentalis lucida*, 19 capas de variables bioclimáticas tomadas de WorldClim 1.4 (Hijmans et al., 2005), cuatro capas derivadas del modelo digital de elevación (INEGI, 2008), una capa de cobertura de la superficie (Hansen et al., 2000), y una capa de uso de suelo y vegetación (CONABIO, 1999). Todas las variables se procesaron a una resolución de 1 km² (0.01 píxeles).

Para obtener el modelo inicial, se utilizó el 70% de los datos de ocurrencia y se corrió el programa con 20 réplicas aleatorias para promediar los resultados, el 30% restante se empleó para evaluar los errores de omisión y comisión, asignándolos al azar (Espinoza et al., 2014). Maxent realizó una prueba de Jackknife del porcentaje que aportó cada variable al modelo (Anderson et al., 2003) y consideró aquellas con mayor influencia. El mapa resultante en archivo Ascii se convirtió a archivo raster con el programa ArcMap 9.3 (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2006) para un mejor manejo y para establecer rangos para reclasificar los datos. De esta manera se generaron tres categorías de probabilidad de distribución potencial: 1) muy alta, 2) alta y 3) media con la herramienta de Reclassify, para establecer los rangos de los

valores, se tomó como umbral de ausencia/presencia el valor mínimo de presencia (0.1987) obtenido de la base de datos que generó Maxent. Para obtener con mayor precisión los valores de las variables que influyeron en el modelo, se creó una capa de puntos y se utilizó el software QGIS 2.14.0 (QGIS Development Team, 2014), el cual extrajo los valores exactos de los puntos donde se registró la distribución potencial; con ello, se crearon los rangos (mínimo-máximo) de valor de cada variable que influyó en el modelo (Cuadro 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la literatura científica se obtuvieron 21 registros de presencia de la especie dentro del área de estudio, seis de Sierra Fría, Aguascalientes (Márquez et al., 2002), seis de La Michilía, Durango (Garza, 1999), seis de Valparaíso, Zacatecas (Bravo-Vinaja, 2003) y tres de Tlachichila, Zacatecas (Palma-Cancino, 2014). Estas coordenadas fueron obtenidas de trabajos que emplearon el mismo método de muestreo para la ubicación de la especie. Para el estado de Jalisco no se encontró un reporte oficial, pero este estado se tomó en cuenta ya que colinda con los estados que cuentan con la presencia del tecolote y alberga zonas con características similares.

El valor de la curva ROC (AUC=0.984±0.005), indica que el modelo realizó una predicción adecuada, pues el valor cercano a 1 indica el mejor desempeño del algoritmo (Phillips et al., 2006). Las capas de variables que contribuyeron con 91.5% del modelo fueron la capa de

Cuadro 1. Variables que contribuyeron más en el modelo de distribución potencial del tecolote moteado mexicano en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México.

Variable	Probabilidad de distribución potencial		
	Muy alta	Alta	Media
Elevación	2452-3965 m	2160-3255 m	1750-3242 m
¹ Cobertura	30, 50, 70, 110, 130, 140	140, 130, 120, 110, 70, 50, 30	190, 140, 130, 120, 110, 70, 50, 30, 20
² Tipo de vegetación	BP, BE	BP, BE, PN	BP, BE, PN, Mapf
Temperatura mínima promedio del periodo más frío	-1.9 - 3.9 °C	-2.7 - 5.3 °C	-4.1 - 5.5 °C
Precipitación del trimestre más seco	0-55 mm	0-43 mm	0-54 mm
Precipitación del trimestre más cálido	181-628 mm	161-548 mm	140-632 mm
Precipitación anual	471-1609 mm	434-1386 mm	389-1500 mm
Estacionalidad de la precipitación	92-110 mm	90-116 mm	59-117 mm
Oscilación diurna de la temperatura	10-16.7 °C	11-17.7 °C	10.5-19.5

¹Vegetación: Mapf (manejo agrícola, pecuario y plantaciones forestales), PN (pastizal natural), BP (bosque de pino), BE (bosque de encino). ²Cobertura: 20 (mosaicos de vegetación de cultivos (50-70%)/vegetación (pastizal/matorral/bosque) (20-50%)) 30 (mosaicos de vegetación (pastizal, matorral) (50-70%), cultivos (20-50%)) 50 (bosque cerrado (>40%) decíduo de hoja ancha (>5 m)) 70 (bosque cerrado (>40%) perennifolio de pino (>5m)) 110 (mosaico de bosque/matorral (50-70%)/ pastizal (20-50%)) 120 (mosaico de pastizal(50-70%)/bosque/matorral(20-50%)) 130 (matorral (<5m) cerrado a abierto(>15%)) 140 (pastizal cerrado a abierto (>15%)) 190 (Superficies artificiales y áreas asociadas (áreas urbanas 50%)).

elevación (36%), la de cobertura y la de tipo de vegetación (24.6%), y 6 capas bioclimáticas (30.9%). De ellas, cuatro son de precipitación y dos de temperatura.

Las condiciones óptimas para la distribución de la especie aumentan al pasar de probabilidad de distribución media a alta y muy alta, respectivamente (Cuadro 2; Figura 1).

Zacatecas presentó la mayor superficie (9,100.52 km²) con distribución potencial de la especie, de la cual 984.53 km² corresponden a áreas con probabilidad muy alta, que representa el 65.4% del total de la superficie identificada con esta probabilidad en el área de estudio, abarcando 18 municipios (Cuadro 3). La superficie con distribución potencial de este estado representa el 3.2% de la superficie total del estudio, seguido del estado de Durango (0.97%), Jalisco (0.79%) y Aguascalientes (0.29%).

Las variables ambientales que más influyeron en el modelo de distribución, son semejantes a las reportadas en otras zonas. De acuerdo a este modelo, las zonas con

Cuadro 2. Superficie en km² de áreas con probabilidades de distribución del tecolote moteado mexicano en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México.

Estado	Muy alta	Alta	Media
Aguascalientes	114.63	198.83	508.19
Durango	233.86	597.81	1914.02
Jalisco	171.18	328.07	1729.42
Zacatecas	984.53	2434.17	5681.82
Total	1504.2	3558.88	9833.45

con cambios de temperatura durante el día de 10-16.7 °C, debido a la baja tolerancia a altas temperaturas que se registra para la especie (Tarango et al., 1997; Tarango et al., 2001; Ganey, 2004). La importancia de la precipitación (cuatro variables) en el hábitat refleja la preferencia por zonas húmedas y un efecto benéfico de mayor disponibilidad de alimento para las presas del tecolote, resultando en una abundancia alimenticia (Seamans et al., 2002). El tipo de vegetación limita la presencia de la especie a áreas con tipos de vegetación de bosques cerrados de pino/encino principalmente, así como bosques de coníferas y de hojas anchas; lo cual coincide con los tipos de bosque reportados en previos estudios (May et al., 2004; Tarango et al., 1997; Young et al., 1998).

Las zonas identificadas por el modelo tienen las características óptimas para la distribución y sobrevivencia de la especie. Sin embargo, es necesaria la verificación de la

presencia de la especie in situ para poder confirmar que la predicción es acertada. Por ello, es recomendable realizar muestreos en las zonas que el modelo identificó como aptas. Esto también permitirá aumentar la base de datos para cuando se requiera implementar el modelado en áreas de estudio más grandes.

Siendo el tecolote una especie amenazada en México, Maxent junto con los SIG conforman herramientas útiles para obtener mapas de distribución que pueden ser utilizados por instituciones dedicadas a la conservación, ayudando a delimitar zonas de restauración y protección del hábitat de la especie; por ejemplo; prohibiendo la tala y el cambio de uso de suelo en las áreas identificadas como hábitat potencial y sus áreas adyacentes, así como enfocando la protección en zonas de importancia cercanas a disturbios

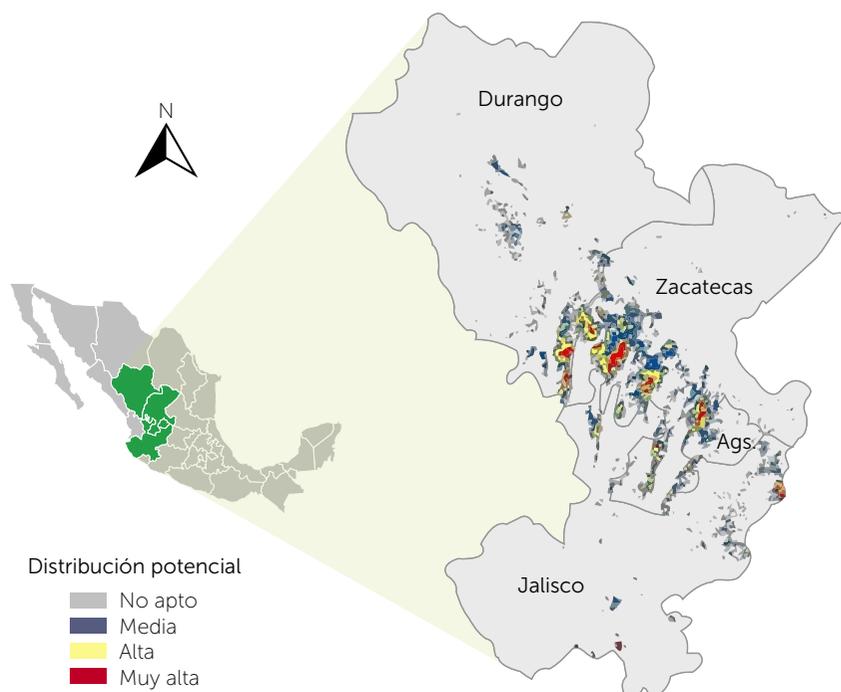


Figura 1. Distribución potencial del tecolote moteado mexicano (*Strix Occidentalis lucida*) en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México.

antropogénicos, la prohibición de pastoreo de ganado y/o cercado en zonas prioritarias para reducir las alteraciones en el hábitat de las especies presas del tecolote moteado mexicano (Hernández et al., 2008; Morales, 2012). El tecolote es considerado una especie elusiva y su distribución es amplia pero no continua, lo cual complica el monitoreo de sus poblaciones, el mapa obtenido puede ser empleado para seleccionar nuevas áreas de muestreo, delimitando zonas más pequeñas que un muestreo completamente al azar.

En México actualmente no hay un plan de manejo para esta especie, y a pesar de estar enlistada como especie amenazada (SEMARNAT, 2010), no se tienen datos completos del estado de sus poblaciones actuales en la República Mexicana. Por ello, se requiere información que facilite el estudio, localización y, sobre todo, la protección de esta especie amenazada.

CONCLUSIONES

El estado de Zacatecas presentó la mayor superficie de distribución potencial del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida*). Maxent, en conjunto con programas de sistemas de información geográfica, son herramientas útiles para modelar la distribución potencial de una especie. Se requiere confirmar la presencia en campo de *Strix occidentalis lucida* en las áreas indicadas, restaurar y conservar, en caso de ser necesario, las áreas catalogadas como hábitat óptimo para la especie.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor y al Colegio de Postgraduados por la formación académica y el apoyo para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Anderson, R.P., Lew, D., & Peterson, A.T. (2003). Evaluating predictive models of species distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162(3), 211-232. doi: 10.1016/S0304-3800(02)00349-6
- Bravo-Vinaja, M.G. (2003). Uso de hábitat y composición de la dieta del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida*) en Valparaíso, Zacatecas (tesis de maestría). Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. De México, México.
- Bravo-Vinaja, M.G., Tarango-Arámbula, L.A., Clemente, S.F., Mendoza, M.G.D., Alcántara, C.J.L., & Soto A.H.V. (2005). Composición

Cuadro 3. Municipios que presentaron una distribución potencial muy alta del tecolote moteado mexicano en Aguascalientes, Durango, Jalisco y Zacatecas, México.

Distribución potencial	Estado	Municipios
Muy Alta	Aguascalientes (2)	Calvillo, San José de Gracia.
	Durango (4)	Guadalupe Victoria, Mezquital, Pánuco de Coronado, Súchil.
	Jalisco (11)	Ciudad Venustiano Carranza, Colotlán, Lagos de Moreno, Mazamitla, Mezquitic, Santa, María de los Angeles, Tequila, Tuxpan, Valle de Juárez, Villa Hidalgo, Zapotitlán de Vadillo.
	Zacatecas (18)	Apozol, Chalchihuites, Fresnillo, Genaro Codina, General Joaquín Amaro, Huanusco, Jalpa, Jerez, Jiménez del Teul, Momax, Monte Escobedo, Nochistlán de Mejía, Sain Alto, Sombrerete, Susticacán, Tlaltenango de Sánchez Román, Valparaíso, Villanueva

y variación de la dieta del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida*) en Valparaíso, Zacatecas, México. *Agrociencia* 39(5), 509-515.

- CONABIO. (1999). Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO escala 1:250000 Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO. (2008). La biodiversidad en Aguascalientes: estudio de estados. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes, Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.
- Espinoza, G.C.R., Martínez, C.J.M., Palacio, N.J., & Hernández, S.A.D. (2014). Distribución potencial del coati (*Nasua narica*) en el noreste de México: Implicaciones para su conservación. *THERYA* 5(1), 331-345. doi: 10.12933/therya-14-195.
- ESRI. (2006). ArcGis Desktop 9.3. Environmental Systems Research Institute. Palm Springs, EE.UU.
- Ganey, J.L. (2004). Thermal regimes of Mexican spotted owl nest stands. *Southwestern Naturalist* 49(4), 478-486. doi: 10.1894/0038-4909(2004)049<0478:TROMSO>2.0.CO;2
- Garza, H.A. (1999). Situación actual del búho manchado mexicano (*Strix occidentalis lucida*) y de los Strigiformes de la Reserva de la Biósfera La Michilía. Instituto de Ecología A.C. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No.H305. México D.F. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfH305.pdf>
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8(9), 993-1009. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x
- Hansen, M., Defries, R., Townshend, J.R.G., & Sohlberg, R. (2000). Global land cover classification at 1km resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing* 21, 1331-1365. doi: 10.1080/014311600210209
- Hernández, P., Franke, I., Herzog, S., Pacheco, V., Paniagua, L., Quintana, H., & Valqui, T. (2008). Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation* 17(6), 1353-1366. doi: 10.1007/s10531-007-9314-z

- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25(15), 1965-1978. doi: 10.1002/joc.1276
- INEGI. (2008). Continuo de Elevación Nacional. Instituto Nacional de Geografía e Informática. México. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>.
- Márquez, O.M. (2002). Determinación de la dieta del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida*) en Sierra Fria, Aguascalientes. *Serie Zoología* 73(2), 205-211.
- Márquez, O.M., Tarango, A.L.A., & Mendoza, M.G.D. (2002). Habitat characteristics of Mexican spotted owl (*Strix occidentalis lucida* (X) Nelson, 1903) Sierra Fria, Aguascalientes. *Agrociencia* 36(5), 541-546.
- May, C.A., Petersburg, M.L., & Gutiérrez, R.J. (2004). Mexican spotted owl nest and roost-site habitat in Northern Arizona. *The Journal of Wildlife Management* 68(4), 1054-1064. doi: 10.2193/0022-541X(2004)068[1054:MSONAR]2.0.CO;2
- Morales, N.S. (2012). Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. *Revista Conservación Ambiental* 2(1), 1-5.
- Navarro, A., & Tarango, A.L. (2000). *Strix occidentalis* Xantus, 1859. In: G. Ceballos y L. Márquez (Eds.), *Las aves de México en peligro de extinción* (pp. 242-246). CONABIO, México, D.F.
- Palma-Cancino, D.Y. (2014). Hábitat y distribución potencial del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida*) en Tlachichila, Zacatecas, y áreas adyacentes (tesis de Maestría). Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, México.
- Phillips, S.J. (2013). A brief tutorial on Maxent, Versions: 3.3.1. Recuperado de: <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-259. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- QGIS Development Team, 2014. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. Recuperado de: <http://qgis.osgeo.org>
- Rafael-Valdez, J., Tarango-Arámbula, L. A., Martínez-Montoya, J. F., Equihua-Martínez, A., Rosas-Rosas, C. O., & Olmos-Oropeza, G. (2019) Patrón temporal de vocalizaciones y territorios de descanso del tecolote moteado mexicano (*Strix occidentalis lucida* Nelson 1903; Strigiformes: Strigidae) en el centro-norte de la Sierra Madre Occidental, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 35, 1-15. doi.org/10.21829/azm.2019.3501221
- Ramos-Vizcaino, I., Guerrero-Vázquez, S., & Huerta-Martínez, F.M. (2007). Patrones de distribución geográfica de los mamíferos de Jalisco, México. *Revista mexicana de biodiversidad* 78(1), 175-189. doi: 10.22201/ib.20078706e.2007.001.392
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. (1ra ed. digital). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de: <http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMxPort.pdf>
- Seamans, M.E., Gutiérrez, R.J., & May, C.A. (2002). Mexican spotted owl (*Strix occidentalis*) population dynamics: influence of climatic variation on survival and reproduction. *The Auk* 119(2), 321-334. doi: 10.1093/auk/119.2.321
- SEMARNAT. (2010). Normal Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio Lista de especies en riesgo. Poder Ejecutivo Federal. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 30 de diciembre de 2010.
- Silva-Piña M.J., Tarango-Arámbula L.A., Clemente-Sánchez F., Cortez-Romero C., Velázquez-Martínez A., Rafael-Valdez J., & Ugalde-Lezama S. (2018). Características del hábitat de sitios de descanso del búho manchado (*Strix occidentalis lucida*) en la Sierra Madre Occidental, México. *Huitzil, Rev. Mex. Ornitol.* 19(2), 141-156. doi.org/10.28947/hrmo.2018.19.2.319
- Tarango A. L.A., Valdez, R., Zwank, P.J., & Cardenas, M. (1997). Mexican spotted owl habitat characteristics in Southwestern Chihuahua, México. *The Southwestern Naturalist* 42(2), 132-136.
- Tarango, L.A., Valdez, R., Clemente, F., & Mendoza, G. (2001). Roost-site characteristics of Mexican spotted owls in Sierra Fria, Aguascalientes, Mexico. *Journal of Raptor Research* 35, 165-168.
- Young, K.E., Valdéz, R., Zwank, P.J., & Gould, W.R. (1998). Density and roost site characteristics of spotted owls in the Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico. *The Condor* 100, 732-736. doi: 10.2307/1369756
- Young, K.E., Zwank, P.J., Valdez, R., Dye, J.L., & Tarango, L.A. (1997). Diet of Mexican spotted owls in Chihuahua and Aguascalientes, México. *Journal of Raptor Research* 31(4), 376-380.



Relationship of photographic indexes and NDVI values to dry biomass production in triticale (*× Triticosecale wittmack*) in the Mexicali valley

Relación de índices fotográficos y NDVI con la producción de biomasa seca en triticale (*× Triticosecale wittmack*) en el valle de Mexicali

Velasco-López, José L.¹; Soto-Ortiz, Roberto^{1*}; Ail-Catzim, Carlos¹; Grimaldo-Juárez, Onécimo¹; Avilés-Marín, Silvia M.¹; Lozano-del Río, Alejandro J.²

¹Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California, México. C.P. 21100.²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315.

*Autor para correspondencia: roberto_soto@uabc.edu.mx

ABSTRACT

Objective: To determine the relationship of different photographic indexes and NDVI values with the production of dry biomass of leaves in triticale forages (*× Triticosecale wittmack*).

Design/methodology/approach: Ten triticale varieties were grown during two agricultural cycles, under different irrigation and fertilization conditions. Data was analyzed under a randomized complete block design. Three samples were taken to estimate the production of dry foliar biomass, before, and after anthesis. In each sampling, three photographs were taken with a digital camera and NDVI measurements were made with the GreenSeeker Handheld[®] spectroradiometer; subsequently, destructive sampling was carried out to estimate dry leaf biomass.

Results: The results showed a better fit to the simple linear regression equations between NDVI and leaf biomass before anthesis ($R^2=0.45$) in response to the effects of interaction between samples and varieties in both evaluation cycles. After anthesis, the statistical relationship between NDVI and leaf biomass was lower ($R^2=0.34$). In addition, the ratio between the GGA index and leaf biomass before anthesis was ($R^2=0.30$), similarly a higher relationship ($R^2=0.34$) was found between GGA with leaf biomass after anthesis.

Findings/conclusions: It is possible to effectively use either GGA or NDVI indexes as an indirect method to estimate dry biomass through the use of digital cameras or GreenSeeker Handheld[®], due to the positive linear relationship ($R^2=0.85$) between the two indexes.

Keywords: triticale, biomass production, photographic indexes, NDVI.

RESUMEN

Objetivo: determinar la relación de diferentes índices fotográficos y valores de NDVI con la producción de biomasa seca de hojas en triticales forrajeros (*× Triticosecale wittmack*).

Diseño/metodología/aproximación: diez variedades de triticale fueron cultivadas durante dos ciclos agrícolas, bajo diferente condición de riego y fertilización. La información fue analizada bajo un diseño en bloques completos al azar. Se realizaron tres muestreos para estimar la producción de biomasa foliar seca, antes y después de anthesis; en cada muestreo se tomaron tres fotografías con una cámara digital y se realizaron las mediciones de NDVI con el espectroradiómetro GreenSeeker Handheld[®]; posteriormente se realizaron los muestreos destructivos para estimar la biomasa foliar seca.

Resultados: los resultados mostraron mayor ajuste a las ecuaciones de regresión lineal simple entre NDVI y biomasa hojas antes de antesis ($R^2=0.45$) en respuesta a los efectos de interacción entre muestreos y variedades en ambos ciclos de evaluación. Después de antesis las relaciones de NDVI con biomasa de hojas fue menor ($R^2=0.34$). La relación entre el índice GGA y biomasa de hojas antes de antesis fue de ($R^2=0.30$), de forma similar se encontró una relación mayor ($R^2=0.34$) entre GGA con biomasa de hojas después de antesis.

Hallazgos/conclusiones: Es posible emplear indistintamente los índices GGA y NDVI, para determinar biomasa seca de manera indirecta mediante cámaras digitales o GreenSeeker Handheld[®], dada la relación lineal positiva ($R^2=0.85$) entre ambos.

Palabras clave: triticale, producción de biomasa, índices fotográficos, NDVI.

Otro método indirecto son las imágenes satelitales que son utilizadas en aplicaciones agrícolas para estudios de vegetación, evaluación de ecosistemas y rendimientos en los cultivos agrícolas (Huete *et al.*, 2002) sin embargo, se limita su aplicación a grandes extensiones debido a la menor capacidad de resolución óptica y del requerimiento de equipos especiales para su procesamiento. De esta manera, se han propuesto las cámaras digitales que logran obtener imágenes de alta resolución y que permiten determinar los índices de vegetación (pic-VIS) basándose en la saturación, intensidad y tonalidad de la imagen en diferentes espacios de color establecidos por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) para identificar y expresar el color de forma objetiva. Los índices fotográficos permiten cuantificar características de las plantas tales como área, senescencia de las hojas, la cobertura de pastizales y la calidad de césped (Lati *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2005). En base a lo anterior, se realizó el presente estudio para determinar la correlación entre el NDVI y los índices fotográficos con la producción de biomasa seca de hojas de triticale (\times Triticosecale wittmack), determinado por greenseeker y la cámara digital bajo diferentes números de riegos y niveles de fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, en el ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México ($32^{\circ} 24' N$ y $115^{\circ} 11' O$), a una altitud de 15 m. En un suelo de textura arcillosa. El clima del valle de Mexicali se clasifica como árido cálido, muy extremo, con una temperatura media anual de

INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de nuevas variedades de cereales con alta producción y calidad se requiere de una amplia evaluación de líneas donde el procedimiento más utilizado es el método directo que consiste en obtener muestras de forraje verde, procesarlas, para así determinar la biomasa seca. La principal desventaja de este método son altos costos en mano de obra y la pérdida de material vegetal para evaluaciones posteriores en los programas de mejoramiento (Royo *et al.*, 2004). También existe el método indirecto basado en la medición de la reflectancia, que se fundamenta en la cantidad de energía que es reflejada desde un objeto en relación a la energía incidente sobre el mismo. En el caso de las plantas, debido a la composición y estructura de hojas, protoplasmas y cloroplastos de la superficie foliar se genera una alta reflectancia de la energía cercana al infrarrojo, así también la presencia de clorofila causa que el color verde se refleje con mayor intensidad que el rojo y azul dentro del espectro electromagnético, estas propiedades de las plantas se correlacionan con los parámetros agronómicos y fisiológicos de las plantas que muestran de manera indirecta la actividad fotosintética y la productividad de la planta (Ma *et al.*, 2001; Adamsen *et al.*, 1999). En la actualidad las mediciones de reflectancia espectral son herramientas para calcular diferentes índices vegetativos; sin embargo, existen factores como la humedad del suelo y la etapa fenológica de la planta que dificultan las mediciones de reflectancia (Ma *et al.*, 2001).

Existen equipos diseñados para medir los espectros de luz reflejada por la superficie foliar y que no dependen de las condiciones de iluminación solar o nubosidad (Royo *et al.*, 2003), entre los más utilizados está el GreenSeeker Handheld[®] que determina el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), este índice permite la medición de la reflectancia de luz roja y cercana al infrarrojo, en consecuencia ha mostrado eficiencia en la predicción de la actividad fotosintética y por lo que fue propuesto para estimar la biomasa verde y el rendimiento de grano en diferentes cereales (Slafer *et al.*, 2005).

22.9 °C, máxima de 48.5 °C y mínima durante invierno de -7.0 °C, con una precipitación media anual de 60 mm (García 1988).

La fase experimental se realizó en los ciclos otoño-invierno O-I 2014/2015 y O-I 2015/2016 donde las variedades de triticale se evaluaron con dos láminas diferentes de riego y fertilización 120N-80P-00K y 60N-80P-00K (Cuadro 1).

Se evaluaron 10 variedades de triticale; cuatro de tipo primaveral (AN123, AN125, AN137, Eronga), dos de tipo facultativo (AN105, AN38) y cuatro de tipo invernal (AN31B, AN34, AN31P, ABT). La semilla de estos materiales fue proporcionada por el programa de cereales de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" para la siembra en el ciclo otoño invierno 2014/15 y el grano cosechado de este ciclo se utilizó como semilla para el ciclo otoño invierno 2015/16.

El manejo agronómico y diseño experimental, fue el siguiente: las fechas de siembra fueron el 8 de enero y el 30 de noviembre del 2015 para el primer y segundo ciclo agrícola respectivamente. El suelo se preparó con barbecho, rastra, floteo y surcado, posteriormente la siembra de las variedades se realizó de forma manual bajo el sistema tradicional (en plano) en suelo con una densidad de 120 kg de semilla ha⁻¹ (Lozano et al., 2009). Los experimentos se establecieron por separado en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, cada parcela experimental se estableció de 9.0 m² con 6 hileras de 5 m de largo y 0.30 m de distancia entre hilera.

Variables evaluadas. Las mediciones se realizaron en las etapas de amacollamiento, encañe, embuche, antesis, llenado de grano y madurez fisiológica, identificando las etapas en base a la escala fenológica propuesta por Zadoks et al. (1974) que son 25, 32, 43, 65, 75 y 90 en ambos ciclos, a medio día sin presencia de sombra y viento a una altura de 0.5 m sobre la cubierta vegetal y en posición cenital al centro de cada parcela del total de los experimentos. Se utilizó una cámara di-

gital marca SAMSUNG® de 12 mega pixeles en el cual se tomaron tres fotografías por parcela, posteriormente mediante el software Breedpix® 0.1 se calcularon los índices de vegetación GA y GGA. De igual manera, se utilizó el GreenSeeker Handheld® para determinar el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI). Finalmente, para determinar la producción de biomasa seca se realizaron muestreos destructivos que consistieron en retirar desde la raíz las plantas de 0.06 m² en una hilera con competencia completa; posteriormente en el laboratorio se separaron las hojas, tallos y espigas de cada muestra y se secaron en una estufa a 60 °C por 72 h y se registró su peso en gramos por parcela, el valor obtenido se transformó a toneladas por hectárea de biomasa seca. Los datos obtenidos se analizaron con el paquete estadístico SAS® 9.0 (SAS 2002) por medio de ANOVA y correlación lineal de las variables GA, NDVI y biomasa seca de hojas mediante el modelo de Pearson, finalmente se generó la ecuación de regresión lineal simple.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el ciclo OI 2014/15 se observó mayor rendimiento de biomasa seca de hojas en la etapa de embuche y antes de antesis para todas las condiciones de riego y fertilización. El rendimiento más alto con 8.45 t ha⁻¹, se obtuvo en condiciones de cinco riegos y fertilización 120N-80P-00K en la etapa de embuche, con la misma cantidad de riegos y 60 unidades de nitrógeno menos se obtuvo rendimiento de 6.5 t ha⁻¹ en la etapa de antesis. En condiciones de cuatro riegos el mayor rendimiento de biomasa seca de hojas fue de 6.12 t ha⁻¹ con fertilización 60N-80P-00K en la etapa de embuche, con la misma cantidad de riegos y 60 unidades más de nitrógeno se obtuvo rendimiento de 4.75 t ha⁻¹ en la etapa de embuche. En el ciclo OI 2015/16 se observó mayor rendimiento de biomasa

seca de hojas en la etapa de embuche para todas las condiciones de riego y fertilización. El rendimiento más alto con 1.82 t ha⁻¹, se obtuvo en condiciones de cinco riegos y fertilización 120N-80P-00K, con la misma cantidad de riegos y 60 unidades de nitrógeno menos se obtuvo rendimiento de 1.47 t ha⁻¹. En condiciones de cuatro riegos el mayor rendimiento de

Cuadro 1. Condiciones de riego y fertilización del estudio en los ciclos O-I 2014/15 y O-I 2015/16 en el Valle de Mexicali, Baja California, México.

Experimentos	Etapas fenológicas de último riego	Número de riegos	Fertilización N P K
1	Llenado de grano	5	120-80-00
2	Llenado de grano	5	60-80-00
3	Antesis	4	120-80-00
4	Antesis	4	60-80-00

Las etapas fenológicas se identificaron en base a la escala de Zadoks, los riegos aplicados correspondieron a los valores 00; Germinación, 25; Amacollamiento, 32; Encañe, 65; Floración y 75; Llenado de grano, La fertilización fue 50% al momento de la siembra y el resto en amacollamiento N; unidades de nitrógeno, P; Unidades de fosforo, K; Unidades de Potasio.

biomasa seca de hojas fue de 1.75 t ha⁻¹ con fertilización 60-80-00 en la etapa de embuche, con la misma cantidad de riegos y 60 unidades más de nitrógeno se obtuvo rendimiento de 1.5 t ha⁻¹ en la etapa de embuche (Cuadro 2). En este estudio se confirma que los valores más altos de biomasa foliar en triticale se observan antes de antesis como reportan los autores Casadesús *et al.* (2014) y Royo *et al.* (2004).

Los análisis de varianza en las etapas fenológicas antes de antesis en el ciclo O-I 2014/15, mostraron diferencias significativas (P≤0.05) en la interacción entre los muestreos y variedades en biomasa seca de hojas y NDVI en los cuatro experimentos, de manera similar los índices GA y GGA en el experimento cua-

tro. También se observó diferencias significativas entre variedades como en los muestreos en las respuestas a los índices GA y GGA en los experimentos uno, dos y tres. Asimismo, los análisis de correlación mostraron correlación positiva entre el NDVI y biomasa seca de hojas en un rango de 0.56 a 0.66 en los experimentos uno, dos y cuatro (Cuadro 3).

En las etapas fenológicas después de antesis se observó diferencias significativas en la interacción entre los muestreos y variedades en biomasa seca de hojas y NDVI (P≤0.05) en los cuatro experimentos, de manera similar el índice GA en los experimentos uno, dos y tres, el índice GGA en los experimentos tres y cuatro. De igual manera se observó diferencias estadísticas (P≤0.05) en

variedades y entre los muestreos en el índice GA en el experimento cuatro y GGA en los experimentos uno y dos. Asimismo, en los cuatro experimentos se observó correlación positiva entre los índices NDVI, GA y GGA con biomasa seca de hojas (r>0.50), los índices GA y GGA con NDVI (r>0.77) (Cuadro 3).

En el ciclo O-I 2015/16 antes de antesis se observó diferencias significativas (P≤0.05) en la interacción entre los muestreos y variedades en la respuesta a biomasa de hojas en los cuatro experimentos, el índice NDVI en los experimentos dos, cuatro y cinco, los índices GA y GGA en los experimentos cuatro y cinco. Así también, se registró diferencias significativas entre muestreos en biomasa seca de hojas en los cuatro

Cuadro 2. Rendimiento de biomasa seca de hojas de triticale (t ha⁻¹) en las diferentes etapas fenológicas bajo condiciones de riego y fertilización en los ciclos O-I 2014/15 y O-I 2015/16 en el Valle de Mexicali, Baja California, México.

Etapa	5 Riegos 120-80-00		5 Riegos 60-80-00		4 Riegos 120-80-00		4 Riegos 60-80-00	
	Ciclo1	Ciclo2	Ciclo1	Ciclo2	Ciclo1	Ciclo2	Ciclo1	Ciclo2
Amacollo	1.04	0.83	1.13	0.8	0.92	0.77	1.07	0.77
Encañe	4.79	1.15	4.63	1.11	3.34	1.06	3.79	1.12
Embuche	8.45	1.82	6.05	1.47	4.75	1.5	6.12	1.75
Antesis	6.8	1.19	6.5	1.09	4.44	1.37	4.25	1.24
Llenado de grano	4.66	1.28	4.24	1.02	3.32	1.2	3.06	1.04
Madurez fisiológica	3.07	1.12	3.34	0.97	2.58	1.04	2.31	1.08

Las etapas fenológicas se identificaron en base a la escala de Zadoks, 25; Amacollamiento, 32; Encañe, 43; Embuche 65; Floración, 75; Llenado de grano y 90; Madurez fisiológica; ciclo1: ciclo O-I 2014/15; ciclo2: ciclo O-I 2015/16.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de los componentes de biomasa seca, NDVI e índices fotográficos evaluados en el ciclo O-I 2014/15, Valle de Mexicali, Baja California, México.

Fase		5 Riegos 120-80-00		5 Riegos 60-80-00		4 Riegos 120-80-00		4 Riegos 60-80-00	
		BHOJ	NDVI	BHOJ	NDVI	BHOJ	NDVI	BHOJ	NDVI
Antes de antesis	NDVI	0.587		0.638		0.449		0.626	
	GA	0.156	0.114	0.359	0.142	0.157	0.140	0.155	0.053
	GGA	0.180	0.143	0.258	0.068	0.254	0.179	0.077	-0.053
Después de antesis	NDVI	0.618		0.642		0.612		0.645	
	GA	0.525	0.780	0.580	0.817	0.547	0.851	0.507	0.841
	GGA	0.497	0.778	0.611	0.791	0.580	0.829	0.534	0.814

BHOJ=biomasa seca de hojas; NDVI=índice de vegetación de diferencia normalizado; GA=área verde; GGA=área más verde.

experimentos, GA en los experimentos uno, dos y tres, y se observaron diferencias significativas entre variedades en biomasa seca de hojas en los experimentos tres y cuatro, GA y GGA en el experimento dos.

En estas etapas fenológicas, se registró correlación positiva de los índices GA y GGA con NDVI ($r > 0.6$) en los cuatro experimentos (Cuadro 4). Después de antesis, se observaron diferencias significativas en la interacción entre los muestreos y las variedades en la respuesta a biomasa de hojas en los experimentos uno y cuatro, los índices GA y GGA en los experimentos dos y cuatro. También se obtuvieron diferencias significativas entre los muestreos en la respuesta a NDVI en los cuatro experimentos, GA y GGA en los experimentos uno y tres. De manera similar se registraron diferencias significativas entre variedades en NDVI en los experimentos uno y dos, biomasa de hojas en los experimentos dos y tres. Se observó correlación positiva de los índices GA y GGA con NDVI en los cuatro experimentos ($r > 0.7$) (Cuadro 4).

Se observó mayor ajuste a las ecuaciones de regresión lineal simple entre NDVI y biomasa hojas antes de antesis en respuesta a los efectos de interacción entre muestreos y variedades en ambos ciclos de evaluación (Figura 1 A). La relación de NDVI con biomasa de hojas fue de $R^2 = 0.44$. Después de antesis las relaciones de NDVI con biomasa de hojas fue menor $R^2 = 0.33$.

Asimismo, la relación entre el índice GGA y biomasa de hojas fue de $R^2 = 0.30$ antes de antesis en los dos ciclos de evaluación, de forma similar se encontró una relación entre GGA con biomasa de hojas de $R^2 = 0.34$ después de antesis (Figura 1 B). Del total de los experimentos en ambos ciclos de evaluación se observó relación alta entre el índice fotográfico GGA y NDVI ($R^2 = 0.85$), obteniéndose mayor ajuste a la ecuación de regresión lineal simple (Figura 2).

En este estudio se observaron diferencias en los valores de NDVI, GA y GGA en las variedades de triticales a través de las diferentes etapas fenológicas, similar a lo que documenta Álvaro et al. (2007), donde los valores de NDVI en los triticales se diferenciaron entre las etapas de primer nudo, embuche y principio de espigamiento. Asimismo, los diferentes valores de biomasa de hojas, NDVI, GA, GGA fueron efecto del número de riegos, la cantidad de fertilizante nitrogenado y la etapa fenológica, como documenta Casadesús et al. (2007). Por su parte la relación entre NDVI con biomasa seca de hojas en este estudio es similar con lo reportado por los autores Cabrera et al. (2011) y Marti et al. (2007) quienes encontraron mayor relación de biomasa en la etapa cercana a antesis debido también a que el NDVI mide la proporción entre la luz reflejada por la clorofila y la luz reflejada por otras estructuras celulares (Ma et al., 2001, Aparicio et al., 2002.). Sin embargo, la baja relación de NDVI, GA y GGA con biomasa seca de hojas en este estudio se debió por la diferenciación de las variedades en cuanto a su tipo de crecimiento ya que presentaron diferencias entre los diferentes regimenes de riego y cantidad de fertilizante nitrogenado (Cabrera et al., 2011). Así también se encontró mayor explicación de NDVI, GA y GGA con biomasa seca a ecuaciones de regresión lineal simple similar a lo que reporta Cabrera et al. (2011) y diferentes a lo que reportan otros autores como son relaciones exponenciales (Aparicio et al., 2000; Alvaro et al., 2007). El greenseeker que determina el NDVI y las cámaras convencionales el índice fotográfico GGA pueden ser una herramienta practica y más económica para evaluar líneas o variedades de triticale forrajero en diferentes condiciones de riego y fertilización nitrogenada en las etapas

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de los componentes de biomasa seca, NDVI e índices fotográficos evaluados en el ciclo O-I 2015/16, Valle de Mexicali, Baja California, México.

Fase fenológica		5 Riegos 120-80-00		5 Riegos 60-80-00		4 Riegos 120-80-00		4 Riegos 60-80-00	
		BHOJ	NDVI	BHOJ	NDVI	BHOJ	NDVI	BHOJ	NDVI
Antes de antesis	NDVI	0.197		0.159		0.253		-0.115	
	GA	0.220	0.649	0.273	0.600	0.293	0.607	0.000	0.649
	GGA	0.216	0.682	0.180	0.601	0.327	0.606	-0.018	0.669
Después de antesis	NDVI	-0.010		0.075		0.213		0.001	
	GA	0.124	0.863	0.123	0.907	0.260	0.885	0.057	0.864
	GGA	0.126	0.821	0.087	0.875	0.262	0.846	0.045	0.797

BHOJ=biomasa seca de hojas; NDVI=índice de vegetación de diferencia normalizado; GA=área verde; GGA=área más verde.

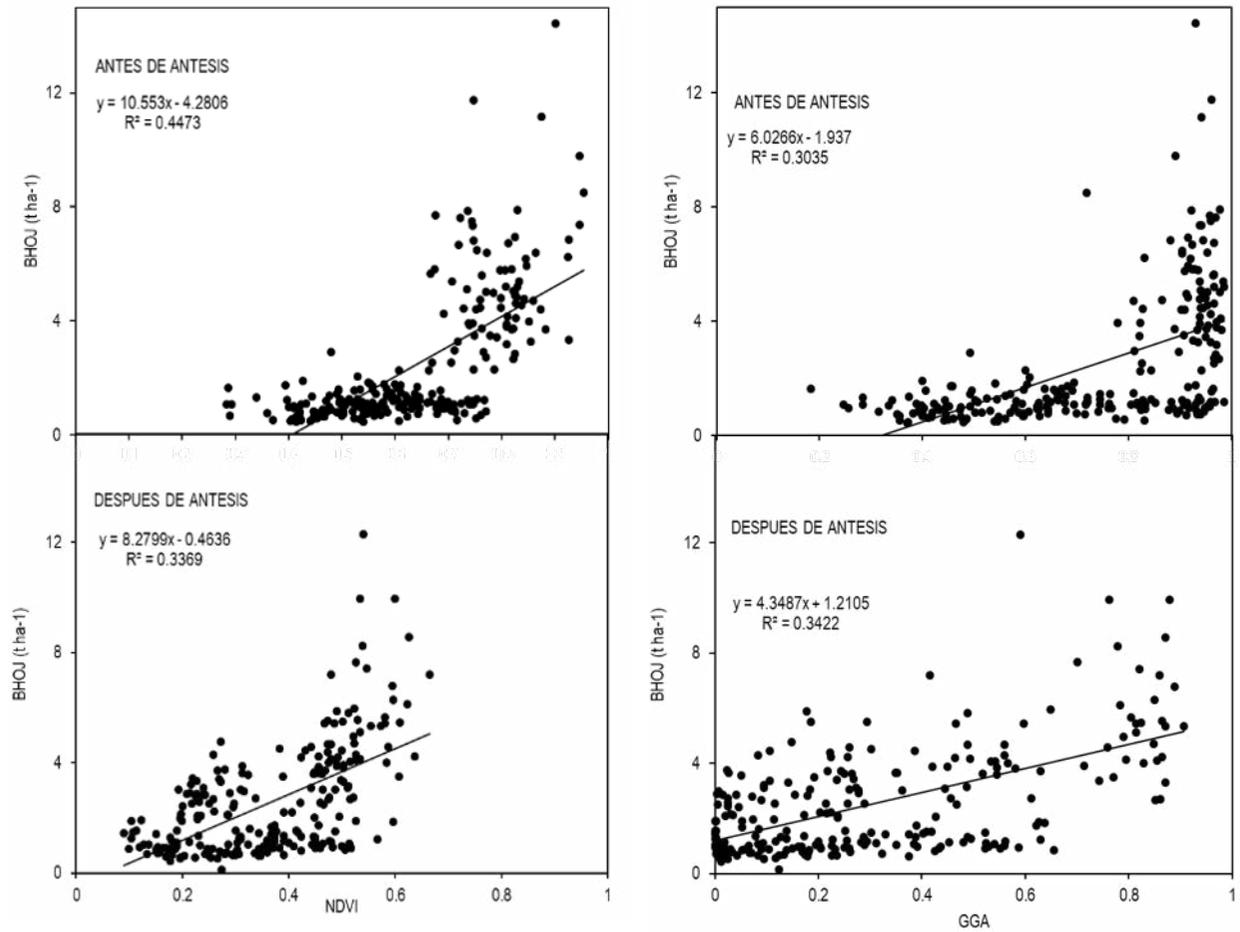
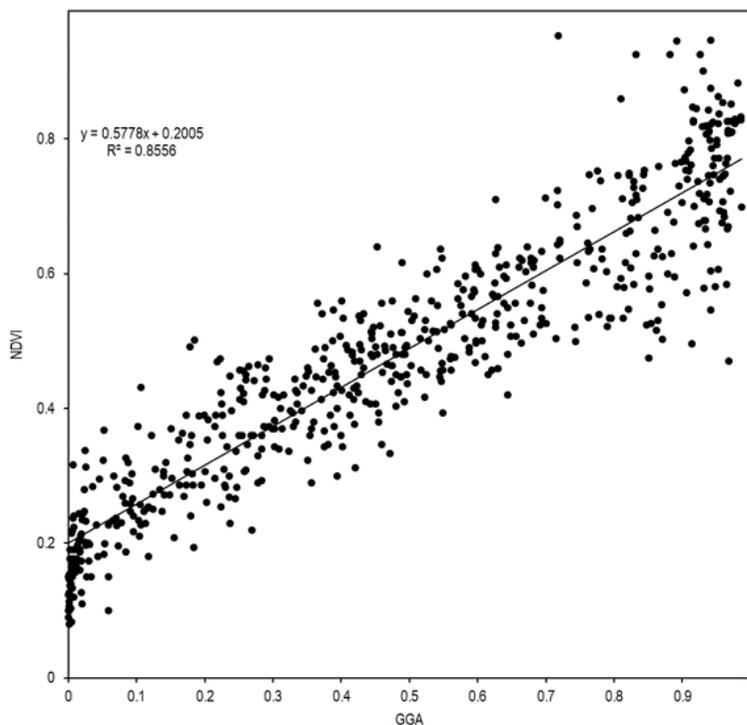


Figura 1. A: Relación entre el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI) y biomasa seca de hojas (BHOJ) antes y después de anthesis del total de experimentos evaluados en los ciclos O-I 2014/15 y O-I 2015/16. B: Relación entre el índice fotográfico (GGA) y biomasa seca de hojas (BHOJ) antes y después de anthesis del total de experimentos evaluados en los ciclos O-I 2014/15 y O-I 2015/16 en el valle de Mexicali, Baja California, México.



fenológicas antes de anthesis (Royo *et al.*, 2004; Cabrera *et al.*, 2011; Casadesús *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

Los valores de los índices de vegetación GA, GGA y NDVI varían por la etapa de muestreo y condiciones de manejo del cultivo. Se obtuvo una relación directa entre los valores de los índices de vegetación con la acumulación de biomasa seca durante el desarrollo del cultivo. Es posible

Figura 2. Relación del índice área verde (GGA) y el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI) antes y después de anthesis del total de experimentos evaluados en los ciclos O-I 2014/15 y O-I 2015/16 en el valle de Mexicali, Baja California, México.

emplear indistintamente los índices GGA y NDVI, para determinar biomasa seca de manera indirecta mediante cámaras digitales o GreenSeeker Handheld®, dada la relación lineal positiva entre ambos.

LITERATURA CITADA

- Álvaro, F., García-del-Moral, L. F., & Royo, C. (2007) Usefulness of remote sensing for the assessment of growth traits in individual cereal plants grown in the field. *International Journal Remote Sensing* 28:2497–2512.
- Aparicio, N., Villegas, D., Araus, J. L., Casadesus, J., & Royo, C. (2002) Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop Science* 42: 1547–1555.
- Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J. L., & Royo, C. (2000) Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal* 92: 83–91.
- Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A. M., Bort, J., Nogues, S., & Araus, J. L. (2011) NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Res. Commun.* 39:147–159. doi:10.1556/CRC.39.2011.1.15
- Casadesús, J., Kaya, Y., Bort, J., Nachit, M., Araus, J., Amor, S., et al. (2007) Using vegetation indices derived from conventional digital cameras as selection criteria for wheat breeding in water-limited environments. *Annals of Applied Biology* 150:227–236. Doi:10.1111/j.1744-7348.2007.00116.x
- Casadesús, J., & Villegas, D. (2014) Conventional digital cameras as a tool for assessing leaf area index and biomass for cereal breeding. *Journal Integrative of Integrative Plant Biology* 56:7–14. Doi: 10.1111/jipb.12117
- García, E. (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM, México. 217p.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodríguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83: 195–213.
- Lati, R. N., Filin, S., & Eizenberg, H. (2011) Robust methods for measurement of leaf-cover area and biomass from image data. *Weed Science* 59: 276–284.
- Li, X. B., Chen, Y. H., Yang, H., & Zhang, Y. X. (2005) Improvement, comparison, and application of field measurement methods for grassland vegetation fractional coverage. *Journal of Integrative Plant Biology* 47: 1074–1083.
- Lozano-del Río, A.J., Zamora, V.V.M., Ibarra, J.L., Rodríguez, H.S.A., De-la cruz, L.E., & De-la Rosa, I.M. (2009) Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (× *Triticosecale* Wittmack). *Universidad y Ciencia* 25:81-92.
- Ma, B., Dwyer, L., Costa, E., & Cober, M. (2001). Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. *Agronomy Journal* 93:1227-1234. Doi: 10.2134/agronj2001.1227.
- Martí, J., Bort, J., Slafer, G. A., & Araus, J. L. (2007) Can wheat yield be assessed by early measurements of Normalized Difference Vegetation Index? *Annals of Applied Biology* 150:253–257. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2007.00126.x
- Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., & Villegas, D. (2004) Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *European Journal Of Agronomy* 20:419–430. Doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00058-3.
- Royo, C., Aparicio, N., Villegas, D., Casadesús, J., Monneveux, P., & Araus, J. L. (2003) Usefulness of spectral reflectance indices as durum wheat yield predictors under contrasting Mediterranean conditions. *International Journal of Remote Sensing* 24: 4403–4419.
- SAS-Institute, Inc. (2002) Version 9.0 of system SAS for Windows, copyright. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Slafer, G.A., Araus, J.L., Royo C., & García, L.F. (2005) Promising ecophysiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Annals of Applied Biology* 146: 61–70.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., & Konzak, C.F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.



Preparation and characterization of bioplastic from breadfruit (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg) starch

Preparación y caracterización de bioplástico a partir de almidón del fruto de pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg)

Madrigal-Hernández Fátima del Rosario¹; Montañez-Gómez Consuelo¹; De la cruz-Burelo Patricia^{2*}; Bolio-López Gloria Ivette²; Hernández-Villegas Manuel Mateo²; Valerio-Cárdenas Cintya²; Velázquez-Carmona, Miguel Ángel²

¹Estudiantes de la Licenciatura en Química Farmacéutico Biólogo, Universidad Popular de la Chontalpa. División Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías. CA-QVyDS. Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500. ²Profesores de tiempo completo, Universidad Popular de la Chontalpa. División Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías. CA-QVyDS. Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0 Cárdenas, Tabasco, México. CP. 86500.

*Autor para correspondencia: patricia.delacruz@upch.mx

ABSTRACT

Objective: Obtain and characterize a biodegradable material, using as raw material the breadfruit (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg) starch.

Design/methodology/approach: The breadfruit starch was extracted using wet method. The dried starch was mixed with glycerol, water and HCl 1N approx. at 75 °C until obtaining the bioplastic, which was characterized by FT-IR and SEM-EDX spectroscopy.

Results: The highest starch content is obtained in the intermediate stage of fruit development (mature-green) with a 10% yield. Infrared and SEM-EDX tests were performed on both the starch and the bioplastic obtained. The SEM-EDX showed that for the starch the average granule diameter is between 2.5 ± 0.2 to $8.4 \pm 0.2 \mu\text{m}$ with a spherical geometry, with cuts in random directions.

Limitations on study/implications: There are no significant technological limitations, but there are implications that impact the accelerated development of the bioplastics trade.

Findings/conclusions: Breadfruit starch was isolated and characterized with Infrared and SEM-EDX techniques. A bioplastic material was obtained from starch, using glycerol and water as plasticizer, finding that the ratio (1:10, starch: water) generates a material with the best thermoplastic characteristics.

Keywords: breadfruit, starch, bioplastic, structural characterization

RESUMEN

Objetivo: Obtener y caracterizar un material biodegradable, utilizando como materia prima el almidón del fruto del pan de sopa (*Artocarpus altilis* (s. Park) Fosberg).

Diseño/metodología/aproximación: Se extrajo el almidón del fruto del pan de sopa por el método húmedo. El almidón seco, se mezcló con glicerol, agua y HCl 1N aproximadamente a 75 °C hasta obtener un bioplástico, el cual se caracterizó por espectroscopia de FT-IR y SEM-EDX.

Resultados: El mayor contenido de almidón se obtiene en la etapa intermedia de desarrollo del fruto (verde-maduro) con un 10% de rendimiento. Se realizaron pruebas de infrarrojo y SEM-EDX, tanto del almidón como del bioplástico obtenido. El SEM-EDX mostró que para el almidón el diámetro de granulo promedio es entre 2.5 ± 0.2 a 8.4 ± 0.2 μm con una geometría de tipo esférica, con cortes en direcciones aleatorias.

Limitaciones del estudio/implicaciones: No se observan limitaciones tecnológicas importantes, pero si implicaciones que impactan en el desarrollo acelerado del comercio de bioplásticos.

Hallazgos/conclusiones: Se aisló almidón del fruto pan de sopa y se caracterizó con técnicas de Infrarrojo y SEM-EDX. Se obtuvo un material bioplástico a partir del almidón, empleando como plastificante glicerol y agua, encontrándose que la proporción (1:10, almidón:agua) genera un material con las mejores características de termoplástico.

Palabras clave: Pan de sopa, almidón, bioplástico, caracterización estructural.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos tradicionales son materiales sintéticos derivados de compuestos petroquímicos que presentan gran diversidad de aplicaciones en alimentos, farmacéuticos, cosméticos, etc., debido entre otras cosas a su bajo costo y durabilidad; no obstante, esta propiedad ha conllevado a que perduren en la naturaleza por grandes periodos de tiempo, generando acumulación de residuos sólidos (Rodríguez-Sanoja *et al.*, 2014). Lo anterior, ha generado la búsqueda constante de sustitutos de insumos amigables con el medio ambiente, y en este concepto se encuentran los plásticos biodegradables o bioplásticos, que son materiales provenientes de recursos renovables, tales como la biomasa, microorganismos o compuestos químicos obtenidos de recursos naturales. Dentro del grupo de los derivados de biomasa se encuentra el almidón termoplástico, un material que se obtiene por la disrupción (modificación) estructural dentro del granulo de almidón cuando es procesado con bajo contenido de agua y acción de fuerzas térmicas y mecánicas en presencia de un plastificante que no se evapora fácilmente durante el procesamiento. Lo anterior registra grandes atributos, es biodegradable, renovable y flexible. Sin embargo, generalmente presenta poca estabilidad en condiciones de alta humedad (Iannace y Zullo, 2009). Es por ello que, durante los últimos treinta años, diversos trabajos se han enfocado en la modificación del almidón para obtener un buen material termoplástico, dentro de las estrategias se han probado una variedad de plastificantes como azúcar, polialcoholes, aminoácidos, lípidos sorbatos y fosfatos, con la finalidad de aumentar su flexibilidad. Así como, probar almidones de diversas fuentes, como maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), papa (*Solanum tuberosum* L.) entre otras especies vegetales, relacionándose con el tipo de extracción, tipo de almidón y su organización molecular (Villada *et al.*, 2008).

El pan de sopa (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg) (Moraceae), es un fruto sin semillas, rico en carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales, originario

de Malasia (Ragone, 2018). Su principal componente es el almidón, alcanzando en algunas regiones rendimientos de 63.68 al 82.57%, que lo convierte en una fuente potencial no convencional de almidón comercial (Daley *et al.*, 2019). Existe una variedad de literatura enfocada a las propiedades funcionales, físicas y químicas de almidón nativo o modificado de pan de sopa para ser usados en diversos productos alimenticios, industriales o farmacéuticos (Adebowale *et al.*, 2005). En este sentido, el presente trabajo muestra que, a partir de almidón de la fruta del pan de sopa, mezclado con agua y glicerol se obtiene un termoplástico biodegradable, el cual fue caracterizado por espectroscopia de infrarrojo y la superficie fue observada a través de microscopía electrónica de barrido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Frutos de Pan de sopa (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg) en tres diferentes estadios de maduración (verde, verde-maduro, maduro) fueron recolectados en La isla, en Cunduacán, Tabasco, México. Los reactivos usados fueron el ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, glicerol, agua destilada, y fueron utilizados tal como se recibieron, sin ninguna purificación adicional.

Obtención de almidón

Los frutos del pan de sopa se procesaron en el laboratorio de Química Verde de la Universidad Popular de la Chontalpa (Tabasco, México). Se lavaron, pesaron y se les retiró toda la corteza. 1 Kg de pulpa se cortó en trozos, se colocó en un procesador de alimentos de la marca Hamilton Beach modelo TYPE FC10 y se licuó, el producto se filtró y se lavó tres veces hasta que el agua dejó de presentar coloración

blanquecina; el líquido resultante se dejó reposar por un periodo de 3 h, se eliminó el sobrenadante y se agregó agua destilada dejando precipitar nuevamente, esta operación se realizó tres veces hasta que el sobrenadante quedo completamente incoloro. Finalmente se depositó el sedimento en cajas Petri que se colocaron dentro de un horno de secado a temperatura constante de 90 °C durante 2 h, y pasado ese tiempo se determinó el peso del almidón.

Preparación del bioplástico

Se colocó el almidón en un vaso de precipitado de 50 mL, se agregó agua destilada y se agitó a baño maría, alcanzando los 45 °C se agregó a la mezcla 3 mL de una solución de HCl 1N, posteriormente a los 55 °C se le adicionó el glicerol, se controló la temperatura durante 15 min, para que no sobrepasara los 80 °C (agitando continuamente). Una vez transcurrido el tiempo estimado, se retiró el vaso de precipitado del baño maría, y se adicionó NaOH al 0.1 M hasta neutralizar a pH de 7.0. El producto obtenido se depositó en una caja de vidrio que se colocó en el horno de secado durante 90 min a 60 °C. A continuación, se disminuyó la temperatura a 35 °C por un periodo de 24 h; por último, se retiró la película de la caja y depositó en bolsas herméticamente cerradas para su posterior caracterización. Las proporciones de la primera variable que fue modificada (el agua), en una proporción de 1:2 hasta 1:10 (almidón-agua) (Cuadro 1).

Caracterización del almidón y del bioplástico

Los estudios por espectroscopia infrarroja se realizaron utilizando un espectrómetro de infrarrojo con transformada de Fourier marca SHIMADZU modelo IRAffinity-1, utilizando pastilla de KBr para el análisis de las muestras de almidón y del bioplástico. Un segundo análisis de la muestra de bioplástico se llevó a cabo con el accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) marca SMITHS mode-

lo DURASAMPL IR II con ventana de diamante de un paso. Las muestras se colocaron directamente sobre la superficie de la ventana de diamante del ATR. Los espectros fueron obtenidos en ambos casos en modo transmitancia en una resolución de 40 scans, en el rango 340-4700 cm^{-1} . Con manipulaciones de cortado de 550-4250 cm^{-1} , suavizado: 20 y manipulación de línea base (LB).

La morfología y microestructura del almidón y del bioplástico se realizaron con un microscopio electrónico de barrido marca JEOL/OE 1.03A Modelo JSM- 6010 con un voltaje de 5-20 kv a 100x, 500x, 1000x y 2000x.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del almidón de pan de sopa

Se observó que en este caso la mayor cantidad de almidón se obtiene en la etapa intermedia de crecimiento de la fruta (verde-maduro), con un promedio de 10% de rendimiento (Cuadro 3). Algunos trabajos reportan un contenido de almidón para este fruto de 18.3 % (Rincón y Padilla, 2004).

Cuadro 1. Escala de proporciones almidón-agua.

Proporción	Almidón (g)	Agua (mL)
1:2	1	2
1:4	1	4
1:6	1	6
1:8	1	8
1:10	1	10

Cuadro 2. Escala de proporción almidón-glicerol.

Proporción	Almidón (g)	Glicerol (mL)
1:1	1	0.5
1:2	1	1.0
1:3	1	1.5
1:4	1	2
1:5	1	2.5
1:6	1	3
1:7	1	3.5
1:8	1	4

Cuadro 3. Contenido de almidón.

Estadio de la fruta	Almidón (% en masa)
Verde	0
Verde-maduro	10%
Maduro	5%

La Figura 1 muestra el espectro de IR correspondiente al almidón nativo del pan de sopa. Los resultados mostraron una banda intensa en la región 3300 a 3600 cm^{-1} que es propia de las vibraciones de estiramiento del enlace O-H, asociados con el enlace libre, inter e intramolecular del grupo hidroxilo, característica particular de la estructura de los almidones (Fang et al., 2002). Las bandas que se perciben a 2936 y 2887 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de tensión C-H asociados con el anillo de la glucopiranososa y la banda en 1460 cm^{-1} a la vibración de flexión de los grupos CH_2 (Zamudio-Flores et al., 2010). El agua absorbida por el almidón se observa en el espectro como una banda de flexión del OH a 1649 cm^{-1} , lo cual indica que el almidón es higroscópico. (Ruiz, 2006). Las bandas características del almidón se distinguen a 1155,

1082 y 1032 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de los enlaces C-O-C de la glucopiranos y las bandas en 925, 860 y 577 cm^{-1} atribuidos al anillo de la piranos (Zamudio-Flores *et al.*, 2010). La banda fuerte observada en 1032 cm^{-1} se asocia al estiramiento del enlace C-O-H (Fang *et al.*, 2002).

En la Figura 2, se muestra la micrografía donde se observa la morfología correspondiente al almidón de pan de sopa utilizado en el proceso de plastificación, observando para el granulo del almidón una geometría de tipo esférica, en ocasiones truncadas como si hubiese recibido cortes en direcciones aleatorias en alguno de sus extremos. Resultados similares se han reportado para granos de almidón de yuca. (Mina *et al.*, 2009). Así mismo, se percibe el diámetro promedio entre 2.5 ± 0.2 a $8.4 \pm 0.2 \mu\text{m}$ de los gránulos del almidón, semejantes a los reportados por Nwokocha *et al.* (2011) (2.25 a 8.45 μm) para esta fruta.

El análisis elemental SEM-EDX de la Figura 3, muestra que el almidón extraído del pan de sopa contiene 53.38% de carbono (C) y 46.62% de oxígeno (O) principalmente.

Caracterización del bioplástico

Para la elaboración del bioplástico se utilizaron cantidades específicas de agua, (considerado uno de los mejores plastificantes), almidón y glicerol, y para determinar las condiciones óptimas para la obtención del bioplástico se modificaron estas variables (Cuadro 1). Se observó

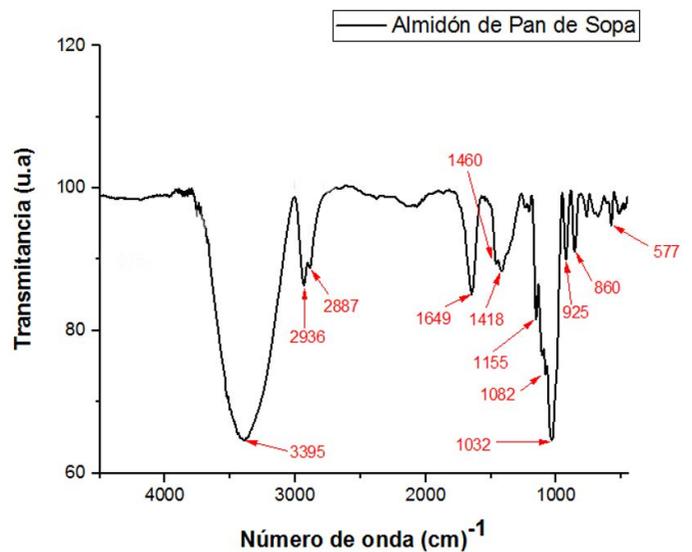


Figura 1. Interferograma FTIR de almidón de pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg).

que en las proporciones de 1:2 hasta 1:6 presentaban un aspecto viscoso, siendo las proporciones 1:8 y 1:10 las que exhibieron mejores condiciones, en cuanto a propiedades de elasticidad y flexibilidad características de los bioplásticos. La segunda variable que se modificó fue el glicerol (Cuadro 2), en una proporción de 1:0.5 hasta 1: 3.5 (almidón-glicerol), tomando como referencia la proporción 1:10 de almidón:agua. De las proporciones realizadas se seleccionaron las muestras 1:3 y 1:4, siendo estas las que presentaron mejores condiciones en cuanto a apariencia de material plástico (Cuadro 2).

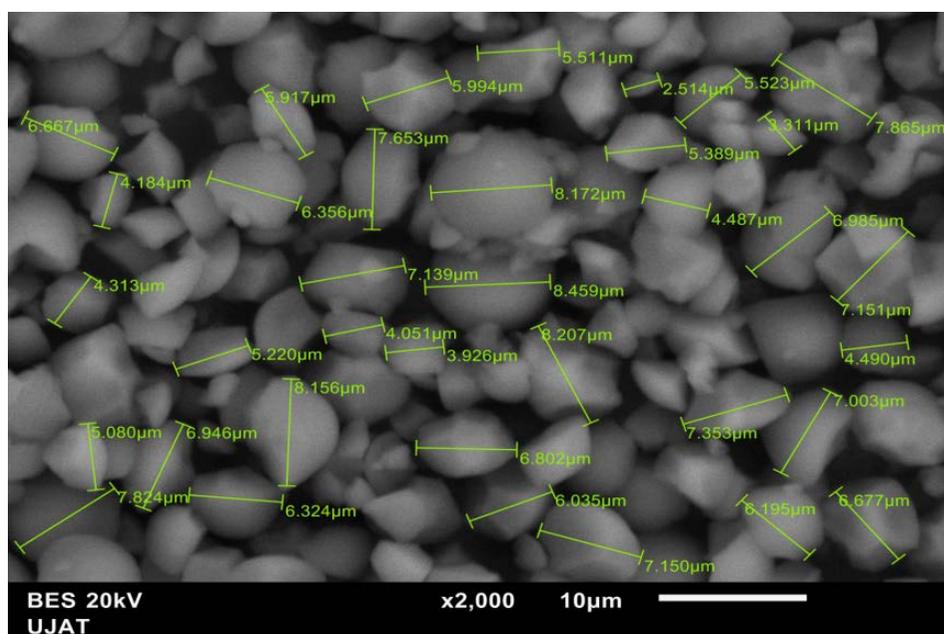
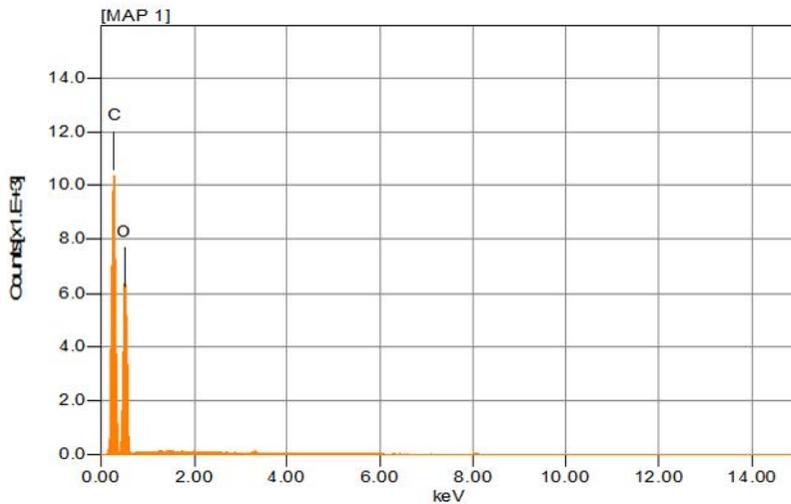


Figura 2. Micrografía (SEM) que muestra el diámetro de los granos de almidón extraído de pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg).

La Figura 4 presenta el espectro de IR correspondiente al bioplástico (almidón termoplástico) del pan de sopa. Los resultados muestran picos a frecuencias características de los grupos funcionales presentes en este tipo de polímeros. La banda ancha alrededor de 3381 cm^{-1} es debida a las vibraciones del enlace libre del grupo hidroxilo, así como a sus interacciones inter, e intramoleculares (Nguyen Vu y Lumdubwong, 2016). El pico a 2931 cm^{-1} es originado por las vibraciones de tensión C-H. Se observa una banda de flexión del OH del agua a 1647 cm^{-1} , lo cual indica que el polímero es higroscópico. En la región de la huella



ELEMENTO	% masa	% mol
C	53.38	60.40
O	46.62	39.60
TOTAL	100.00	100.00

Figura 3. Elementos presentes (SEM-EDX) en la muestra de almidón extraído del pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg).

dactilar se distinguen las bandas características del bioplástico a 1155, 1082, 1020 y 929 cm^{-1} , correspondientes a las vibraciones de los enlaces C-O-C de la glucopiranososa (Ghosh Dastidar y Netravali, 2012). Por otro lado, la caracterización de FT-IR es una importante herramienta para el análisis cualitativo de las interacciones entre las moléculas de almidón y los plastificantes utilizados. Por ejemplo, se observó un desplazamiento del pico a 3395 cm^{-1} en el almidón a 3381 cm^{-1} en el termoplástico sugiriendo un incremento en los puentes de hidrógeno intermoleculares comparado con la materia prima. Resultados similares fueron reportados por Mina et al. (2009) quienes estudiaron el almidón de yuca para termoplásticos y proponen que este fenómeno se debe a que inicialmente las cadenas poliméricas de almidón nativo se encuentran en arreglos cristalinos que restringen los movimientos y con la incorporación del glicerol, que actúa como plastificante, se modifican las interac-

ciones iniciales de los grupos hidroxilos en el interior del material y se establecen nuevos enlaces de puente de hidrogeno con menos impedimentos estéricos, por lo que la mayor facilidad de rotación contribuye a que las vibraciones de los grupos hidroxilos se den a frecuencias menores, hecho que sustentan los picos registrados entre 1020 y 1155 cm^{-1} asociados con las interacciones entre las moléculas de almidón y el glicerol, advirtiéndose que la banda a 1032 cm^{-1} en el almidón nativo se reduce a 1020 cm^{-1} en el bioplástico proponiendo que ocurren fuertes interacciones en este sistema (Zullo y Iannace, 2009).

La Figura 5 muestra la micrografía de la superficie del bioplástico advirtiéndose aglomeraciones de granos de almidón. Resultados similares se han reportado en materiales termoplásticos que presentan un grado de degradación (Mina et al., 2009).

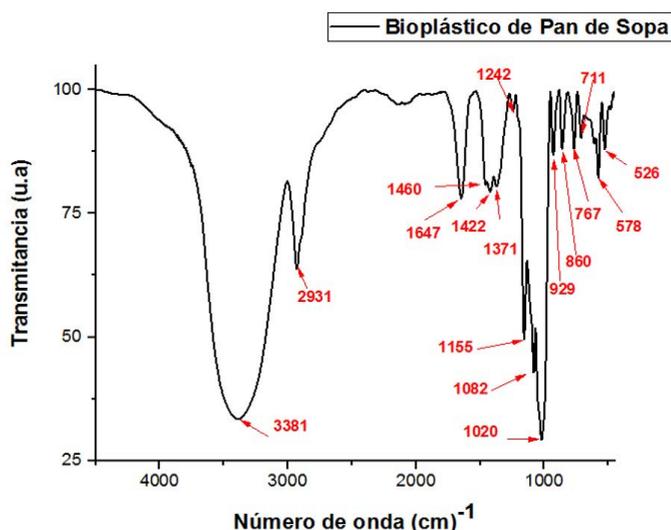


Figura 4. Interferograma FT-IR del bioplástico de pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg).

En la Figura 6 se observa el contenido de carbono y oxígeno como los principales elementos en la muestra del bioplástico, y en menor proporción se observa como residuos al sodio (Na), potasio (K), silicio (Si), cloro (Cl), calcio (Ca) y fósforo (P), posiblemente provenientes del agua utilizada y los reactivos empleados durante el proceso.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un material bioplástico a partir de almidón de pan de sopa, empleando como plastificante glicerol y agua, comprobando la importancia del contenido de agua durante el proceso, dado que a mayor proporción (1:10, almidón: agua) se obtiene un material con las mejores características; no obstante, se realizaron pruebas modificando otras variables, como glicerol, que permitieron

obtener materiales termoplásticos con mejores propiedades. Se aisló el almidón de pan de sopa (*Artocarpus altilis*) y se caracterizó a través de técnicas de espectroscopia infrarroja y microscopia electrónica de barrido SEM-EDX, distinguiendo que muestra características como tamaño de grano y forma, muy similares a las reportadas para esta especie en otras zonas tropicales como indonesia y polinesia.

LITERATURA CITADA

Adebowale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Olawumi,

E. K., Lawal, O. S. (2005). Funcional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus altilis*) starch. *Industrial Crops and Products*. 21: 343-351.

Daley, O. O., Roberts-Nkrumah, L. B., Alleyne, A. T., Francis-Granderson, I., Broomes, J., Badrie, N. (2019). Assessment of breadfruit (*Artocarpus altilis*, (parkinson) fosberg) cultivars for resistant starch, dietary fibre and energy density. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*. 19: 15060-15076. 10.18697/ajfand.87.18090.

Fang, J. M., Fowler, P. A., Tomkinson, J., Hill, C. A. S. (2002). The preparation and characterization of a series of chemically modified potato starches. *Carbohydrate Polymers*. 47: 245-252.

Ghosh Dastidar, T., Netravali, A. N. (2012). "Green" crosslinking of native starches with malonic acid and their properties. *Carbohydrate Polymers*. 90(4): 1620-1628. doi:10.1016/j.carbpol.2012.07.041.

Hernández Medina, M., Torruco-ucó, J. G., Chel Guerrero, L., y Betancur Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y tecnología de alimentos*. 3(28). 718-726.

Iannace, S., Zullo, R. (2009). The effects different starch source and plasticizers on film blowing of the thermoplastic starch: Correlation among process, elongational properties and macromolecular structure. *Carbohydrate Polymers*. 77: 376-383.

Mina, J. H., Valadez, A., Herrera-Franco, J., Toledano, T. (2009). Influencia del tiempo de almacenamiento en las propiedades estructurales de un almidón termoplástico de yuca (TPS). *Ingeniería y competitividad*. 11(2): 95-106.

Nwokocha, L. M., & Williams, P. A. (2011). Comparative study of physicochemical properties of breadfruit (*Artocarpus altilis*) and white yam starches. *Carbohydrate Polymers*. 85(2): 294-302. doi:10.1016/j.carbpol.2011.01.050.

NguyenVu, H. P., Lumdubwong, N. (2016).

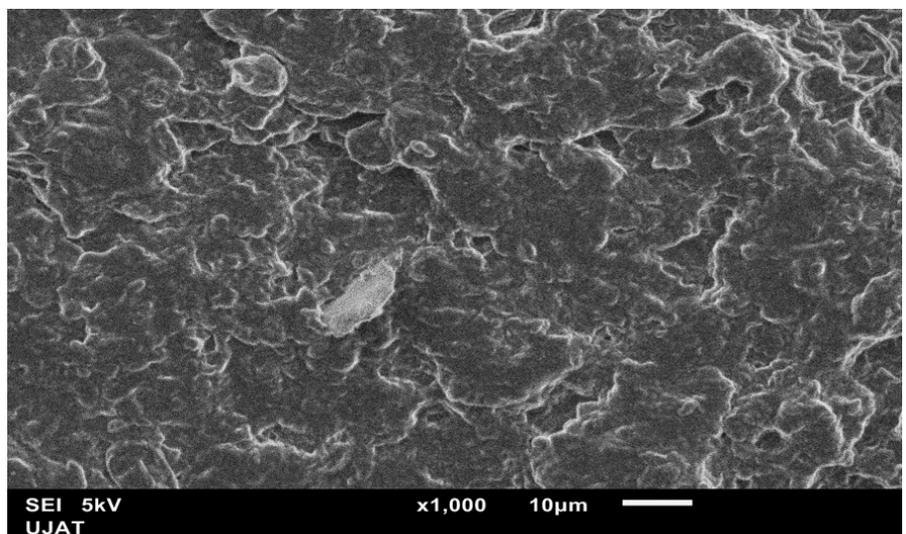


Figura 5. Micrografía del bioplástico obtenido de almidón de pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg).

Starch behavior and mechanical properties of starch blend films with different plasticizers. *Carbohydrate polymers*. 154: 112-120.

Ragone, D. (2018). Breadfruit-*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg. 10.1016/B978-0-12-803138-4.00009-5.

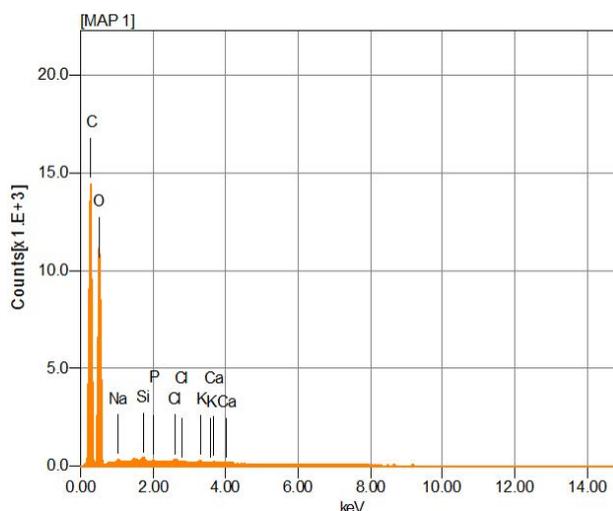
Rincon, M., Padilla, F. (2004). Physicochemical properties of Venezuelan breadfruit (*Artocarpus altilis*) starch. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 54: 449-456.

Rodríguez-Sanoja, R., Flores, N. C., Pacheco, N. (2014). Bioplásticos. *BioTecnología*. 18(2): 27-36.

Ruiz A. G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencias*, 2(4): 5-28.

Villada, H. S., Acosta, A. H., Velasco, J. R. (2008). Investigación de almidones termoplásticos, precursores de productos biodegradables. *Información Tecnológica*. 19(2): 3-14.

Zamudio-Flores, P. B., Vargas-Torres, A., Gutiérrez-Meraz, F., Bello-Pérez, L. A. (2010). Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia*. 44: 283-295.



Elemento	% masa	% mol
C	50.63	57.96
O	48.4	41.6
Na	0.27	0.16
K	0.2	0.11
Si	0.17	0.08
Cl	0.16	0.08
Ca	0.11	0.12
P	0.06	0.08

Figura 6. Elementos presentes (SEM-EDX) en la muestra de bioplástico a partir de almidón de pan de sopa (*Artocarpus altilis* (S. Park) Fosberg).

Pulp oil quality of *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart: Alternative for biodiesel production in Mexico

Calidad de aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart: alternativa para la producción de biodiesel en México

Martínez-Valencia Biaani B.^{1*}, Díaz-Fuentes Víctor H.¹, Ruíz-Cruz Pablo A.¹

¹Campo Experimental Rosario Izapa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Kilómetro 18. Carretera Tapachula-Cacahoatán. Tuxtla Chico, Chiapas. C. P. 30870.

*Autor para correspondencia: martinez.biaani@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Objective: Physicochemically characterize coyol (*Acrocomia aculeata*) pulp oil as a raw material to produce biodiesel.

Design/Methodology: The fruits were collected in eight locations between the regions of Chiapas and Oaxaca, Mexico. These were peeled and separated in peel, pulp and almond, placed in bags and stored at 4 °C. For the physicochemical characterization, standardized methods recommended by national and international standards were used. The experiments were performed in triplicate, an analysis of variance and multiple comparison of means was carried out with the Scott-Knott test ($p \leq 0.05$) using the R program.

Results: The moisture content and oil content of eight *A. aculeata* collections were determined. In addition to physicochemical characterization of coyol pulp oil, obtaining high values in fatty acids, which represents a parameter that can affect the yield for obtaining biodiesel.

Limitations/Implications: Coyol fruits should be stored immediately to avoid the formation of free fatty acids.

Conclusions: The physicochemical analyzes of pulp oil indicate that they are comparable to good quality vegetable oils such as soy (*Glycine max*), moringa (*Moringa oleifera*), rapeseed (*Brassica napus*), given the predominance of monounsaturated fatty acids, particularly oleic acid. The pulp of *A. aculeata* of the analyzed collections, are an excellent source of lipids and high oil content and have good physicochemical characteristics, which represents its viability as a raw material for the production of biodiesel.

Keywords: quality, biofuels, bioenergetic inputs.

RESUMEN

Objetivo: Caracterizar fisicoquímicamente aceite de pulpa de coyol (*Acrocomia aculeata*) como materia prima potencial para la producción de biodiesel.

Diseño/ Metodología: Los frutos fueron colectados en ocho localidades entre las regiones de Chiapas y Oaxaca. Estos fueron procesados y separados en cascara, pulpa y almendra, colocados en bolsas y almacenados a 4 °C. Para la caracterización fisicoquímica se utilizaron los métodos estandarizados y recomendados por las normas nacionales e internacionales. Los experimentos fueron realizados por triplicado, se realizó un análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Scott-Knott ($p \leq 0.05$) utilizando el programa R.

Resultados: Se determinó el contenido de humedad y contenido de aceite de ocho colectas de *Acrocomia aculeata*, además, de caracterizar fisicoquímicamente el aceite de pulpa de las mismas, obteniendo



Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 1, enero. 2020. pp: 43-49.

Recibido: junio, 2019. **Aceptado:** diciembre, 2019.

valores altos en los ácidos grasos, que representa un parámetro que puede afectar el rendimiento para la obtención de biodiesel.

Limitaciones/Implicaciones: Los frutos de coyol recién cosechados deben ser almacenados inmediatamente para evitar la formación de ácidos grasos libres.

Conclusiones: Los análisis fisicoquímicos del aceite de pulpa indican que son comparables a los aceites vegetales de buena calidad como soya (*Glycine max*), moringa (*Moringa oleifera*), colza (*Brassica napus*), dado el predominio de los ácidos grasos monoinsaturados, en particular del ácido oleico. La pulpa de *A. aculeata* de las colectas analizadas, son excelente fuente de lípidos con alto contenido de aceite y poseen buenas características fisicoquímicas, lo que representa su viabilidad como materia prima para la producción de biodiesel.

Palabras claves: calidad, biocombustibles, insumos bioenergéticos.

INTRODUCCIÓN

Existe un gran interés a nivel mundial de utilizar nuevas fuentes de energías limpias para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan a la población. El uso continuo y creciente del petróleo ha intensificado la contaminación del aire y problemas de calentamiento global causados por el CO₂ (Shay, 1993). Debido a esta situación, se ha promovido el uso de los biocombustibles a partir de etanol, biodiesel o biogás, ellos poseen características amigables con el medio ambiente en comparación con los residuos fósiles. Una de las alternativas para producir biodiesel es utilizar aceites vegetales y grasas animales como materia prima. La elección del tipo de aceite o grasa depende de su composición química, del proceso de transesterificación y de los costos que se generan durante el proceso (Bockey, 2006), además del contenido de aceite de la materia prima. Por otro lado, el rendimiento en la obtención del biodiesel durante el proceso de transesterificación se ve afectado por la presencia de los ácidos grasos libres en el aceite, contenido de humedad y otras impurezas (Kamakar *et al.*, 2010).

En la actualidad, se han realizado diversas investigaciones sobre aceites vegetales para la producción del biodiesel

como el aceite de soya (*Glycine max*), aceite de palma (*Elaeis guineensis*), aceite de coco (*Cocos nucifera*), aceite de colza (*Brassica napus*), aceite de *Jatropha curcas*, aceite de higuera (*Ricinus communis*) y aceite residual (Du *et al.*, 2004; Darnoko and Cheryan, 2000; Korus *et al.*, 1993; Solís *et al.*, 2019; Sahar *et al.*, 2018). Las palmeras se consideran las especies de plantas más prometedoras capaces de producir aceites vegetales (del Río *et al.*, 2016). En la actualidad se producen más de 32 millones de toneladas de aceite de palma a nivel mundial seguido por el aceite de soya con más de 31 millones de toneladas (FAOSTAT, 2019). Según los datos publicados por la FAO, en México se producen 400,331.82 toneladas de colza y 367,039.18 toneladas de soya (FAOSTAT, 2019), pero estos aceites no pueden ser utilizadas como materia prima para producir biodiesel debido a que son destinados para la alimentación humana, tal como lo establece la Ley promoción y desarrollo de los bioenergéticos.

En este país, se encuentran especies de plantas que tienen un gran potencial para la producción de aceite, tal es el caso de la *Acrocomia aculeata*. Esta planta, es una palmera oleaginosa altamente productiva, pertenece a la familia Arecaceae nativa de las regiones tropicales de América Latina, con las mayores concentraciones en Brasil en las regiones del sudeste y medio oeste (del Río *et al.*, 2016). En México se distribuye desde el norte de Veracruz hasta la península de Yucatán y desde Sinaloa hasta Chiapas. El fruto de *A. aculeata* tiene un diámetro de 25 a 60 mm, con epicarpio liso y mesocarpio fibroso amarillo o blanco. Juntos, el epicarpio y el mesocarpio representan aproximadamente el 58% de la fruta e involucran a la nuez (endocarpio y almendra), que representa alrededor del 42% de la fruta (Motoike y Kuki, 2009), el aceite se encuentra en la pulpa y almendra del fruto. Con el objetivo de encontrar nuevas alternativas de materias primas oleaginosas, se realizó un estudio sobre el potencial del aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* para la producción de biodiesel, determinando el contenido de aceite, caracterización fisicoquímica y composición de ácidos grasos del aceite de ocho colectas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos fueron recolectados en poblaciones naturales en ocho localidades entre las regiones de Chiapas y Oaxaca (Cuadro 1). Fueron procesados y separados en cascara, pulpa y almendra, colocados en bolsas y almacenados a 4 °C. Los experimentos se realizaron en el Laboratorio de Bioenergía del INIFAP, ubicado en el Campo

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las poblaciones naturales de *A. aculeata*.

Código	Estado	Municipio	Localidad	Localización geográfica	
Acrojicle	Chiapas	Jiquipilas	San Clemente	16° 22´ 37.4" N	93°48´ 21.8" O
Acrovicha	Chiapas	Villaflores	Chanona	16° 19´ 07.5" N	93°24´ 58.1" O
Acroripe	Chiapas	Villaflores	Rancho "Las Peñitas"	16° 23´ 06.0" N	93°15´ 35.7" O
Acroixsa	Chiapas	Tuxtla Chico	Gatica	14° 56´ 19.5" N	92°11´ 04.0" O
Acrohigo	Oaxaca	Unión Hidalgo	Circuito José F. Gómez	16° 27´ 50" N	94°51´ 33" O
Acrotaza	Oaxaca	Tapanatepec	Col. Emiliano Zapata	16° 25´ 55.8" N	94°15´ 20.2" O
Acroguexa	Oaxaca	Guevea de Humboldt	Xadani	16° 47´ 33.5" N	95°22´ 05.0" O
Acroixfra	Oaxaca	San Francisco Ixhuatán	Ixhuatán	16° 19´ 34" N	94° 39´ 12" O

Experimental Rosario Izapa en Tuxtla Chico, Chiapas, México.

Determinación de humedad

Se pesaron 3 g de pulpa en un recipiente a peso constante y se colocaron durante 24 h a 60 °C, en una estufa con secado convectivo marca Yamato. Posteriormente fueron pesados y por diferencia gravimétrica se determinó el contenido de humedad de la pulpa. Los experimentos se realizaron por triplicado y se llevó a cabo el análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Scott-Knott ($p \leq 0.05$), mediante el programa R.

Determinación del contenido de aceite

Para determinar el contenido de aceite se pesaron 3 g de muestra de pulpa seca y colocados en un cartucho para después ser extraídos con hexano por el método Soxhlet, durante 4 horas a 70 °C. Posteriormente con un rota evaporador (Heidolph®) fue eliminado el exceso de hexano. El matraz con la muestra de aceite se colocó en una estufa a 60 °C durante 24 h para eliminar las trazas de hexano que pudieron haber quedado después de la destilación. Por gravimetría se determinó el contenido de aceite de la muestra. Los experimentos fueron realizados por triplicado se llevó a cabo el análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Scott-Knott ($p \leq 0.05$), mediante el programa R (Enio et al., 2014; R Core Team, 2018).

Determinación de las características fisicoquímicas del aceite

Para realizar la caracterización fisicoquímica del aceite, se extrajeron 100 mL de aceite de pulpa seca por el método de Soxhlet utilizando hexano como solvente. Para determinar la densidad y viscosidad cinemática del aceite se utilizó un viscosímetro (Anton Paar®) a una temperatura de 40 °C de acuerdo a la norma ASTM D7042.

Con respecto al índice de saponificación se utilizó el método de la AOCS (Official method Cd 3-25e). Para el índice de acidez y el índice de yodo se determinó bajo la metodología descrita por la AOAC (1990). Y finalmente el índice de peróxido se utilizó la metodología descrita por la AOCS Official method Cd 8-53.

Determinación de ácidos grasos

El aceite de la pulpa fue extraído con éter de petróleo en la proporción 1:20 (peso/volumen) por 8 h a temperatura ambiente con agitación constante. Después de la centrifugación, el solvente fue removido por destilación. Los esteres metílicos se prepararon del total de los lípidos por el método AOAC (1990). Los ácidos grasos metilados se analizaron por Cromatografía de Gases (GC-14A, Shimadzu, Japan) equipado con autosampler (AOC20s, Shimadzu, Japan), con autoinyector (AOC-20i) y un Columna capilar Varian Carbowax CB52(50M, 0.25 mm ID) y un detector de ionización de flama (FID). El programa de temperatura fue de 160 a 225 °C, con helio como gas de arrastre a un flujo de 1 mL por min. Se utilizó una mezcla de ácidos grasos metilados para identificar a los compuestos de las muestras. Los niveles de los ácidos grasos fueron estimados por las áreas de los picos de los esteres metílicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad de la pulpa vario significativamente entre 9.53% y 56.21% (Cuadro 2). La alta variación fue debido al estado de madurez del fruto, los valores altos de humedad se registraron en frutos maduros con coloración amarillo/café, mientras que los valores más bajos de humedad fueron de frutos de color café (Figura 1). Lescano et al. (2015), reporta que las frutas maduras de *A. aculeata* presentan un contenido de humedad de pulpa entre 50 % y 63%. En la Cuadro 2, muestra los contenidos de pulpa seca en el fruto, resaltando que los genotipos Acroixsa y

Acrohigo (colectas) representan los mayores valores para esta variable, pero no fueron los que destacaron en los valores del contenido de aceite. El contenido de aceite encontrado en la pulpa de los ocho genotipos de *A. aculeata*, osciló en un rango de 31.23% a 51.427% (Cuadro 2). Diversos autores han estudiado la pulpa de la *A. aculeata*, y reportan contenido de aceite de pulpa de 23.62% (Lescano *et al.*, 2015), 41.67% (del Rio *et al.*, 2016) y 35.01 % (Martínez *et al.*, 2017). Según los datos mostrados, existe diferencia ($p \leq 0.05$) entre estos valores. Los valores más elevados fueron obtenidos por los genotipos Acrovipe y Acrojicle, que registraron una proporción de 2.87 g y 2.55 g de aceite de pulpa, respectivamente (Cuadro 2). Sin embargo, Acroixsa se puede considerar como el mejor genotipo porque mostró valores de mayor producción de aceite por individuo debido a su rendimiento de fruto (2,232 frutos por árbol), (Díaz *et al.*, 2018), lo que resulta en una producción de aceite por árbol de 4,798.8 g.

El Cuadro 3, presenta las características fisicoquímicas evaluadas referentes a un índice de yodo del aceite con valores de entre 98 g de $I_2/100g$ y 164.97 g de $I_2/100g$, con diferencias significativas entre colectas, lo que indica que este aceite contiene mayor proporción de ácidos grasos insaturados que saturados.

El Índice de saponificación del aceite de los genotipos fue entre 130.83 mgKOH/g a 100.76 mgKOH/g. Trabajo reportado por Coimbra y Jorge (2012) registraron un índice de saponificación de 181 mgKOH/g, resaltando que un



Figura 1. Frutos de genotipos de *Acrocomia aculeata* recolectados en diferentes sitios, a) Acrojicle, b) Acrovicha, c) Acrohigo, d) Acrotaza, e) Acrovipe, f) Acroguexa, g) Acroixfra, h) Acroixsa.

Cuadro 2. Características de fisicoquímicas de la pulpa de coyol (*Acrocomia aculeata*).

Colecta	Peso de fruto (g)	Humedad de la pulpa (%)	Contenido de pulpa seca por fruto (g)	Contenido de aceite de pulpa (%)
Acrojicle	30.77±2.37a*	45.89±3.9c	17.718±2.566b	50.199±2.263 a
Acrovicha	28.87±1.64 a	52.21±0.89b	18.477±0.859b	46.739±2.382b
Acrovipe	29.39±1.65 a	46.54±2.71c	17.03±2.548b	51.427± 0.319a
Acrohigo	25.26±0.10b	9.53±0.345e	25.73±0.396a	31.230±1.026e
Acroguexa	18.20±0.69d	36.27±2.34d	20.92±0.514b	34.783±1.309d
Acroixfra	16.12±1.62d	11.11±3.11e	16.364±3.362b	33.207±0.079e
Acrotaza	27.73±1.89 a	56.68±1.16a	15.051±1.196b	35.268±0.395d
Acroixsa	21.02±0.49c	10.63±1.45e	27.71±1.352a	37.357±0.118c

*Medias con letras distinta por columna son significativamente diferentes (Scott-Knott ≤ 0.05).

Cuadro 3. Características físicoquímicas del aceite de pulpa de coyol *Acrocomia aculeta*.

Colecta	Ácidos grasos libres (%)	Índice de yodo (I ₂ /100g)	Índice de saponificación (mgKOH/g)	Índice de peróxido (meq de O ₂ /kg)	Densidad (g/cm ³)	Viscosidad (mm ² /s) a 40 °C
Acrojicle	11.92±1.631d*	98.26±4.359d	100.76±0.791e	4.29±0.707b	0.899±0.0003a	35.70±0.083e
Acrovicha	18.39±2.303b	147.98±10.50b	120.15±0.424d	2.12±0.098c	0.903±0.0002a	40.75±0.001b
Acrohigo	16.38±0.124c	155.49±4.53a	119.27±0.579d	3.84±0.20b	0.898±0.0002a	34.71±0.006f
Acrotaza	18.62±0.139b	125.45±6.922c	119.87±2.089d	3.68±0.163b	0.902±0.0003a	43.34±0.124a
Acrovipe	19.76±0.231a	142.76±4.487b	127.28±0.433b	Nd**	0.894±0.0003a	31.35±0.012g
Acroguexa	6.74±0.158g	160.14±2.135a	125.45±0.152c	Nd**	0.898±0.0002a	38.10±0.035d
Acroixfra	9.95±0.577e	164.97±8.973a	124.73±0.071c	5.95±0.219a	0.911±0.0002a	39.09±0.026c
Acroixsa	8.73±0.059f	137.99±2.256b	130.83±0.885a	2.39±0.071c	0.921±0.0002a	40.92±0.061b

*Medias con letras distintas por columna son significativamente diferentes (Scott-Knott ≤ 0.05). **No detectado.

alto valor de saponificación indica que los aceites son triglicéridos normales y muy útiles como materia prima en la producción de industrias para jabones y biodiesel (Akbar et al., 2009). En el índice de peróxido fueron encontrados dos genotipos sin presencia de oxidación del aceite (Acrovipe y Acroguexa), y los demás se obtuvieron en un rango entre 2.12 meq de O₂/kg y 5.95 meq de O₂/kg, mostrando un bajo grado de oxidación del aceite.

Con respecto a la densidad del aceite, se obtuvieron valores entre 0.894 g/cm³ y 0.921 g/cm³ a 40 °C, y no se detectaron diferencias significativas entre los genotipos. La norma europea marca que los aceites destinados para biodiesel deben tener una densidad superior a 0.860 g/cm³. Por lo cual los materiales evaluados se encuentran dentro de la norma. En cuanto a la viscosidad el mayor valor fue de 43.34 mm²/s del aceite de pulpa del genotipo Acrotaza, existiendo diferencias significativas entre genotipos. De manera general la viscosidad de los aceites disminuye con el aumento de instauración y con la disminución del peso molecular de sus ácidos grasos. La presencia de ácidos grasos libres en aceite fue alta (Cuadro 3). La calidad general de un aceite vegetal se expresa en términos de su acidez (FFA siglas en inglés, como ácido oleico) e índices oxidativos. Un valor mayor a 10% para este parámetro, genera un alto grado de hidrólisis afectando el rendimiento de obtención de biodiesel. El aumento de la acidez en el aceite de la pulpa de coyol, depende del grado de maduración, recolección y almacenamiento de los frutos (Evaristo et al., 2016; Del Rio et al., 2016), además de cómo se preparan las muestras para los procedimientos analíticos (Trentini et al., 2106; Lescano et al., 2015).

Autores como Favaro et al. (2017) recomiendan que las frutas deben recolectarse del racimo y procesarse lo antes posible para lograr una baja acidificación. Por otro lado, se ha reportado que las frutas mantenidas en el suelo, siete días posteriores a extraer el aceite, presentan acidez del aceite inferior al 1% (Evaristo et al., 2017), mientras que en otro trabajo se registró una acidez del 5.6% en el aceite obtenido de frutas recolectadas directamente del racimo (del Rio et al., 2016). Un estudio menciona presencia de lipasas en pulpa de coyol, indicando que se encontró actividad lipolítica endógena en frutas en el suelo hasta por 30 d, con temperatura entre 40 °C a 70 °C, por lo tanto, una acidificación puede favorecerse por la temperatura de secado del fruto (Favaro et al., 2017). Debido a esto, es necesario realizar un estudio más detallado sobre la influencia de factores como temperatura, grado de madurez, tipo de colecta de fruto (en el suelo o en el racimo), almacenamiento de los frutos y presencia de microorganismos para minimizar la presencia de ácidos grasos libres en el aceite, debido a que alta presencia de ácidos grasos libres provoca bajos rendimientos de obtención de biodiesel. Por otro lado, un aceite con características de ácidos grasos libres superior al 10% es necesario esterificar para disminuir los niveles de acidez del aceite.

Diversos aceites vegetales son potenciales como materia prima para la producción de biodiesel, pero la calidad del combustible es afectada por el tipo de ácido graso presente en el aceite (Akbar et al., 2009). Además de que el grado de saturación y ramificación de los aceites tienen influencia en algunos parámetros sobre la calidad del biodiesel, tales como: número de cetano, punto de fusión, estabilidad oxidativa y viscosidad cinemática. Por

lo tanto, un aceite de calidad para biodiesel debe tener un alto contenido en ácidos grasos insaturados y baja presencia de ácidos grasos saturados, alta presencia de saturación en el aceite, como la grasa animal, almacenada a temperatura ambiente tiende a solidificarse. Los ácidos grasos encontrados en el aceite de pulpa de coyol fueron el ácido oleico en un rango de 63% a 68% y el ácido palmítico en un rango de 32% a 37%, entre otros ácidos en menor proporción. Navarro-Díaz *et al.* (2014) y Lescano *et al.* (2015) reportaron una proporción de 70% de ácido oleico presentes en el aceite de pulpa de coyol. Por lo tanto, el aceite de pulpa de coyol presenta buenas características en su composición y puede ser considerada una buena alternativa para producir biodiesel.

CONCLUSIONES

Los análisis fisicoquímicos del aceite de pulpa indican que son comparables a los aceites vegetales de buena calidad como soya, moringa, colza, dado el predominio de los ácidos grasos monoinsaturados, en particular del ácido oleico. La pulpa de *A. aculeata* de las recolectas analizadas, son una excelente fuente de lípidos y con alto contenido de aceite y poseen buenas características fisicoquímicas, lo que representa su viabilidad como materia prima para la producción de biodiesel.

LITERATURA CITADA

- Akbar, E., Yaakob, Z., Kartom, K.S., Ismail, M., Salimon, J. (2009). Characteristic and Composition of *Jatropha Curcas* Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock Feedstock, 29 (3), 396-403.
- ASTM D7042: Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity).
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 4th ed. Champaign, USA, AOCS, 1990. [AOCS Official method Cd 8-53].
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 4th ed. Champaign, USA. A.O.C.S., 1990. [A.O.C.S. Official method Cd 3-25e].
- ASTM D7042-16e3, Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.
- Bockey, D. (2006). Potentials for raw materials for the production of biodiesel – an analysis. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Berlin. Stand: 09/06, Union Zur Förderung Von Oelund Proteinpflanzen E.V. (UFOP). Report available <https://www.ufop.de/english/news>.
- Coimbra MC, Jorge N. (2012). Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleracea*), jeriva (*Syagrus romanzoffiana*) and macauba (*Acrocomia aculeata*). J Sci Food Agric. 92:679–84.
- Darnoko, D., Cheryan, M. (2000). Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. JAOCS, 77:1263–1267.
- Del Río JC, Evaristo AB, Marques G, Martín-Ramos P, Martín-Gil J, Gutiérrez A. (2016). Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. Ind Crop Prod, 84:294-304.
- Du, W., Xu, Y.Y., Zeng, J., Liu, D.H. (2004). Novozym 435-catalysed transesterification of crude soybean oils for biodiesel production in solvent-free medium. Biotechnology and Applied Biochemistry, 40:187–190.
- Enio G. Jelihovschi, José C. Faria, and Ivan Bezerra Allaman (2014). ScottKnott: A Package for Performing the Scott-Knott Clustering Algorithm in R. Trends in Applied and Computational Mathematics 15(1), 3-17. <http://www.sbmac.org.br/tema/seer/index.php/tema/article/view/646/643>.
- EN 14111, Fat and Oil Derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of Iodine Value - Volumetric Titration; European Committee for Standardization, Brussels, 2003.
- Evaristo AB, Grossi JAS, Pimentel LD, Goulart SM, Martins AD, Santos VL, Motoike S. (2016). Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. Ind Crop Prod., 85:63-73.
- Favaro SP, Tapeti CF, Heraclides C, Miranda B, Ciaconini G, M MA, Roscoe M. (2017). Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil quality is negatively affected by drying fruits at 60 °C. Brazilian Archives of Biology and Technology, 60: 1-9.
- Karmakar, A., Karmakar S., Mukherjee S. (2010). Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. Bioresource Technology, 101(19), 7201–7210. doi:10.1016/j.biortech.2010.04.079.
- Korus, R.A., Hoffman, D.S., Bam, N., 1993. Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil. Proceedings of First Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry, 88, 815–826.
- Lescano, CH, Oliveira IP, Silva, LR, Baldivia DS, Sanjinez-Argandoña EJ, Arruda, EJ, Moraes ICF, Lima F F. (2015). Nutrients content, characterization and oil extraction from *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Fruits. Afr J Food Sci., 9:113-119.
- Lieb VM, Schex R, Esquivel P, Jimenez VM, Schmarr HG, Carle R, Steingass C. (2019). Fatty acids and triacylglycerols in the mesocarp and kernel oils of maturing Costa Rican *Acrocomia aculeata* fruits, 14: 6-13.
- Martinez BB, Solis BJL, Zamarripa CA. (2017). Caracterización del aceite de coyol (*acrocomia mexicana* karw. ex mart.) para la producción de biodiesel en México. XIII Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía.
- Motoike SY, Kuki KN. 2009. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. IRECHE. 1(6), 632-635.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAOSTAT (2019). Base de datos del mundo de estadísticas alimentarias y agrícolas. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QD/visualize>.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de <http://www.R-project.org/>

- Solís, B. J. L., Martínez, V. B. B., López, G. G. and Zamarripa, C. A. (2019). Chapter 2. Genetic Resources and Advances in the Development of New Varieties of *Jatropha curcas* L. in México. In: Sujatha, M.; Carels, N. and Bahadur, B. (Eds.). *Jatropha, challenges for a new energy crop. Volume 3: A Sustainable Multipurpose Crop*. Springer. 525 p.
- Sahar, Sana, S., Javed, I., Inam, U., Haq, N. B., Shazia, N., Habib-ur-Rehman, Jan N., Munawar, I. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, 41: 220 – 226.
- Shay, E.G. (1993). Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities. *Biomass and Bioenergy*, 4 (4), 227–242.
- Trentini, C.P., Oliveira, D.M., Zanette, C.M., Silva, C. (2016). Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. *Cienc Rural*, 46(4):725-31.



Use of artificial drinking fountains by the Central American agouti (*Dasyprocta punctata*) in the Calakmul biosphere reserve in Mexico

Uso de bebederos artificiales por el sereque centroamericano (*Dasyprocta punctata*) en la Reserva de la biosfera Calakmul, México

Borges-Zapata, Jessica Y.¹; Contreras-Moreno, Fernando M.^{2,3*}; Serrano-Mac-Gregor, Isabel²; Sima-Pantí, David E.³; Coutiño-Cal y Mayor, C.³; Zúñiga-Morales, José A.³; Duque-Moreno, Víctor D.⁴; Hernández-Pérez, Edwin L.⁵; López-Chan, J. A.¹

¹Instituto Tecnológico de Chetumal, Av. Insurgentes 330, Col. David Gustavo Gutiérrez; Chetumal, Quintana Roo, México. C. P. 77013. ²Proyecto GEF Especies en Riesgo. CONANP-PNUD, Reserva de la Biósfera de Calakmul, C. Puerto Rico S/N, Col. Fundadores, Campeche, México. C. P. 24640. ³Reserva de la Biósfera de Calakmul/CONANP, C. Puerto Rico S/N, Col. Fundadores, 24640, Calakmul, Campeche, México. ⁴Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, C. Batalla 5 de mayo S/N, Col. Ejercito Oriente, 09230, Iztapalapa, Ciudad de México, México. ⁵Dirección de las Reservas Estatales Balam-Kin y Balam-Ku, Secretaría de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambio Climático (SEMABICC), San Francisco de Campeche, Campeche.

*Autor para correspondencia: fernandomarcos28@gmail.com

ABSTRACT

Objective: We describe the use of artificial drinking fountains by the Central American agouti (*Dasyprocta punctata*) in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico.

Design/methodology/approach: Eight artificial drinking fountains were monitored each one with a camera trap with the aim to estimate the relative abundance index and activity patterns of visits to the drinking fountains. The monitoring was during the dry season of 2019. The analyzes were carried out with the InfoStat and R programs.

Results: From January to May 2019, with a sampling effort of 1121 days/camera, average abundance of 160.08 ± 85.44 . The pattern of visits to the drinking troughs was mainly diurnal.

Limitations/Implications: The water shortage in the Calakmul region limits this monitoring system, as water for drinking supply must be transported from distant distances.

Findings/conclusions: The implementation of artificial drinking fountains in the RBC during the dry season was a successful action to mitigate the effects of water scarcity. The use of the water resource by the Central American agouti in artificial drinking fountains was constant, other species of mammals and birds were also observed making use of artificial drinking fountains.

Keywords: habitat management, relative abundance index, photo trapping, daytime pattern.

RESUMEN

Objetivo: Describir el uso de bebederos artificiales por el sereque (*Dasyprocta punctata*) en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, México.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 1, enero, 2020. pp: 51-58.

Recibido: agosto, 2019. **Aceptado:** diciembre, 2019.

Diseño/metodología/aproximación: Se monitorearon ocho bebederos artificiales cada uno con una cámara trampa con la finalidad de estimar el índice de abundancia relativa y los patrones de actividad de visitas a los bebederos. El monitoreo fue durante la temporada de secas del 2019. Los análisis se realizaron con los programas R e InfoStat.

Resultado: De enero a mayo de 2019, con un esfuerzo de muestreo de 1121 días/cámara se obtuvo un índice de abundancia de 160.08 individuos/1000 días-cámara. El patrón de visitas a los bebederos fue principalmente diurno.

Limitaciones/implicaciones: La escasez de agua en la región de Calakmul, limita este sistema de monitoreo, ya que el agua para el abastecimiento de los bebederos debe ser transportada desde distancias lejanas.

Hallazgos/conclusiones: La implementación de bebederos artificiales en la RBC durante la temporada de seca fue una acción de éxito para mitigar los efectos de la escasez de agua. El aprovechamiento del recurso agua por el sereque en los bebederos artificiales fue constante, también se observaron otras especies de mamíferos y aves haciendo uso de los bebederos artificiales.

Palabras clave: manejo de hábitat, índice de abundancia relativa, foto trapeo, patrón de actividad.

protegidas (ANP; Sutherland *et al.*, 2018), evitando así que los animales se adentren en un hábitat inhóspito donde podrían morir (sitios fuera de ANP). Por otro lado, los bebederos han sido concebidos como una estrategia que puede contribuir al mantenimiento de las poblaciones de fauna silvestre en el corto plazo, permitiendo el acceso al agua durante la época de estiaje.

La región de la "Selva Maya", en el sureste de México en la que se encuentra inmersa la Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC), carece de ríos caudalosos o cuerpos de agua superficiales extensos (García-Gil *et al.*, 2002). Las fuentes de agua disponibles son lagunas someras (conocidas localmente como aguadas; Reyna-Hurtado *et al.*, 2019a,b). En los últimos años en la región de Calakmul se han registrado una disminución en los patrones de precipitación (Dobler-Morales, 2018), lo que ha ocasionado que las "aguadas" no capten el agua suficiente para mantenerse llenas durante la temporada de sequía. Esta situación es preocupante ya que en esta región, la selección de hábitat por parte de los mamíferos superiores y medianos se ve fuertemente influenciada por la disponibilidad de agua (Briceño-Méndez *et al.*, 2014; O'Farrill *et al.*, 2014; Reyna-Hurtado *et al.*, 2019a, b). Aunado a lo anterior, Delgado-Martínez *et al.* (2018), reportaron que los mamíferos que visitan con mayor frecuencia las sartenejas (cavidades naturales en las rocas, que retienen agua durante la temporada de sequía) fueron la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) el tepezcuintle (*Cuniculus paca*) y el sereque (*Dasyprocta punctata*).

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para todos los organismos vivos, y aunque algunos animales terrestres son capaces de satisfacer la mayoría de sus necesidades con la humedad de sus alimentos (Nagy y Gruchacz, 1994), muchos otros dependen del acceso a fuentes de agua dulce, especialmente durante ciertos períodos críticos del año (Moro-Ríos *et al.*, 2008). La disponibilidad de agua es uno de los recursos específicos que pueden influir en la distribución espacial de la fauna silvestre en diferentes grados (Paredes *et al.*, 2017), provocando en algunos casos cambios en el comportamiento de los animales (Hofmann *et al.*, 2015).

A nivel mundial se ha reportado la implementación de bebederos artificiales para fauna silvestre como una estrategia exitosa para mitigar las consecuencias de la falta de agua en las épocas de sequía (Epaphras *et al.*, 2008; Mandujano-Rodríguez y Hernández, 2019). Dentro de ellos se han beneficiado a mamíferos, aves y anfibios. La implementación de estas fuentes de agua artificial comprende diversas estrategias, en algunos casos se busca poder concentrar las poblaciones de fauna silvestre dentro de áreas selectas como las áreas naturales



Los mamíferos medianos como el sereque son definidos como importantes consumidores y dispersores de frutos y semillas, lo que le permite ser un protagonista en la dinámica forestal de los bosques tropicales (Aliaga-Rossel et al., 2006). De hecho, actúan como importantes dispersores de semillas del árbol de guapinol (*Hymenaea courbaril*) debido a que necesitan movilizar el fruto hasta un lugar seguro para consumirlo, además de no destruir las semillas a diferencia de otros roedores o los pecaríes (Hallwachs, 1986).

Tanto la dispersión como la depredación de semillas afecta la sobrevivencia y el renuevo de las plantas, lo que es determinante en la estructuración y el mantenimiento de la diversidad de los bosques (DeMattia et al., 2006). En los bosques tropicales, la mayoría de las especies arbóreas dependen de la fauna para dispersar sus semillas (Jordano, 2000; Jordano et al., 2006; Acevedo-Quintero y Zamora-Abrego, 2016).

En la RBC el sereque es una especie que cumple el rol de dispersor de semillas e interactúa con cuerpos de agua (Delgado-Martínez et al., 2018), es por eso que el objetivo del presente estudio fue describir el uso de bebederos artificiales por el sereque (*Dasyprocta punctata*) en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, durante la temporada de sequía del 2019.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Reserva de la Biósfera Calakmul (RBC) se encuentra dentro de la península de Yucatán al sureste del

estado de Campeche. Es parte de la Gran Región de Calakmul que incluye la Reserva de la Biosfera Maya en Guatemala y el área de conservación del Río Bravo Dos Milpas en Belice. Cuenta con una extensión de 723,185.12 ha (Reyna-Hurtado et al., 2019b). La RBC presenta un clima cálido y subhúmedo (Aw), con una temperatura media anual de 24.6 °C, la altura máxima sobre el nivel medio del mar se encuentra en el cerro Champerico con 390 m sobre el nivel del mar y la mínima varía de 100 a 150 m. Los tipos de vegetación dominantes son las selvas medianas subperennifolias, selvas medianas subcaducifolias y las selvas bajas subcaducifolias (Martínez y Galindo, 2002; Martínez-Kú et al., 2008).

Instalación de bebederos

Como parte de los esfuerzos que realiza la (RBC)/ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) para combatir los efectos del cambio climático en la región (reflejados en la reducción en los regímenes de precipitación; Dobler, 2018) se instalaron ocho bebederos artificiales de plástico negro (marca Rotoplas®), con capacidad para 300 L cada uno. Los bebederos fueron distribuidos a lo largo del camino de acceso de la RBC (Figura 1), considerando una distancia mínima de 2 km entre cada estación (bebedero). Los bebederos fueron abastecidos de agua para fauna silvestre, con una periodicidad de ocho días. Inicialmente se pretendía evaluar el funcionamiento de los bebederos como fuente de agua funcional para fauna silvestre, para lo cual, se colocó a cada bebedero una cámara trampa, con el fin de detectar a los sereques que frecuentaran aquellas especies que ocurrieran en el sitio para tomar agua.

Obtención de datos con Cámaras trampa

Las cámaras trampa se han utilizado ampliamente para estudiar mamíferos en ambientes tropicales (por ejemplo, Ahumada et al., 2013; Rovero et al., 2014).

El registro fotográfico de mamíferos utilizando cámaras trampa ha sido un método muy utilizado y eficiente en la región de Campeche (Hidalgo-Hihart et al., 2017a,b). En el caso de la región de Calakmul, las cámaras trampa han sido efectivas para registrar la presencia de diversas especies de mamíferos (Pérez-Cortez et al., 2012. Bri-ceño-Méndez et al., 2014; Ramírez, 2016).

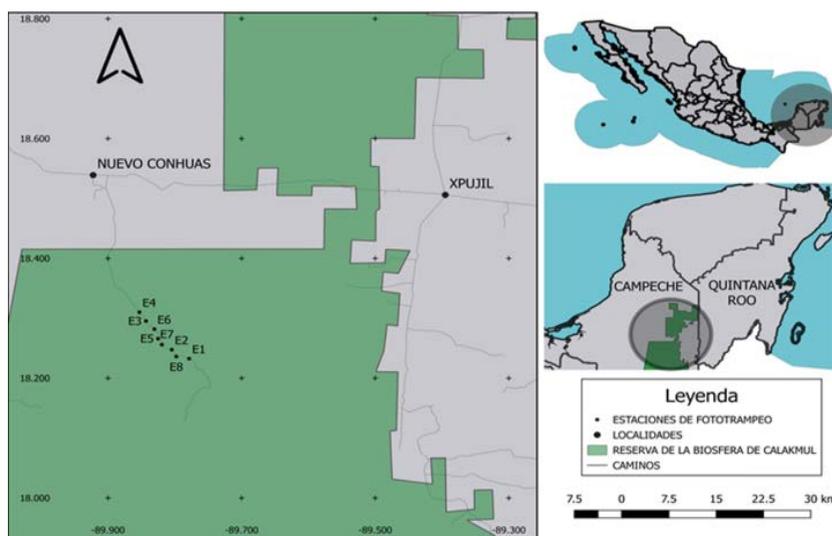


Figura 1. Localización de bebederos artificiales (E1-E8) en la Reserva de la Biosfera de Calakmul (Polígono verde), Campeche, México.

Entre los meses de noviembre y diciembre de 2018, se colocaron ocho cámaras trampa digitales: Cudddeback (Non Typical Inc., De Pere, WI, USA), distribuidas a lo largo del área de estudio (Cuadro 1, Figura 1) con el objetivo de verificar la presencia de mamíferos medianos y grandes (jaguar y tapir como especies prioritarias). El área de estudio corresponde a zonas adyacentes a la carretera que se dirige a la zona arqueología de Calakmul (del km 20 al km 47). La localización precisa de los bebederos se puede observar en la Figura 1.

El sitio de colocación de las cámaras trampa correspondió al mismo sitio en el que se establecieron los bebederos (Cuadro 1). En cada sitio se colocó una cámara trampa, el número de días que permanecieron activas varió dependiendo del funcionamiento de cada aparato, el número de días mínimo que se mantuvieron las cámaras operando fue de 143 días. Las cámaras se colocaron a 50 cm del suelo, en árboles que se encontraban adyacentes al bebedero, se programaron para tomar fotografías durante las 24 horas del día, con intervalos de 5 s entre cada fotografía. Se mantuvo una distancia mínima de 2 km entre las cámaras (misma distancia que se mantuvo para los bebederos).

Después de la colocación de las cámaras, éstas se revisaron en un lapso de tres semanas. En cada revisión se descargaron las fotografías, a las que se les asignó una clave de registro, finalmente se verificó el buen funcionamiento de las cámaras y se reemplazaron las baterías en caso de que fuera necesario (Hidalgo-Mihart *et al.*, 2017a,b). La identificación de especies se realizó de manera manual, generando una planilla con los siguientes datos: estación, nombre cámara, fecha, hora, especie, nombre imagen y cantidad de individuos. Después de la obtención de las fotografías, con las mismas se construyó una base de datos utilizando CamtrapR automatizado en R (Niedballa *et al.*, 2019).

Cuadro 1. Coordenadas de las estaciones de fototrampeo en bebederos en la carretera de acceso a la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

REFERENCIA	ID CÁMARA	X	Y
	16Q		
BBKM28	GEFCUD4	198403	2026857
BBKM30	GEFCUD3	199417	2025207
BBKM32	GEFCUD6	200733	2023695
BBKM34	GEFCUD5	201284	2021934
BBKM36	GEFCUD7	201868	2020796
BBKM38	GEFCUD2	203430	2019851
BBKM40	GEFCUD8	204126	2018570
BBKM42	GEFCUD1	206151	2018146

Análisis de datos

Índice de abundancia

Para obtener el índice de abundancia relativa por especie (IAR) se utilizó la fórmula:

$$IAR = C/EM * 1000 \text{ días trampa}$$

donde C=capturas o eventos independientes fotografados, EM= esfuerzo de muestreo (número de cámaras trampa por día de monitoreo) y 1000 días-trampa (unidad estándar) (Hernández-Pérez *et al.*, 2015).

Para evitar sobre-estimaciones en la cantidad de individuos registrados, para los análisis solo fueron considerados registros independientes (O’Brien, 2011). Se consideró como registro independiente a las fotografías consecutivas de individuos de diferentes especies y a las fotografías de individuos de la misma especie separadas por más de 24 h. En el caso de observarse más de un individuo en un registro independiente, solo

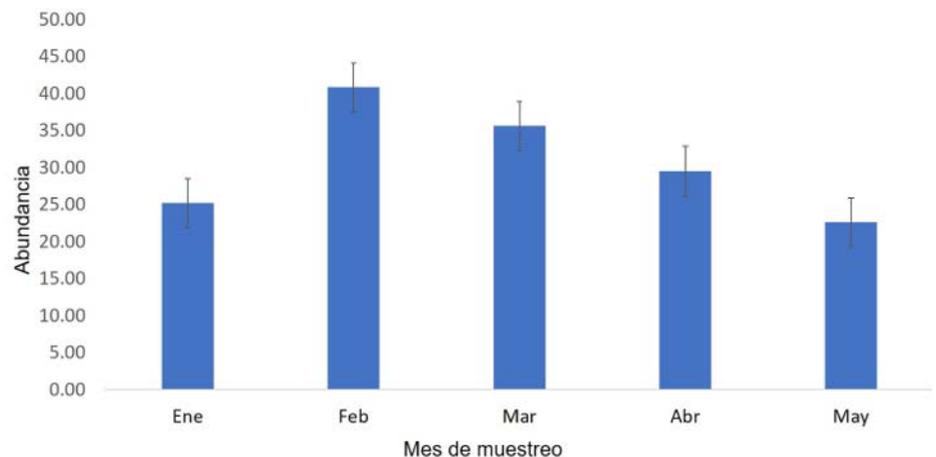


Figura 2. Registros del sereque (*Dasyprocta punctata*) durante la estación de seca del año 2019 en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México.

se tomó como un registro (Figura 2). En las fotografías donde aparecieron varios individuos de la misma especie o diferentes especies, los registros fueron considerados como el total de individuos capturados (Monroy-Vilchis et al., 2011).

Se compararon las tasas de visita de la especie para cada estación de monitoreo y para cada mes, mediante un Análisis de Varianza de una vía (ANOVA), y una prueba a posteriori HSD Fisher. Las pruebas se realizaron en el programa InfoStat (Di Rienzo et al., 2014) y R (R Core Team, 2017).

Patrones de actividad

El patrón de actividad fue evaluado para el sereque en el área de estudio mediante estadística circular, para identificar si existían diferencias entre los horarios de visitas, durante los diferentes meses de muestreo se realizó una prueba Watson-Williams con el software Oriana 4.0 (Kovach Computing Service, 2011). Los análisis se realizaron con los paquetes estadísticos Activity versión 3.5.1 hechos en el programa estadístico R 3.4.0 (Rowcliffe, 2016).

Para conocer el patrón de visita de los sereques en los bebederos, se empleó el paquete R overlap (Ridout y Linkie, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De enero a mayo de 2019, con un esfuerzo de muestreo fue de 1121 días/cámara, se obtuvieron 177 registros independientes del sereque (Figura 2). Se estimó una abundancia relativa promedio de 160.08 ± 85.44 , por mes se tuvo una abundancia en enero de 25.17, febrero de 40.80, marzo de 35.59, abril de 29.51 y mayo de 22.57. Se observaron diferencias altamente significativas, con un vector medio a las 10:34 con una varianza circular de 0.58 ($r=0.42 \pm 0.58$, $p < 0.001$), de igual forma entre los meses de muestreo se identificaron diferencias altamente significativas ($p = < 0.001$).

Los bebederos están siendo utilizados constantemente por los sereques, lo que queda demostrado por su alta tasa de visita de estos roedores. El patrón de actividad de los sereques durante las visitas a los bebederos fue principalmente

diurno (Figura 3, Figura 4 y Figura 5), probablemente porque, es mucho más seguro para la especie moverse durante el día, ya que los principales depredadores se mueven durante la noche. Se sabe que algunos roedores pueden variar su comportamiento para optimizar el equilibrio entre la búsqueda de alimento y el refugio, aunque pueden optar por adaptar sus periodos de actividad en respuesta a la variación temporal en el riesgo de depredación (Suselbeek, 2009; Aliaga-Rossel et al., 2008; Harmsen et al., 2011).

En México se han realizado estudios que muestran el uso que dan los mamíferos a fuentes de agua tanto naturales como artificiales, los que sugieren, que los bebederos son una herramienta útil no solo en zonas de clima árido, sino en zonas que presenten temporalidad y fenología

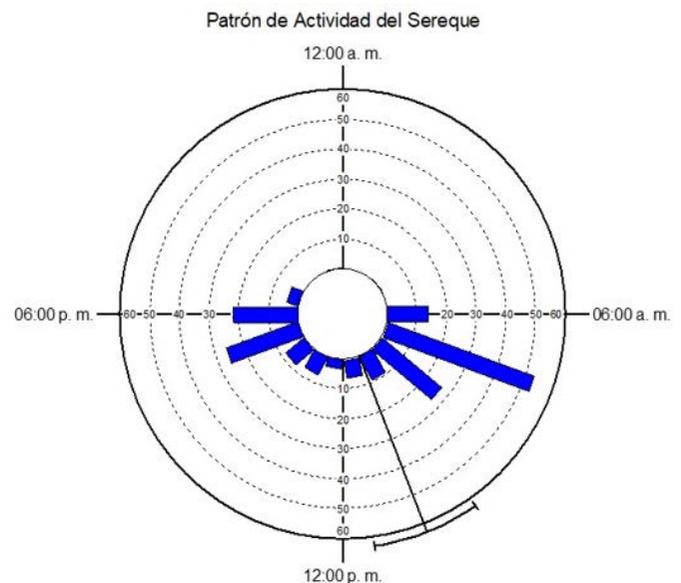


Figura 3. Patrones de actividad del sereque (*Dasyprocta punctata*) durante la estación de seca del año 2019 en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México. Se observa que la mayor actividad de visita a los bebederos, se da durante las primeras horas de la mañana.

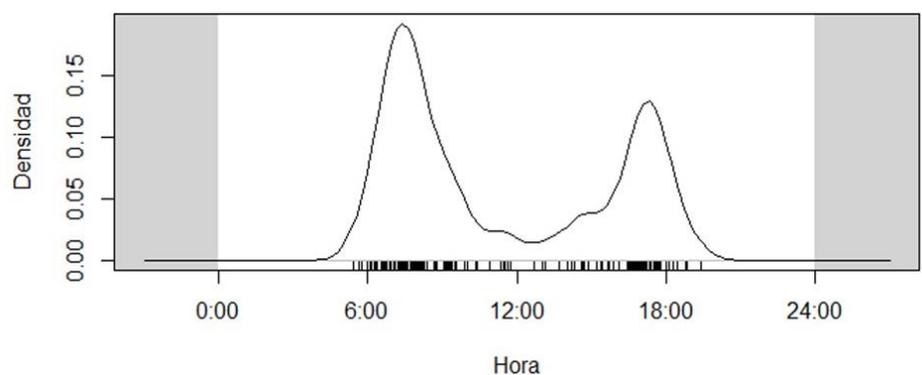


Figura 4. Patrones de actividad del sereque en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México.

marcadas (Delgado-Martínez *et al.*, 2017; Martínez-Kú *et al.*, 2008). Además, la instalación de bebederos para fauna silvestre es una práctica común al interior de las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) (Gastelum-Mendoza *et al.*, 2014; Treviño-Ruiz, 2010).

En esta región, algunas especies de mamíferos han mostrado una asociación positiva entre los patrones de ocupación y las fuentes de agua permanentes (Reyna-Hurtado *et al.*, 2009; O'Farrill *et al.*, 2014; Reyna-Hurtado *et al.* 2012; 2015), al igual que en diversos bosques tropicales semiáridos (Rich *et al.*, 2016).

Los sereques en la RBC mostraron un uso constante de los bebederos artificiales a pesar del color, el olor y la forma de los bebederos, lo que confirma que los bebederos son funcionales para especies pequeñas, y que son una opción viable para mitigar los efectos de la falta de agua en la región de Calakmul. La actividad de los depredadores en Quintana Roo es principalmente nocturna (Ávila-Nájera *et al.*, 2016), lo que podría influenciar los patrones de actividad de los sereques.

El agua es un tema de suma importancia ya que la falta de ésta, por disminución en la precipitación, puede provocar la muerte por deshidratación de animales con cuerpos de gran tamaño como los jaguares, tapires y pecarís de labios blancos (Gandiwa *et al.*, 2016). Por lo tanto, el uso de bebederos artificiales es una buena alternativa para garantizar la disponibilidad de agua en

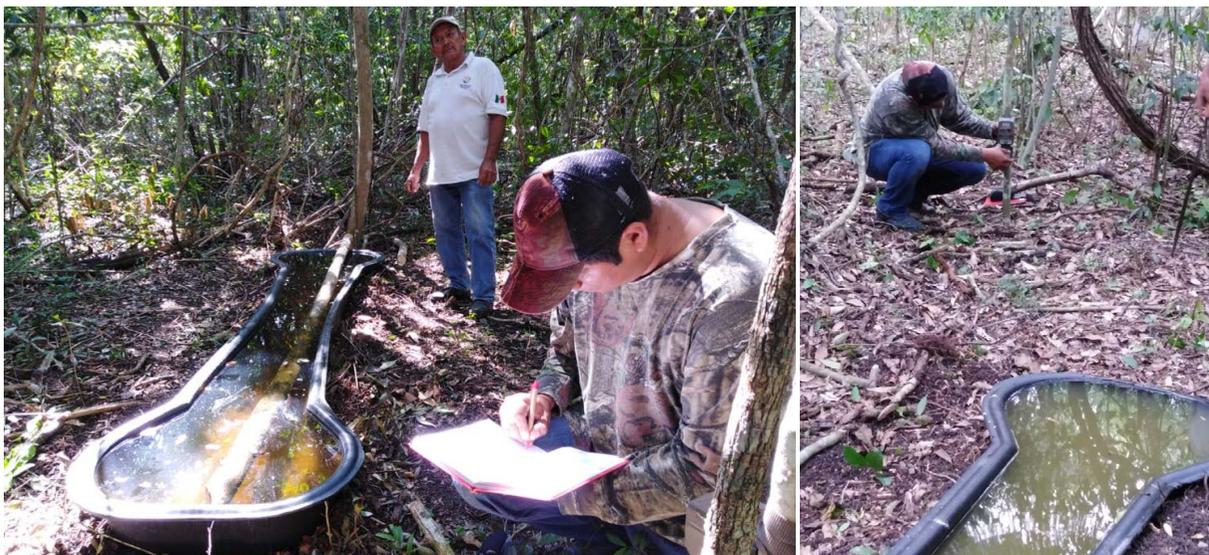


Figura 5. Los sereques visitaron de manera constante los bebederos en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, durante la temporada de secas 2019.

temporada de secas (Mandujano-Rodríguez & Hernández, 2019). Cabe señalar que el suministro de agua para la fauna silvestre es importante para reducir el problema de escasez de agua (Epaphras *et al.*, 2008), debido a ello, las fuentes de agua artificial son una buena herramienta para atender los problemas que traen consigo las sequías y que tanto afecta a la fauna nativa. Los bebederos además de permitir que algunos individuos obtengan agua, hacen posible que individuos de diversas poblaciones interactúen entre sí, lo que podría considerarse como un sitio para la socialización.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto 00092169: "Fortalecimiento del manejo del Sistema de Áreas Protegidas para mejorar la conservación de especies en riesgo y sus hábitats", implementado por el Programa de las Naciones Unidas



para el Desarrollo (PNUD), ejecutado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés). A los compañeros de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, que siempre estuvieron dispuestos a apoyar el proyecto de monitoreo.

LITERATURA CITADA

- Acevedo-Quintero, J. F., & Zamora-Abrego, J. G. (2016). Role of mammals on seed dispersal and predation processes of *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) in the Colombian Amazon. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 5.
- Ahumada, J. A., Hurtado, J., Lizcano, D. (2013). Monitoring the Status and Trends of Tropical Forest Terrestrial Vertebrate Communities from Camera Trap Data: A Tool for Conservation. *PLoS One*, 8(9), e73707.
- Aliaga-Rossel, E., Moreno, R. S., Kays, R. W., & Giacalone, J. (2006). Ocelot (*Leopardus pardalis*) predation on agouti (*Dasyprocta punctata*). *Biotropica*, 38(5), 691–694.
- Aliaga-Rossel, E., Kays R., & Fragoso J. (2008). Home range use by the central American Agouti (*Dasyprocta punctata*) on Barro Colorado, Panama. *Journal of Tropical Ecology*, 24, 367–374.
- Ávila-Nájera, D. M., Chávez, C., Lazcano-Barrero, M. A., Mendoza, G. D., & Perez-Elizalde, S. (2016). Traslapo en patrones de actividad entre grandes felinos y sus principales presas en el norte de Quintana Roo, México. *Therya*, 7(3), 439–448.
- Briceño-Méndez, M., Reyna-Hurtado, R., Calmé, S., & García-Gil, G. (2014). Preferencias de hábitat y abundancia relativa de *Tayassu pecari* en un área con cacería en la región de Calakmul, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 242–250.
- Delgado-Martínez, C. M., Alvarado, F., Mendoza, E., Flores-Hernandez, S., Navarrete, A., Navarrete, E., & Botello, F. (2018). An ignored role of sartenejas to mitigate water shortage hazards for tropical forest vertebrates. *Ecology*, 99(3), 758.
- DeMattia, E. A., Rathcke, B. J., Curran, L. M., Aguilar, R., & Vargas, O. (2006). Effects of small rodent and large mammal exclusion on seedling recruitment in Costa Rica. *Biotropica*, 38(2), 196–202.
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M., & Robledo, C. W. InfoStat/L software estadístico versión 2014. Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC)[Internet]. 2010 [citado 2018 Nov 7].
- Dobler-Morales, C. 2018. Analysis of precipitation patterns of the Yucatan using multiple gridded datasets. Dissertation. Clark University.
- Epaphras, A. M., Gereta, E., Lejora, I.A., Ole Meing'ataki, G.E., Ng'umbi, G., Kiwango, Y. & Mtahiko, M.G.G. (2008). Wildlife water utilization and importance of artificial waterholes during dry season at Ruaha National Park, Tanzania. *Wetlands Ecology and Management*, 16(3), 183–188. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11273-007-9065-3>
- Gandiwa, E., Heitkönig, I. M., Eilers, P. H., & Prins, H. H. (2016). Rainfall variability and its impact on large mammal populations in a complex of semi-arid African savanna protected areas. *Tropical Ecology*, 57(2), 163–180.
- García-Gil, G., Palacio, J., & Ortiz, M. (2002) Reconocimiento geomorfológico e hidrográfico de la Reserva de la Biosfera Calakmul, México", en *Investigaciones Geográficas* 48:7-23.
- Gastelum-Mendoza, F.I., Arroyo-Ortega, J.P. & León-López, L.I. (2014). Estimación de la abundancia poblacional de fauna silvestre, mediante el uso de cámaras trampa. *Agroproductividad*, 7(5), 32–36.
- Hallwachs, W. (1986). Agoutis / *Dasyprocta punctata*: los herederos del guapinol (*Hymenaea corbaril*: Leguminosae). En *Frugivoris y dispersion de semillas* (285–304 pp). Springer, Dordrecht.
- Harsem, B.J., Foster, R.J., Silver, S.C., Ostro, L., & Doncaster, C.P. (2011). Jaguar and puma activity patterns in relation to their main prey. *Mammalian Biology*, 76, 320–324.
- Hernández-Pérez, E., Reyna-Hurtado, R., Castillo Vela, G., Sanvicente López, M., & Moreira-Ramirez, J. F. (2015). Fototrampeo de mamíferos terrestres de talla mediana y grande asociados a petenes del noroeste de la península de Yucatán, México. *Therya*, 6(3), 559–574.
- Hidalgo-Mihart, M. G., Contreras-Moreno, F. M., Jesús de la Cruz, A., & Juárez-López, R. (2017a). Validation of the Laguna de Terminos-Calakmul Corridor for Jaguars (*Panthera onca*) in Southeastern Mexico. *Oryx* 52(2):292–299.
- Hidalgo-Mihart, M. G., Jesús-De la Cruz, A., Juárez-López, R., Contreras-Moreno, F. M., Bravata, Y., Hernández-Lara, C., Pérez-Solano, L., Koller, J., Friedeberg, D., & Thornton, D. (2017b). Inventory of medium-sized and large mammals in the wetlands of Laguna de Terminos and Pantanos de Centla, Mexico. *CheckList* 13(6):711–726.
- Hofmann, G. S., Coelho, I., Bastazini, V., Cordeiro, J., & de Oliveira, L. (2015). Implications of climatic seasonality on activity patterns and resource use by sympatric peccaries in northern Pantanal. *International Journal of Biometeorology* 1–13
- Jordano, P. (2000). Fruits and frugivory. En M. Fenner (Ed.), *Seeds: The Ecology of regeneration in plant communities* (125–166 pp).
- Jordano, P., Galetti, M., Pizo, M. A., & Silva, W. E. (2006). ligando frugivoria e dispersao de sementes à biologia da conservacao.
- Kovach Computing Service. (2011). Oriana. Anglesey, Wales:<https://www.kovcomp.co.uk/oriana/>.
- Mandujano-Rodríguez, S., & Carlos, H. (2019). Uso de bebederos artificiales por venado cola blanca en una UMA extensiva en la reserva de la biosfera Tehuacan-Cuicatlan, México. *Agroproductividad*, (July), 24487546.
- Martínez, E., & Galindo-Leal, C. G. (2022). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (71), 7–32.
- Martínez-Kú, D. H., Escalona-Segura, G., & Vargas-Contreras, J. A. (2008). Importancia de las aguadas para los mamíferos de talla mediana y grande en Calakmul, Campeche, México. *Avances en el estudio de los mamíferos II. Asociación Mexicana de mastozoología AC México*, 449–468.
- Monroy-Vilchis, O., Zarco-González, M. M., Rodríguez Soto, C., Soria-Díaz, L., & Urios, V. (2011). Fototrampeo de mamíferos en la Sierra Nanchititla, México: abundancia relativa y patrón de actividad. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 373–383.
- Moro-Rios, R. F. (2008). Obtenção de água por um grupo de *Alouatta clamitans* (Primates: Atelidae), em floresta com araucária: variações sazonais, sexo-etárias e circadianas. *Rev Bras Zool*, 25, 558–562.
- Nagy, K. A., & Gruchacz, M. J. (1994). Seasonal water and energy metabolism of the desert-dwelling kangaroo rat (*Dipodomys merriami*). *Physiological Zoology*, 67(6), 1461–1478.

- Niedballa, J., A. Courtiol, R. Sollmann, J. Mathai, S. T. Wong, A. Truong, A. Mohamed, A. Tilker, A. Wilting. 2019. CamtrapR Package. Camera Trap Data Management and Preparation of Occupancy and Spatial Capture-Recapture Analyses. <https://cran.r-project.org/web/packages/camtrapR/camtrapR.pdf>
- O'Brien, T.G.O. (2011) Abundance, density and relative abundance: a conceptual framework. In Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses (eds A.F. O'Connell, J.D. Nichols & U.K. Karanth), pp 71-96. Springer, New York, USA.
- O'Farrill G, Gauthier SK, Rayfield B, Bodin O, Calme S, Sengupta R, 2014. The potential connectivity of waterhole networks and the effectiveness of a protected area under various drought scenarios. PlosOne. 2014; 9(5):e95049.
- Paredes, O. S. L., Norris, D., de Oliveira, T. G., & Michalski, F. (2017). Water availability not fruitfall modulates the dry season distribution of frugivorous terrestrial vertebrates in a lowland Amazon forest. PLoS one, 12(3), e0174049.
- Pérez-Cortez, S., Enriquez, P. L., Sima-Panti, D., Reyna-Hurtado, & R., Naranjo, E. (2012) Influencia de la disponibilidad de agua en la presencia y abundancia de *Tapirus bairdii* en la selva de Calakmul, Campeche, Mexico. Rev Mex Biodivers 83:753-756.
- Ramírez, L (2016) Abundancia relativa y patrones de actividad por venados en dos sitios de la región de Calakmul, Campeche, México. Tesis licenciatura, Universidad Autónoma de Campeche, San Francisco de Campeche, México.
- R Core Team. (2017). R: A language and environment for statistical computing. Versión 3.4.3, Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Reyna-Hurtado, R., Rojas-Flores, E., & Tanner, G. W. (2009). Home range and habitat preferences of white-lipped peccaries (*Tayassu pecari*) in Calakmul, Campeche, Mexico. Journal of Mammalogy, 90(5), 1199-1209.
- Reyna-Hurtado, R. A. & Sánchez-Pinzón, K. 2019b. Ungulates of Calakmul. In S. Gallina-Tessaro (ed.). Ecology and Conservation of Tropical Ungulates, Pp. 89-104. in Latin America, https://doi.org/10.1007/978-3-030-28868-6_5
- Reyna-Hurtado, R., Sima-Panti, D., Andrade, M., Padilla, A., Retana-Guaiscon, O., & Sanchez-Pinzón, K. (2019b). Tapir population patterns under the disappearance of free-standing water. THERYA, 10(3), 353.
- Ridout, M. & Linkie, M. (2009). Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 14(3), 322-337.
- Rich, L. N., Miller, D. A., Robinson, H. S., McNutt, J. W., & Kelly, M. J. (2016). Using camera trapping and hierarchical occupancy modelling to evaluate the spatial ecology of an African mammal community. Journal of Applied Ecology, 53(4), 1225-1235.
- Rovero, F., Martin, E., Rosa, M., Ahumada, J. A., & Spitale, D. (2014). Estimating species richness and modelling habitat preferences of tropical forest mammals from camera trap data. PLoS one, 9 (7), e103300.
- Rowcliffe, M. J. (2016). Activity: Animal Activity Statistics, No. R package version 1.1. <https://cran.r-project.org/package=activity>.
- Suselbeek, L. (2009). Resource availability and activity patterns in the Central American agouti (*Dasyprocta punctata*). Tesis de Maestria. Wageningen University.
- Sutherland, K., Ndlovu, M., & Pérez-Rodríguez, A. (2018). Use of artificial waterholes by animals in the southern region of the Kruger National Park, South Africa. African Journal of Wildlife Research, 48(2).
- Treviño-Ruiz, A. A. (2010). Informe final SNIB.CONABIO proyecto No. CJ076. Alternativas para el mejoramiento de hábitat en UMA localizadas en la Zona 1, en base a la conservación y aprovechamiento sustentable. México, D.F.



The infective capacity of propagules of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in sugarcane (*Saccharum* spp.)

La capacidad infectiva de propágulos de hongos micorrizicos arbusculares en caña de azúcar (*Saccharum* spp.)

Sánchez-Reyna Leydi¹, Salgado-García Sergio², Córdova-Sánchez Samuel^{1*}, Hernández-Cuevas Laura³, Gómez-Leyva Juan Florencio⁴, Palma-López David Jesús², Castañeda-Ceja Raúl¹, García-de la Cruz Rubén²

¹División de Académica de Ciencias Básicas e Ingeniería-Universidad Popular de la Chontalpa. Carretera Cárdenas Huimanguillo km 2, Ranchería Paso y Playa, C.P. 86529, H. Cárdenas, Tabasco. ²Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Grupo MASCAÑA, km 3.5 Periférico Carlos A. Molina S/N, C.P.86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. ³Laboratorio de Microbiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Km 10, Carretera Texmelucan-Ixtacuixtla, Tlaxcala. ⁴TecNM-Instituto Tecnológico de Tlajomulco, km 10 carretera Tlajomulco-San Miguel Cuyutlán, C.P. 45640, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. México.

*Autor de correspondencia: sacorsa_1976@hotmail.com

ABSTRACT

Objective: the goal of the present research was to evaluate the infective propagules capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in sugarcane plantation (*Saccharum* spp.) at the Chontalpa, Tabasco, Mexico.

Design/methodology/approach: rhizosphere samples were carried out on Cambisol Fluvico soils, belonging to the C-28 and Endogleyic Cambisol soils, belonging to the C-20 settlement, at a depth of 0 to 30 cm to evaluate percentage of root colonization, number of spores in 100 g of soil and for the taxonomic classification of HMA.

Results: the results of AM root colonization were 100% and the number of 2833 ± 2064 spores in the Fluvic cambisol soil and 2966 ± 873 spores in Endogleyic cambisol. Four morphospecies of mycorrhizal fungi belonging to four genera were found. The Endogleyic cambisol soil showed the highest number of morphospecies. The highest colonization was found at the 4^2 dilution with 100% of root colonization and the lowest colonization at 4^6 dilutions with 93% of root colonization.

Limitations on study/implications: for the period or stage evaluated it did not allow taxonomic classification, so the study should be done in more detail.

Findings/conclusions: however, result showed that there was not presence of AM spores in all dilutions used in this study. The taxonomic classification was not performed at this stage. The HMAs evaluated have a high potential for use in a biofertilizer production program.

Key words: biofertilizer, HMA, colonization.

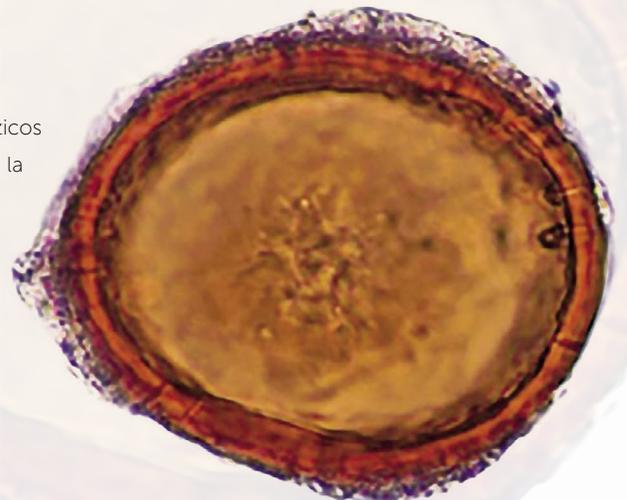
RESUMEN

Objetivo: evaluar la capacidad infectiva de propágulos de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la región de la Chontalpa, Tabasco, México.

Diseño/metodología/aproximación: se realizaron muestreos de rizosfera en los suelos Cambisol Fluvico, pertenecientes al poblado C-28 y Cambisol Endogleyico, pertenecientes al poblado C-20, a una

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 1, enero. 2020. pp: 59-66.

Recibido: septiembre, 2019. **Aceptado:** enero, 2020.



profundidad de 0 a 30 cm para evaluar porcentaje de colonización en raíces, número de esporas en 100 g de suelo y para la clasificación taxonómica de HMA.

Resultados: El estado micorrizico del suelo indica que el porcentaje de colonización en raíces fue de 100% en los dos tipos de suelos y 2833 ± 2064 esporas en 100 g del suelo Cambisol Flúvico y 2966 ± 873 esporas en el suelo Cambisol Endoglético. Se identificaron cuatro especies de HMA *Entrophospora nevadensis*, *Sclerocystis sinuosa*, *Funneliformis geosporum* y *Claroideum glomus luteum*. El suelo que presento mayor número de especies fue el Cambisol Endoglético. En la capacidad infectiva de propágulos de ambos tipos de suelos, la dilución 4^2 presentó mayor colonización con un 100% de colonización de raíces y la menor colonización en la dilución 4^6 con 93.0% de colonización.

Limitaciones del estudio/implicaciones: por el periodo o etapa evaluada no permitió la clasificación taxonómica, por lo que, el estudio debe hacerse más a detalle.

Hallazgos/conclusiones: no se observaron esporas en esta etapa, por lo cual la clasificación taxonómica no pudo realizarse. Los HMA evaluados tienen un alto potencial para utilizarse en un programa de producción de biofertilizantes.

Palabras clave: Biofertilizante, HMA, colonización.

INTRODUCCIÓN

Las principales limitantes del rendimiento en la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el ingenio Pdte. Benito Juárez, se relacionan con la baja fertilidad de suelos, la pérdida de materia orgánica, excesos de humedad, entre otras (Salgado *et al.*, 2011). Una alternativa a estas limitantes es el empleo de biofertilizantes, los cuales mejoran el suministro de nutrientes tales como N y P a los cultivos (Vessey, 2003). La asociación simbiótica entre el hongo micorrizico arbuscular y la planta, actúa como un complemento de la raíz del cultivo en la toma de nutrientes (Colozzi y Cardoso, 2000), especialmente en la absorción de P (Requena *et al.*, 2001), mejoramiento de la calidad del suelo, la tolerancia al ataque de patógenos (Espinosa *et al.*, 2004; Graham, 2001) y a condiciones abióticas adversas de sequía (Augé, 2001; Kaya *et al.*, 2003), y salinidad (Al-Karakí, 2000), además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo mediante el enriquecimiento de materia orgánica y la formación de agregados por la glomalina, contribuye a darle estructura y estabilidad al suelo, lo que reduce su erosión y mejora su capacidad de retención de agua (Guadarrama *et al.*, 2004; Finlay, 2008). Además de la identificación de especies de HMA, en estudios agroecológicos, es importante determinar el número de propágulos infectivos en el suelo, esta información permite saber la capacidad de los HMA para desarrollar simbiosis con la planta, y el tiempo que tarda en establecerse la colonización (Janos, 1996). Estos propágulos generalmente se encuentran concentrados en los primeros centímetros de profundidad del suelo (Bellgard, 1993), pueden sobrevivir bajo diferentes condiciones ambientales, y colonizar la raíz a través de esporas latentes, hifas en fragmentos vivos de raíz, hifas en raíces muertas, y la red de micelio (Scha-

lamuk y Cabello, 2010). Se sabe que la infectividad de dichos propágulos y la efectividad micorrizica puede ser afectada por factores bióticos y abióticos (Brundrett, 1996; Barrera, 2009), de tal forma que los biofertilizantes deben ser formulados de forma específica para la región donde se utilizarán ya que las condiciones edafoclimáticas limitan su efectividad (Varela y Trejo, 2001; Osorio *et al.*, 2013).

Los resultados positivos observados en estudios llevados a cabo en invernaderos y viveros contrastan con los resultados decepcionantes obtenidos en campo, debido a las condiciones en que se mantienen los cultivos en los agroecosistemas (Sylvia, 1999). Estos resultados relegaron el uso de las micorrizas en campo, pero recientemente su importancia y uso está en aumento (Córdova *et al.*, 2016). De ahí la importancia de conocer la diversidad y la distribución de HMA en una zona agroecológica determinada, porque de esta forma es posible evaluar el status de los HMA encontrados en la región (Khanam, 2006). El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad infectiva de los propágulos de HMA de suelos cultivados con caña de azúcar, como un paso previo para formular biofertilizantes específicos para la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio

El Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ), se ubica en el poblado C-27 Ing. Eduardo Chávez Ramírez del Plan Chontalpa, a 27 km de la Ciudad de Cárdenas, Tabasco, México. Cuenta con una superficie cultivada de 23800 ha. El clima es cálido y húmedo [Am (i') g], con temperatura media anual de 26 °C, y

precipitación media anual de 2,163 mm, a 11 m de altitud. Los sitios de muestreo correspondieron a suelos Cambisol Flúvico (IQ 445911.1, 1991534.9) y Cambisol Endoglélico (IQ 444129.5, Y 2001074.9) del área de influencia del IPBJ (Salgado *et al.*, 2011), se tomaron cinco muestras de suelo rizosférico en cada plantación. El trabajo consistió en dos fases:

Fase I: diagnóstico del estado micotrófico del suelo

Las plantas se muestrearon en estado de máximo crecimiento, seleccionando a las cepas con buen porte. Una vez seleccionadas las cepas de caña se recolectó la muestra de suelo con una pala recta previamente desinfectada, esto se realizó lavando con agua destilada y luego flameada con alcohol etílico para evitar la contaminación cruzada. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-20 cm y a una distancia de 20 cm del rizoma de la caña de azúcar. Se colocaron en bolsas de polietileno, siendo etiquetados con el número de muestra, nombre del sitio y fecha. Las muestras fueron transportadas a 4 °C, para el laboratorio de Fitopatología del Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco.

Se separaron las raíces y el suelo de cada muestra, para determinar la colonización, número de esporas 100 g de suelo, y realizar los montajes para clasificar las esporas de los HMA. Todo esto con tres repeticiones. Las raíces fueron lavadas con agua destilada, hasta tener las raíces libres de suelo y se sumergieron en una solución FAA (Formaldehído 37%: ácido acético: agua 1:1:1 v/v/v).

Fase 2: colonización de raíces del cultivo de caña de azúcar

Se realizó con el método de Phillips

y Hayman (1970), el cual consiste en lavar cada una de las muestras de raíces con abundante agua para quitar el exceso de la solución FAA, y secarse con toallas de papel estéril, una vez hecho esto se realizaron cortes de raicillas de 1 cm de longitud las cuales se depositaron en frascos pequeños, posteriormente se decoloraron con KOH al 10% (p/v) y se sellaron los frascos con cinta para evitar la evaporación de la solución al ser esterilizada a 10 lb de presión durante 10 min, y pasado esto, se dejaron enfriar las muestras y lavaron las raicillas otra vez con agua destilada, secándolas con toallas de papel estéril. Después se le agregó HCl al 10% (v/v), y se agitaron las muestras durante 3 min para posteriormente decantarse para eliminar exceso del HCl para luego teñir con azul de tripano al 0.05% en acetoglicerol dejando reposar por 10 min. Después se decantó el colorante y se montaron 3 grupos de cuatro segmentos de raíces en portaobjetos y se le agregó una gota de acetoglicerol a cada grupo y se colocó un cubreobjetos, para cuantificar con un microscopio de 40X. Para determinar la colonización se utilizó una escala convencional: 1: presencia de hifas y esporas dentro del segmento. 0: sin presencia de hifas y esporas dentro del segmento. La colonización de raíces (%) se calculó con el siguiente modelo

$$Y = (X * 12) / 100$$

donde: X: Número de segmentos observados con colonización.

Para determinar el número de esporas de hongos micorrizicos en suelo, se preparó una solución de sacarosa al 60% y una solución Ringer (Brundrett *et al.*, 1996). Una vez que se obtuvieron las soluciones se pe-

saron 100 g de suelo muestreado. Se tamizó cada una de las muestras por separado, partiendo de tamiz de 710 micrómetros hasta el de 420 micrómetros, lavando con agua corriente hasta que las raíces queden libres de suelo.

El sobrenadante del último tamiz se pasó a un tubo de 50 mL para centrifugar, después se colocaron 5 mL de sacarosa al 60% en la parte inferior del tubo. Una vez montados los sobrenadantes del último tamiz de 420 micrómetros en los tubos se llevaron las muestras a centrifugar a 3000 rpm durante 2 min.

Las muestras se decantaron cada una por separado en el tamiz de 420 micrómetros lavándolas con agua corriente para eliminar el exceso de sacarosa. Una vez lavadas las muestras se colocaron en tubos de vidrio con tapa para aplicarles 15 mL de la solución Ringer. Posteriormente se tomó una alícuota de 1.0 mL y se colocaron en una caja de Petri para revisar con el estereomicroscopio y así poder realizar el conteo de número de esporas mL^{-1} . Para calcular el número de esporas en 100 g de suelo (Y), se utilizó la ecuación:

$$Y = (100 * X) / 1$$

donde X: Número de esporas observadas.

Para la identificación taxonómica, las esporas fueron extraídas con una pipeta pasteur, y colocadas en preparaciones semipermanentes, usando Alcohol Polivinílico en Lacto-Glicerol (PVLG) sin reactivo Melzer y con Melzer (PVLG+Melzer). Esta preparación ayuda a que las esporas no sufran alguna alteración en los extractos de la pared, ya que la caracterización de las esporas se basa

fundamentalmente en las características morfológicas. La clasificación taxonómica de las especies se realizaron en base a las morfologías de las esporas (diámetro, color, agrupamiento) y de sus estratos de pared (color, ornamentaciones, número y tipos de estratos, reacción con Melzer y grosor), las cuales se observaron con un microscopio óptico con contraste de interferencia de Nomarski (Zeiss Axioscope 2 Plus) a 400X y 1000X y se compararon con las descripciones del International Vesicular Arbuscular Culture Collection (www.invam.caf.wvu.edu/) y de Janusz Blazkowski de la Universidad de Agronomía de Szczecin (<http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota>). Las esporas se fotografiaron con una cámara digital (Olympus DP70) acoplada al microscopio y se digitalizaron mediante el software Image Pro® Plus versión 4.5. La nomenclatura siguió la clasificación de Schübler *et al.* (2001).

Número más probable de propágulos

La evaluación del número de propágulos infectivos de HMA se realizó usando como sustrato una mezcla estéril 8:1 (v: v) de vermiculita y peat moss (Porter, 1970). A partir de la muestra compuesta de suelo, se prepararon las diluciones. Se utilizó un vaso de 1 L de poliuretano, el llenado de macetas consistió en colocar 70 g del sustrato estéril, se agregó 150 mL del sustrato de cada una de las mezclas realizadas, se agregaron 23 g de sustrato estéril, para cubrir el suelo a evaluar. Posteriormente se colocó una yema vegetativa de caña de azúcar del cultivar Méx 69-290 pre germinada y desinfectada, la cual sirvió como planta hospedera.

Para generar los tratamientos se utilizó un diseño factorial 7x2 (7 diluciones de propágulos y 2 tipos de suelo),

igual a 14 tratamientos, los cuales se establecieron en macetas en condiciones de semi campo, en un arreglo completamente al azar con seis repeticiones. El manejo de las plantas consistió en mantener la humedad, para lo cual se aplicó riego continuo con agua corriente. A los 60 d después de la siembra se cosecharon las plantas, la colonización de raíces, número de esporas en 100 g de suelo, y la clasificación de las morfo especies, se realizó de acuerdo a la forma descrita anteriormente. Para todas las variables se realizó el ANOVA con el diseño factorial y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, usando el programa SAS 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estado micotrófico del suelo con caña de azúcar

La micorrización de las raíces de la caña de azúcar cultivada en el ingenio Presidente Benito Juárez, se encuentra presente en ambos tipos de suelos y fue del 100% (Cuadro 1). Este resultado supera el 88.9% de colonización reportado por Salgado *et al.* (2014) al estudiar la colonización de raíces en siete tipos de suelos del Ingenio Pdte. Benito Juárez (IPBJ). El proceso de colonización es completo ya que se identificaron hifas, esporas, micelios y arbusculos de forma variada en cada uno de los segmentos de raíces (Figura 1), esto indica que la micorrización en los suelos cañeros de la región de la Chontalpa ocurre de forma natural, pero se desconoce si esta resulta benéfica para este cultivo considerando que se obtienen 54 t ha⁻¹ de caña., considerado bajo comparado con la media nacional de 69 t ha⁻¹ de caña.

El suelo Cambisol Endogléyco presento mayor número de esporas en comparación con el Cambisol Fluvico (Cuadro 1). El número de esporas de ambos suelos

Tipo de suelo	Colonización (%)	Número de esporas 100 g de suelo
Cambisol Flúvico	100	2833±2064
Cambisol Endogléyco	100	2966±873

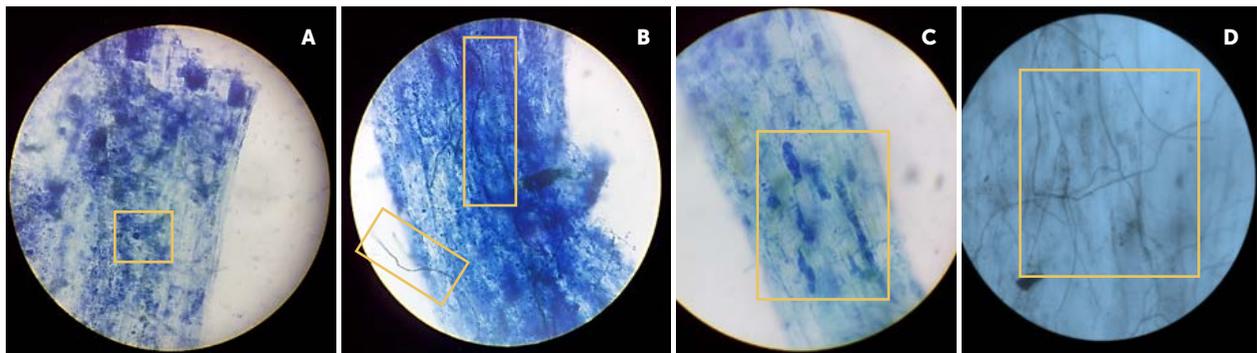


Figura 1. Colonización de propágulos de HMA en raíces de caña de azúcar (A: Esporas, B: Hifas, C: Arbusculos, D: Micelio).

superan a las 943 esporas en 100 g de suelo reportados por Salgado et al. (2014). Lo que demuestra presencia alta de HMA en estos suelos; sin embargo, dado que se desconoce la naturaleza de esta simbiosis, es necesario generar mayor información que permita aprovechar los HMA para incrementar el rendimiento de caña de azúcar en el IPBJ.

Se identificaron los géneros *Glomus*, *Sclerocystis*, *Funneliformis* y *Entrophospora*; cuya morfoespecie, no se había identificado antes en el estado de Tabasco ni en suelos cañeros, y aún no está registrada para México, en asociación al cultivo; sin embargo, las características observadas y comparadas con el trabajo de Palezuela et al. (2010), permiten afirmar la presencia de esta morfoespecie como *E. nevadensis* en los suelos cañeros evaluados. La especie *E. nevadensis*, es una especie reconocida y publicada en España, fácil de identificar y clasificar como tal, debido a que presenta presencia proyecciones o espículas sobre la pared de la espora, lo cual es una característica única en glomeromycota (Figura 2).

Al comparar las características morfológicas ya establecidas de la especie *E. nevanensis* (Palezuela et al., 2010), con las características presentes en las esporas encontradas en el IPBJ se observan algunas diferencias, tales como el tamaño de la espora, las cuales son superiores al intervalo marcado para tal especie, tamaño del estrato 1 está por encima del intervalo, el tamaño del estrato 2 si coincide con las descripciones, y no se observó con claridad la presencia de un tercer estrato. Las espinas o proyecciones están dentro del rango con excepción de algunas, el estrato evanescente es

más ancho que el descrito para la especie. La posición de la espora es un factor que dificultó observar con precisión las características; sin embargo, la presencia de las proyecciones es muy notoria y las diferencias encontradas podrían ser debido a que aún no se han estudiado u observado estas especies en otros ambientes y las características pueden ser más variables de lo que esta descrito o establecido.

Las probabilidades de que sea esta especie es muy alta, por lo tanto,

se sugiere nombrarla *Entrophofora* aff. *Nevadencis*. (aff.: indica que se trata de una espora del genero *Entrophospora* que a lo que más se parece es a *E. nevadencis*).

Las otras tres especies encontradas fueron, *Sclerocystis sinuosa* (Figura 3), la cual es más común en varios suelos agrícolas al igual que *Funneliformis geosporum* (Figura 4), y *Claroideo glomus luteum* (Figura 5), esta especie no esta tan reportada y su distribución es más restringida.

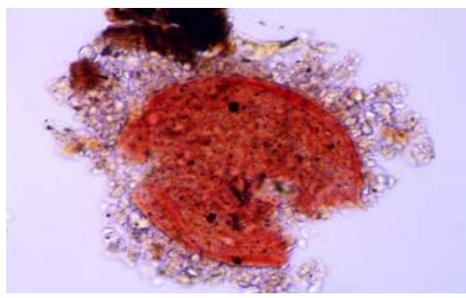
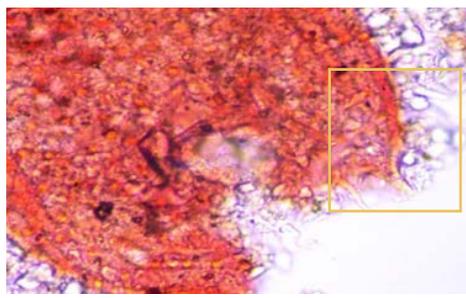
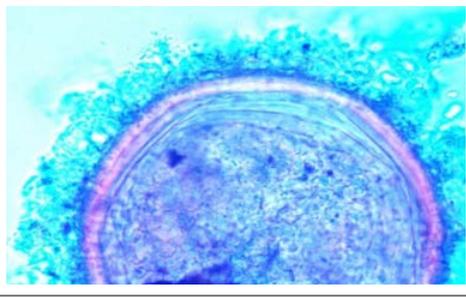
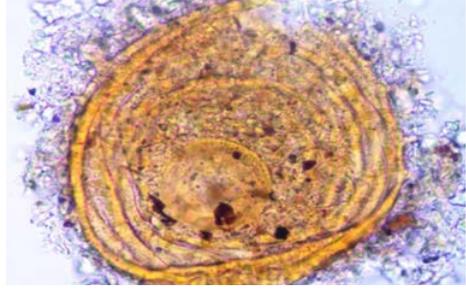
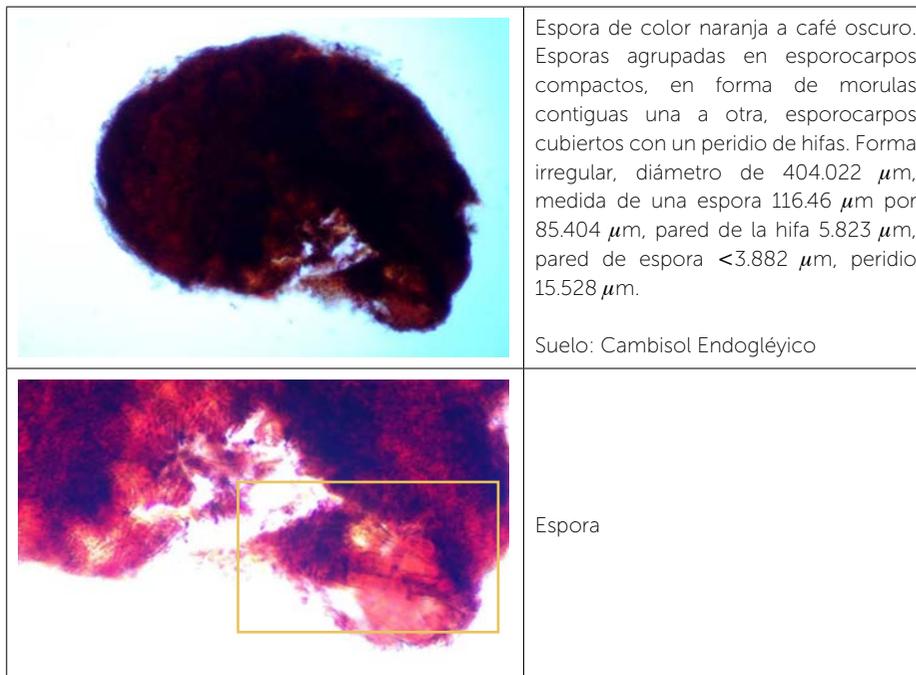
	<p>Espora globosa, color naranja a rojizo, estrato evanescente muy notorio por el tamaño que presenta, diámetro de espora 194.1 μm. observación de 3 estratos con medida de 31.056 μm, 15.528 μm, 7.764 μm. Medida de proyecciones: Ancho 3.882 μm por largo 19.41 μm. Ancho 7.764 μm por largo 19.41 μm. Ancho 3.882 μm por largo 15.528 μm. Suelo: Cambisol Endoglético</p>
	<p>Observación de proyecciones en forma de espículas o espinas puntiagudas presentes sobre la base de la pared de la espora.</p>
	<p>Observación de estratos y ornamentaciones internas. Espora con más de 4 estratos Suelo: Cambisol Endoglético</p>
	<p>Observación de estratos presentes en la espora, estrato evanescente muy notorio, presencia de proyecciones de menor medida, color de espora amarillo a café claro, espora con diámetro de 152.412 μm, Medida de proyecciones: 3.882 μm por 7.764 μm en promedio con las demás proyecciones. Suelo: Cambisol Endoglético</p>

Figura 2. Descripción del genero *Entrophospora*, morfoespecie *E. nevadensis*.

El suelo que presento mayor número de especies fue el Cambisol endogléyico (Cuadro 2). En el suelo Cambisol flúvico se encontró la especie *Claroideum glomus luteum*, esta última con características morfológicas diferentes a la encontrada en el suelo Cambisol endogleyco. Las especies identificadas en este estudio fueron pocas y diferentes a las reportadas en el trabajo de Salgado *et al.*, (2014), a excepción de *S. sinuosa*. Algunas de las esporas

Cuadro 2. Morfoespecies asociadas al cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Moefoespecie	Cambisol flúvico	Cambisol endogleyico
<i>Entrophospora nevadensis</i>		x
<i>Sclerocystis sinuosa</i>		x
<i>Funneliformis geosporum</i>		x
<i>Claroideum glomus luteum</i>	X	x

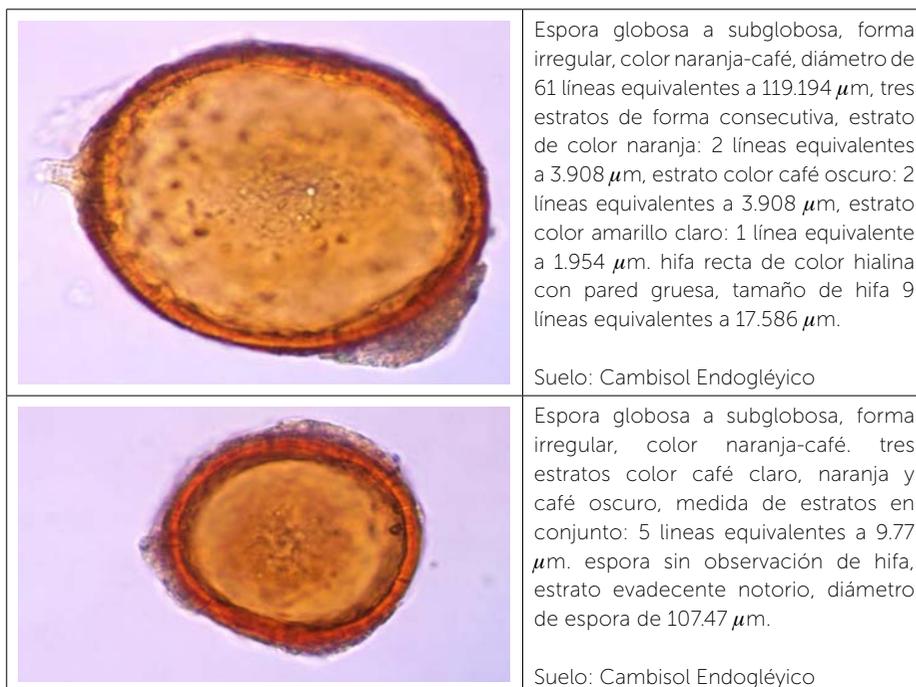


Espora de color naranja a café oscuro. Esporas agrupadas en esporocarpos compactos, en forma de morulas contiguas una a otra, esporocarpos cubiertos con un peridio de hifas. Forma irregular, diámetro de 404.022 μm , medida de una espora 116.46 μm por 85.404 μm , pared de la hifa 5.823 μm , pared de espora <3.882 μm , peridio 15.528 μm .

Suelo: Cambisol Endogléyico

Espora

Figura 3. Descripción de genero *Sclerocystis*, morfoespecie *S. sinuosa*.



Espora globosa a subglobosa, forma irregular, color naranja-café, diámetro de 61 líneas equivalentes a 119.194 μm , tres estratos de forma consecutiva, estrato de color naranja: 2 líneas equivalentes a 3.908 μm , estrato color café oscuro: 2 líneas equivalentes a 3.908 μm , estrato color amarillo claro: 1 línea equivalente a 1.954 μm . hifa recta de color hialina con pared gruesa, tamaño de hifa 9 líneas equivalentes a 17.586 μm .

Suelo: Cambisol Endogléyico

Espora globosa a subglobosa, forma irregular, color naranja-café. tres estratos color café claro, naranja y café oscuro, medida de estratos en conjunto: 5 líneas equivalentes a 9.77 μm . espora sin observación de hifa, estrato evadecente notorio, diámetro de espora de 107.47 μm .

Suelo: Cambisol Endogléyico

Figura 4. Descripción de genero *Funneliformis*, morfoespecie *F. geosporum*.

montadas estaban maltratadas y en mal estado y el tiempo en el que se mantuvieron en solución ringer fue mucho, lo cual pudo causar que las esporas se hincharan demasiado y al momento de presionar las preparaciones se destrozaron por completo.

Número más probable de propágulos: colonización de raíces en caña de azúcar

Los resultados del análisis de varianza muestran que no hay diferencias significativas en suelo y en su interacción (Cuadro 3). Únicamente se observó diferencias altamente significativas para las diluciones. El coeficiente de variación fue de 5.3, lo cual indica el bajo error experimental en la elaboración de este trabajo. De acuerdo con la prueba de Tukey se formaron dos grupos de colonización observando mayor porcentaje en la dilución 4² con 100% de colonización de las raíces del cultivo de caña, y la menor en la dilución 4⁶ con 93.0% de colonización (Cuadro 3). Estos resultados indican alta capacidad infectiva de propágulos de HMA en cultivos de caña de azúcar, dando certeza de que los obtenidos de los suelos Cambisol fluvico y Cambisol endogleyico tienen alto potencial para utilizarse en un programa de producción de biofertilizantes.

Referente al número de esporas en 100 g de suelo, se considera

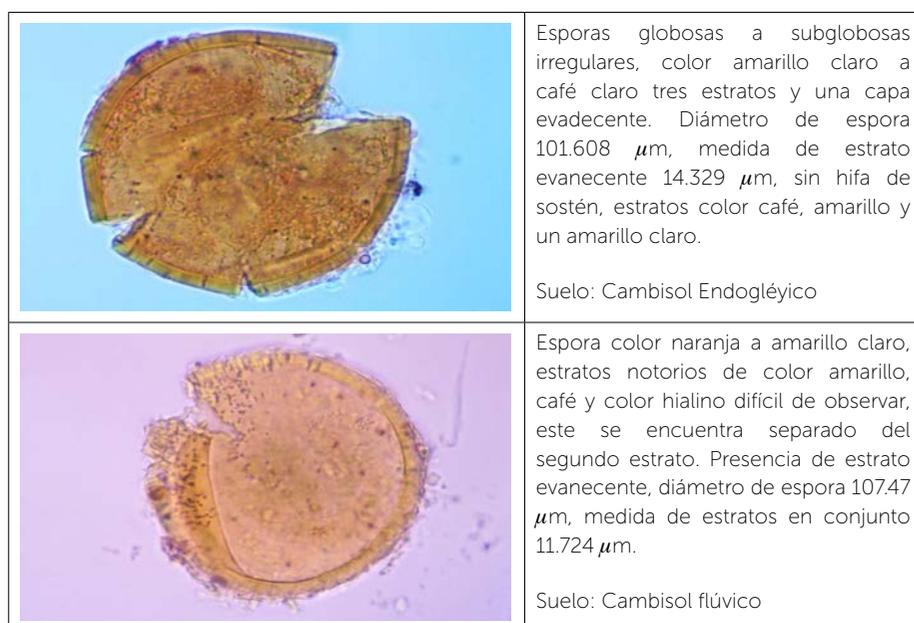


Figura 5. Descripción de genero *Claroideum*, morfoespecie *C. luteum*.

que por ser la primera vez que este estudio se realiza usando cultivo de caña de azúcar, y por el tiempo en que se mantuvo el experimento, no facilitó que las micorrizas formaran esporas, por tanto, no se pudo contabilizar este parámetro. La clasificación taxonómica de especies de HMA y de otros tipos de hongos es muy compleja y para poder realizarla se utilizan únicamente estructuras que presenten diferenciación morfológica capaz de agruparlas con algún nombre, dependiendo de las características observadas, estudiadas y comparadas con descripciones establecidas. En

este trabajo no fue posible llevar a cabo la clasificación taxonómica debido a que no se registraron esporas en el sustrato de ninguna de las diluciones, evaluadas.

CONCLUSIONES

La colonización micorrizica es un proceso natural en el cultivo de caña de azúcar en los suelos Cambisol Fluvico y Cambisol Endoglético; así lo indican la colonización del 100% observada, el elevado número de esporas por cada 100 g de suelo, y la presencia de los géneros *Entrophospora nevadensis*, *Sclerocystis sinuosa*, *Funneliformis geosporum* y *Claroideum glomus luteum*. *E. nevadensis* es una especie no está registrada en México y que no se había observado en suelos cultivados con caña de azúcar. El suelo Cambisol Endoglético presenta mayor diversidad de HMA en comparación al suelo Cambisol Fluvico. La alta capacidad infectiva de propágulos en ambos tipos de suelos, indica alto potencial para usar los HMA en la producción de biofertilizantes para el cultivo de caña de azúcar.

LITERATURA CITADA

- Al-Karaki, G.N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*. 10: 51-54.
- Augé, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 11: 3-42.
- Barrera, B. y Silvia E. 2009. El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Facultad de ciencias agropecuarias. 7(1). 124-132 pp.
- Bellgard, S.E. 1993. The topsoil as the major store of propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in southeast Australian sandstone soils. *Mycorrhiza*. 3: 19-24.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grave, T. y Malajczuk, N. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and

Cuadro 3. Colonización de raíces del cultivo de caña de azúcar por los propágulos.

Dilución	Suelos		Media de dilución
	CMfl	CMngl	
0	98.6	100	99.3ab [†]
1	100	97.2	98.6ab
2	100	100	100a
3	100	98.6	99.3ab
4	97.2	94.4	95.8ab
5	94.4	97.2	95.8ab
6	88.8	97.2	93.0b
Media suelo	97.0a	97.8a	97.4
CV (%)	5.3		
Prob. De F para:			
Dilución (D)	0.0130**		
Suelo (S)	0.4835 NS		
Int. (D*S)	0.1312 NS		
DMS (D)	6.4		
DMS (S)	2.2		

[†]Medias con la misma literal dentro de lo columna son iguales estadísticamente Tukey ($P \leq 0.05$); ** Efecto altamente significativo, NS No significativo.

- agricultura. Australian centre for international Agricultural Research. 43-135 pp.
- Colozzi, A. e Cardoso, E.J.B.N. 2000. Detecção de fungos micorrizicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalaria cultivada na entrelinha. *Pesqui Agrupecu Brass.* 35: 2033-2044.
- Córdova, G.G., S. Salgado-García, M. Castelán-Estrada, D.J. Palma-López, E. García-Moya, L.C. Lagunes-Espinoza, S. Córdova-Sánchez. 2016. Opciones de fertilización para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) en Tabasco, México. *Agroproductividad* 9(3):27-34.
- Espinosa, V.D., M.D. González, P.J. Plascencia, E.R. García, 2004. Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. *Terra Latinoamericana* 22: 317-326.
- Finlay, R.D. 2008. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany.* 59:1115-1126.
- Graham, J.H., 2001. What do root pathogens see in mycorrhizas?. *New Phytologist* 149: 357-359.
- Guadarrama, P., Sánchez, I., Álvarez, J. y Ramos, J. 2004. Hongos y plantas: beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. *Ciencias.* 73: 38-45.
- Janos, D.P. 1996. Mycorrhizas, succession and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. *In: Frankland, J.C., N. Magan, G.M. Gadd (eds.), Fungi and environmental change.* Cambridge University, Cambridge. 129-162 pp.
- Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., and Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil.* 253: 287-292.
- Khanam, D. 2006. Effect of edaphic factor son root colonization and spore population of arbuscular mycorrhizal fungi. *Bulletin Institute Tropical Agriculture.* 29: 97-104.
- Osorio-Miranda M., Castelán-Estrada M., Gómez-Leyva, J.F. Salgado-García S. y Hernández-Cuevas L. 2013. Hongos micorrizicos arbusculares de suelos de sabana en Tabasco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* 16: 171 - 182.
- Palenzuela, J., Barea, J.M., Ferrol, N. and Azcon, A.C. 2010. *Entrophospora nevadensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Sierra Nevada National Park (southeastern Spain). by The Mycological Society of America, Lawrence, KS 66044-8897. *Mycologia.* 102(3): 624-632.
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society.* 55: 158-162.
- Porter, W.M. 1979. The "Most Probable Number" Method for Enumerating Infective Propagules of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Soil. *Aust. J. Soil Res.* 17: 515-519.
- Requena, N., Pérez, E., Azcón, C., Jeffries, P., Barea, J.M. 2001. Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 495-498.
- Salgado, G.S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L. C., Castelán-Estrada, M., Ortiz-García, C. F., Juárez-López, J. F., Ruiz-Rosado, O., Armida-Alcudia, L., Rincón-Ramírez, J. A. y Córdova-Sánchez, S. 2011. Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *México. REVAIA* 15(3):45-65.
- Salgado, G.S., Jiménez, J.R, Gómez, L.J.F., Castelán, E.M., Payro, C.H. y Osorio M.M. 2014. Diagnóstico del estado micotrofico de HMVA en caña de azúcar en el Ingenio Pdte Benito Juárez. *In: XXXIII Convencion de ATAM, realizada en World Trade Center, Boca del Rio Veracruz.* 11 p.
- Schalamuk, S. and Cabello, M.N. 2010. Effect of tillage system on the arbuscular mycorrhizal fungi AMF. Propagule bank in soils, in *Management of fungal plant pathohens, Arya A. and Parello. A.E., eds., CAB International.* 162-170 pp.
- Schübler, A., Schwarzott, D., and Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research.* 105: 1413-1421.
- Smith, S.E. and Smith, F.A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from celular to ecosystem scales. *Annual Review of plan biology.* 62: 227-250.
- Sylvia, D. 1999. Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: a "Biofertilizer" perspective. *En: SIQUEIRA, J.O et al. (eds.) Inter-relação fertilidade, biología do solo e nutrição de plantas. lavras: sBcs/uFla.*
- Varela, L., D. Trejo, 2001. Los Hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. *Acta Zoologica Mexicana* 1: 39-51
- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil.* 255: 571-586.



The tlacoyo as a food resource, and its relationship with the local tourist offer: Cases Texcoco and Chiconcuac, Mexico

El tlacoyo como recurso alimentario y su relación con la oferta turística local: Casos Texcoco y Chiconcuac, México

Vargas-Cárdenas, Tonantzin¹; Thomé-Ortiz, Humberto^{2*}; Ávalos de la Cruz, Dora A.¹;
Escalona-Maurice, Miguel³; Gómez-Merino, Fernando C.^{3*}

¹Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94946. ²Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. El Cerrillo, Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México. C. P. 50090. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230.

*Autores de correspondencia: hthomeo@uaemex.mx

ABSTRACT

Objective: To evaluate the tlacoyo as a food resource and its relationship with the local tourism offer, its contribution to the welfare of families and the work of women, in the municipalities of Texcoco and Chiconcuac, State of Mexico, Mexico.

Design/methodology/approach: The points of sale of tlacoyos were identified and listed in places with more tourist influx in the municipalities of Texcoco and Chiconcuac, State of Mexico. These municipalities offer two different types of tlacoyos and places of sale. To obtain the population sample it was used the stratified random sampling method, with no replacement for the group of people who make and sell tlacoyos, and simple random sampling for the group of tourists. The population was stratified into four groups according to characteristics and 72 surveys were applied to people who prepare and sell tlacoyos and 72 surveys to tourists.

Results: The tlacoyo was identified as a traditional food that preserves its original ingredients and form of preparation, knowledge that has been inherited from generation to generation. Up to 87% of people who make and sell tlacoyos in the municipalities of Texcoco and Chiconcuac, and 100% tourists consider it a traditional food that is part of the region's cuisine, though its touristic value has not been measured yet. The elaboration and sale of the tlacoyo promotes family unity with the participation and distribution of work among all family members. The participation of women in the elaboration of tlacoyo is 90%; 52% of them are single with social status of widows, single mothers and divorced. Women are the economic support of their families. Tlacoyo is an identity food with the potential to strengthen the local tourism offer that influences the family unit and represents an important income for the livelihood of women.

Limitations on study/implications: We were not able to identify the exact origin of the maize types or races used to prepare the tlacoyos.

Findings/conclusions: The tlacoyo is traditional local food in Texcoco and Chiconcuac, State of Mexico, but its value to boost gastronomic tourism has not been visualized in the studied region.

Keywords: Traditional food, tlacoyo, family unit, women's work, local tourist offer.

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 1, enero. 2020. pp: 67-74.

Recibido: agosto, 2019. **Aceptado:** enero, 2020.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar al tlacoyo como recurso alimentario y su relación con la oferta turística local, su aportación al bienestar de las familias y al trabajo de las mujeres, en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México, México.

Diseño/metodología/aproximación: Se identificaron y enlistaron los puntos de venta de tlacoyos en lugares con más afluencia turística en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México. Estos municipios ofrecen dos tipos diferentes de tlacoyo y lugares de venta. Para obtener la muestra poblacional se usó el método de muestreo aleatorio estratificado sin remplazo para el grupo de personas que elaboran y venden tlacoyos y el muestreo aleatorio simple para el grupo de turistas. Se estratificó la población en cuatro grupos de acuerdo con características particulares y se aplicaron 72 encuestas a personas que elaboran y venden tlacoyos y 72 encuestas a turistas.

Resultados: Se identificó al tlacoyo como un alimento tradicional que preserva sus ingredientes y forma de preparación original, conocimiento que ha sido heredado de generación en generación. El 87% de las personas que elaboran y venden tlacoyos en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, y el 100% de los turistas le han dado el valor para considerarlo un alimento tradicional que forma parte de la gastronomía de la región.

La elaboración y venta del tlacoyo fomenta la unidad familiar con la participación y distribución del trabajo entre todos los miembros de la familia. La participación de las mujeres en la elaboración del tlacoyo es del 90%, siendo el 52% solteras con estatus social de viudas, madres solteras y divorciadas. Se identificó a la mujer como el sustento económico de sus familias. El tlacoyo es un alimento identitario con potencial para fortalecer la oferta turística local que incide en la unidad familiar y que representa un ingreso importante para el sustento de las mujeres.

Limitaciones del estudio/implicaciones: No se pudo identificar el origen de los tipos o razas de maíz usados para la preparación de los tlacoyos.

Hallazgos/conclusiones: El tlacoyo es un alimento tradicional local en Texcoco y Chiconcuac, Estado de México, pero su valor para impulsar el turismo gastronómico no se ha visualizado en la región de estudio.

Palabras clave: Alimento tradicional, tlacoyo, unidad familiar, trabajo de la mujer, oferta turística local.

zonas, además la mayoría de ellas ya no se dedican a la agricultura, lo que ha generado un aumento de los ingresos vinculados al autoempleo y un sostenido crecimiento en las ocupaciones no agrícolas (Senadza, 2012). Los procesos anteriores han contribuido a diversificar las actividades de estas familias por razones de subsistencia con el fin de complementar el gasto familiar. También es importante destacar la participación de las mujeres en las actividades de turismo rural. Según Rico y Gómez (2009), se considera a la mujer rural y su capacidad laboral como elementos imprescindibles en el inicio de nuevas actividades económicas dentro del proceso de diversificación productiva de estas zonas. Dentro de las actividades turísticas rurales la gastronomía forma parte de la nueva experiencia, ya que los turistas, en su mayoría procuran conocer la cultura local, la identidad, comer alimentos autóctonos, probar los platos típicos y todo aquello diferente a lo que están acostumbrados a consumir cotidianamente (Nunes dos Santos, 2007).

El tlacoyo es un alimento de origen prehispánico que formaba parte de la alimentación de los mexicanos. Los antiguos pobladores del Valle de México emprendían largos viajes llevando su itacate (vianda) con tlacoyos. Posteriormente, a la llegada de los españoles el tlacoyo fue parte de su dieta, según lo refiere Fray Bernardino de Sahagún en su "Historia general de las cosas de Nueva España" (1577). El tlacoyo se ha preservado hasta nuestros días y actualmente forma parte importante de la gastronomía mexicana. Barros (2018) reseñó la historia de los tlacoyos y aseguró que a partir del siglo XVI existe evidencia de su consumo en las comunidades prehispánicas.

INTRODUCCIÓN

El turismo rural surge como consecuencia de una revalorización de los espacios rurales, ya que éstos ofrecen contacto directo con la naturaleza e interés antropológico y etnográfico. Algo importante en el turismo rural es que permite obtener fuentes de ingreso alternativas a la agricultura, además de potenciar las demandas de infraestructura y servicios (Fuentes, 2009). Los actores principales dentro del turismo rural son las familias, quienes han tenido que hacer frente a la crítica situación del mercado laboral en estas

A este alimento típico del centro del país se le conoce con distintos nombres según la región de que se trate: puede ser tlacoyo, clacoyo, tlatloyo, tlatoyo o tlatlaoyo.

En la actualidad, el tlacoyo se compone básicamente de una tortilla de maíz con grano de color azul, amarillo o blanco en forma oblonga o romboide, que originalmente se rellena con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). La masa de maíz (*Zea mays* L.) lleva sal y manteca, y se cuece en comal. Hoy en día también se rellena de haba (*Vicia faba* L.), alverjón (*Cicer arietinum* L.), requesón (lácteo), chicharrón (piel de cerdo dorada) y otros ingredientes; y se acompaña de una mezcla de nopales (*Opuntia* sp.), salsa, cebolla (*Allium cepa* L.), cilantro (*Coriandrum sativum*) picado y queso. Este alimento está muy arraigado en las comunidades rurales en donde la combinación de ingredientes varía de acuerdo con el gusto y las costumbres de cada región. Proporciona todo lo que se requiere para una buena dieta ya que contiene carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales (González, 2014). El objetivo de este trabajo fue identificar al tlacoyo como recurso alimentario y conocer el papel que juega este alimento tradicional en la consolidación de la oferta turística local y aportación al bienestar de las familias y al trabajo de las mujeres, en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México (Figura 1). Texcoco ($19^{\circ} 24'$ y $19^{\circ} 33'$ N; $98^{\circ} 38' 99''$ y $02'$ O) a una altitud desde 2200 a 4200 m (SE-DESOL, 2016).

El municipio de Chiconcuac ($19^{\circ} 32'$ y $19^{\circ} 35'$ N; $98^{\circ} 52'$ y $98^{\circ} 55'$ O) a una altitud desde 2200 hasta 2400 m (INEGI, 2009).

En cuanto a la población de estudio, primero se identificaron los lugares con afluencia turística en los municipios de Texcoco

y Chiconcuac, considerando que los territorios cuentan con atractivos turísticos naturales y culturales que son motivo de visita. En estos lugares se encuentran personas que se dedican a la elaboración y venta de tlacoyo. También es posible encontrar turistas o visitantes que llegan de la Ciudad de México, estados colindantes a los municipios y personas de poblados cercanos que hacen turismo gastronómico.

Mediante observación participante se conoció y registró el número de establecimientos que elaboran y venden tlacoyos, y se identificó que estas actividades se llevan a cabo de dos maneras muy particulares: 1) tlacoyo por pieza y 2) tlacoyo por docena: 1) El tlacoyo por pieza es la elaboración y venta de tlacoyos en establecimientos ubicados estratégicamente para que el turista o visitante consuma tlacoyos en el lugar. Su tamaño es regular y lo preparan con salsa, nopales, cebolla, cilantro picado y queso. 2) El tlacoyo por docena es la venta de tlacoyos de menor tamaño al de los ofertados por pieza y se venden en lotes de 12 piezas. Los puntos de venta de este tipo de tlacoyo son a la entrada de los mercados locales, donde se encuentran las señoras con sus canastos.

Para identificar la importancia del tlacoyo como un alimento tradicional, la dinámica de la unidad familiar y el trabajo de la mujer, así como la opinión del turista a

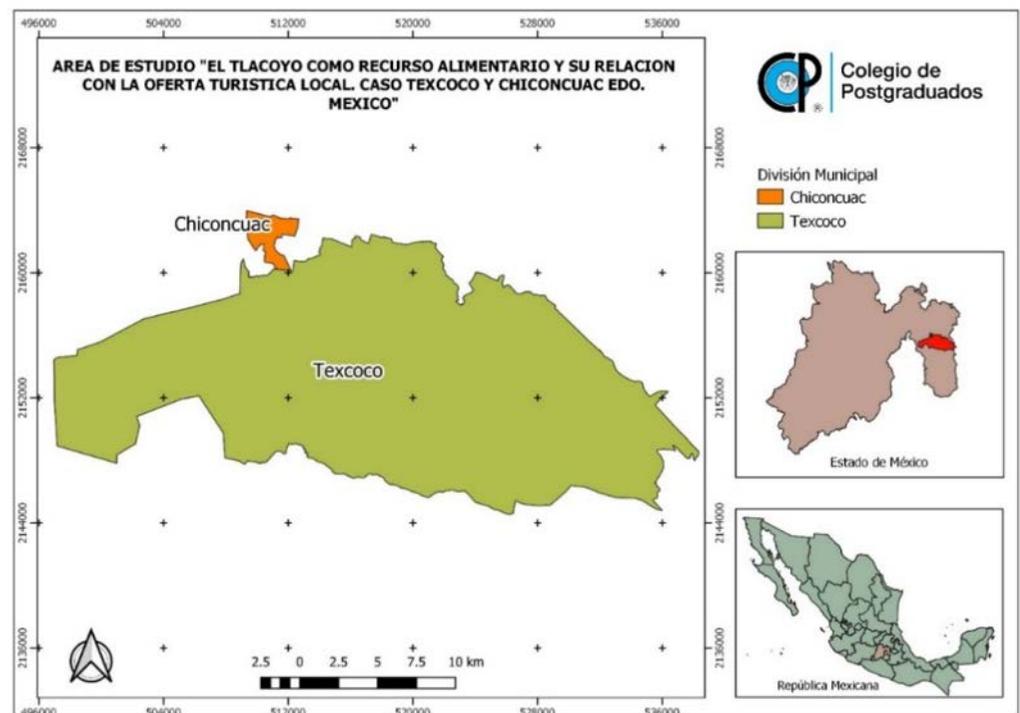


Figura 1. Ubicación geográfica de los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México. Elaboración propia QGIS 3.2, 2019.

cerca del tlacoyo como un atractivo turístico gastronómico, se determinó trabajar con dos grupos de personas; el primer grupo que elabora y vende tlacoyos, y un segundo grupo conformado por turistas consumidores de ambos sexos. Se utilizó el método de muestreo aleatorio estratificado sin reemplazo (Otzen y Manterola, 2017) para el grupo de personas que elaboran y venden tlacoyos y el muestreo aleatorio simple para el grupo de turistas.

La población de 153 establecimientos que elaboran y venden tlacoyos se dividió en cuatro estratos (Cuadro 1), con una muestra poblacional de 72 establecimientos (Cuadro 2):

$$n = \frac{(z_{\alpha/2})^2 \left(\sum_{i=1}^k N_i S_i \right)^2}{N^2 d^2 + (z_{\alpha/2})^2 \sum_{i=1}^k N_i S_i^2}$$

Donde: n es el tamaño de la muestra, Z es la variable estandarizada, N_i es el tamaño de la población y S_i es la desviación estándar. Para determinar el número de la muestra de cada estrato se aplicó la siguiente fórmula:

$$n_i = n \frac{N_i S_i}{\sum_{i=1}^k N_i S_i}$$

Donde: n_i es el tamaño de muestra por estrato, Z es el tamaño de la muestra, N_i es el tamaño de la población y S_i la desviación estándar. Quedando los estratos como se detallan en los Cuadros 1 y 2.

Se elaboraron cinco tipos de encuestas de acuerdo al tipo de tlacoyo, punto de venta (mercados, sitios turísticos y restaurantes) y a turistas de cada uno de los puntos de venta (Figura 2).

Cuadro 1. Asignación de muestra poblacional por estrato en el estudio sobre la producción de tlacoyos en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México.

Estratos	Número de establecimientos Nh	Varianza	Desviación estándar Nn*Sh	Nh*S2h	Asignación Neyman
I	84	96.7	826.3	8127.5	41
II	35	46.8	239.7	1641.1	12
III	21	83.9	192.4	1762.4	10
IV	13	199.8	183.8	2597.4	9
Total	153	427.3	1442.1	14128.6	72

*Margen de precisión 10% y 95% de confiabilidad.

Cuadro 2. Localidades, tipo de tlacoyo de venta y número de entrevistas aplicadas en el estudio sobre la producción de tlacoyos en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México.

Estratos	Localidad	Tipo de tlacoyo	Número de entrevistas por estrato
I	Cabecera Municipal (Col. Centro): Los mercados San Antonio, Belisario Domínguez y la Plaza Central de Abastos de Texcoco (mercado de las vías) y Municipio de Chiconcuac : Mercado Benito Juárez: zona de barbacoa, zona de tlacoyos, zona de pulques y en las calles principales el mercado de ropa.	Por pieza	16
			25
II	Zona de la Montaña : San Jerónimo Amanalco, Santa Catarina del Monte, San Miguel Tlaminca, La Purificación y Parque Nacional Molino de Flores.	Por pieza	12
II	Señoras que venden por docena en el mercado de San Antonio en Texcoco y el mercado Benito Juárez en Chiconcuac.	Por docena	10
IV	Restaurantes ubicados en la Cabecera Municipal de Texcoco	Por pieza	9

La división de los bloques en las encuestas se hizo de acuerdo con la siguiente Información: Señoras que se dedican a la elaboración del tlacoyo; I. Datos de las personas que elaboran tlacoyos (género, edad, escolaridad y estado civil); II. Preparación del tlacoyo como alimento tradicional (años preparando tlacoyos, preferencia del relleno del tlacoyo, día de la semana de mayor venta, temporada con mayor venta); III. El tlacoyo como atractivo turístico gastronómico (conocimiento del tlacoyo como alimento tradicional de la región, lugar de residencia de los comensales); IV. Unidad familiar

y trabajo de las mujeres (número de integrantes de familia, participación de los integrantes de la familia en la preparación, elaboración y venta del tlacoyo, parentesco, ingresos por la venta de tlacoyos, horas de trabajo). Turistas o visitantes I. Perfil sociodemográfico del turista (edad, género y localidad de residencia); II. Motivaciones del turista (motivos de la visita, interés por atractivos turísticos de la región, frecuencia de las visitas); III. El tlacoyo como atractivo turístico gastronómico (conocimiento del tlacoyo como alimento tradicional, si les gustan los tlacoyos, preferencia del relleno de los tlacoyos,

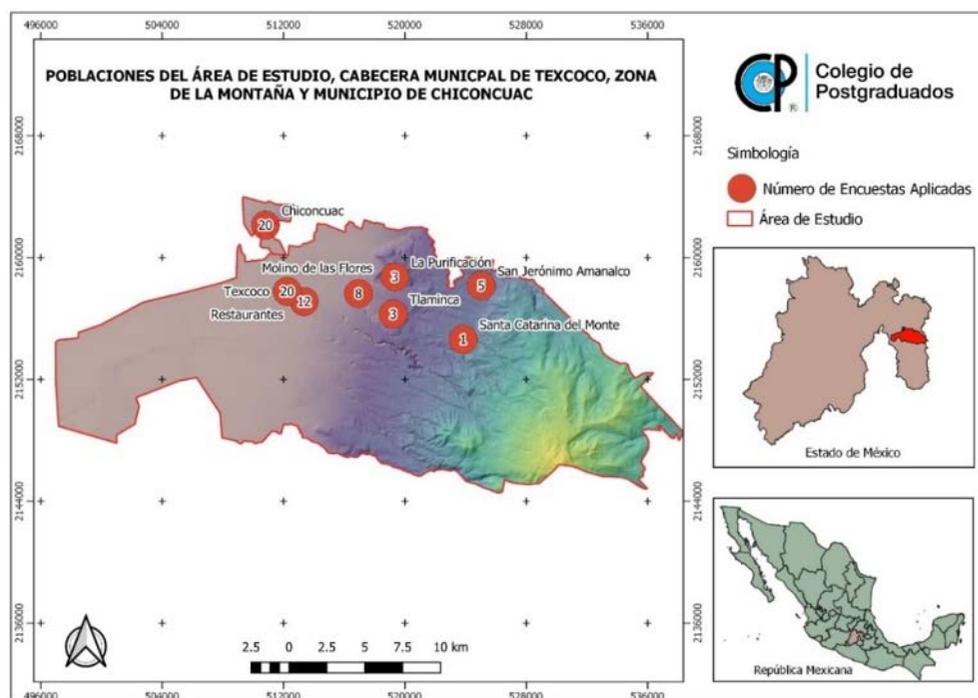


Figura 2. Ubicación de las poblaciones del área de estudio y puntos de venta de tlacoyos en la Cabecera municipal de Texcoco, Zona de la Montaña y municipio de Chiconcuac. Elaboración propia QGIS 3.2, 2019.

eventos a realizarse para la difusión y promoción del tlacoyo). Estos datos se detallan en el Cuadro 3.

Los datos obtenidos se codificaron y tabularon usando cuadros para distribuir las frecuencias absolutas (fa) y la frecuencia relativa (fr). Posteriormente se analizaron utilizando el programa de cálculo de excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Información de las personas que se dedican a la elaboración del tlacoyo (género, edad, escolaridad y estado civil)

Los resultados obtenidos en la investigación muestran que la práctica culinaria diaria de la elaboración y venta de tlacoyos es labor de las mujeres (90%). Un 8% de las señoras dedicadas a esta actividad registraron edad de entre 71 y 80 años, de los cuales llevan entre 43 y

53 años elaborando tlacoyos. En este grupo de personas dedicadas a la preparación y venta de alimentos, el tlacoyo se identifica como un alimento tradicional cuyo conocimiento de elaboración se ha heredado por varias generaciones. La escolaridad de las personas que elaboran y venden tlacoyos va desde el nivel básico hasta el superior, predominando las personas que tienen estudios de primaria. Del total de mujeres que se dedican a esta actividad, el 52% reportó ser solteras con estatus social de madres solteras, divorciadas y viudas, permitiendo con esta actividad ser el sustento económico de sus familias (Figura 3).

El tlacoyo como alimento tradicional

El 87% de las señoras que elaboran y venden tlacoyos expresaron que sus abuelos o padres les han hablado de que la elaboración del tlacoyo tiene muchos años y desde el inicio de su comercialización ha tenido pocos cambios en su preparación e ingredientes, motivo por el que tiene un valor como alimento tradicional y típico de la región, y un 47% de los turistas conoce que es un alimento tradicional (Figura 4a y 4b).

Se identificó que el gusto por el relleno de los tlacoyos en un 98% lo prefieren de frijol, lo cual lo relacionan de igual manera con sus ancestros, además de que algunas familias aún se dedican al cultivo de maíz y frijol, ingredientes que se utilizan en la elaboración del tlacoyo (Figura 5), identificando una tradición de saberes. También se utiliza haba, alverjón, garbanzo, requesón y

Cuadro 3. Bloques de encuestas estructuradas en el estudio sobre la producción de tlacoyos en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México.

No.	Personas objeto de estudio	Localidad
1	Señoras que elaboran tlacoyos por pieza	Cabecera municipal de Texcoco, Zona de la Montaña y Chiconcuac.
2	Turistas en los puntos de venta de tlacoyo por pieza	Cabecera municipal de Texcoco, Zona de la Montaña y Chiconcuac.
3	Señoras que venden tlacoyos por docena	Municipios de Texcoco y Chiconcuac.
4	Dueños y señoras que elaboran tlacoyos en restaurantes	Municipio de Texcoco
5	Turistas en restaurantes de Texcoco	Municipio de Texcoco

chicharrón como ingredientes del relleno.

El turismo gastronómico aparece como un segmento cada vez más importante. Según Saramago (2002) es posible encontrar con mucha frecuencia personas que viajan para "experimentar, degustar y probar nuevos sabores", ya sea en restaurantes, ferias gastronómicas, cenas medievales y otros eventos. Se identificó que el día con mayor venta de tlacoyos en los municipios es el domingo con un 48%, y un 19% los fines de semana en los municipios de Texcoco y Chiconcuac. Sin embargo, el día martes fue relevante para el municipio de Chiconcuac por ser un día de plaza (Figura 6). Se confirma que las razones por las que el turista o visitante elije desplazarse a estos municipios es para disfrutar de la gastronomía, siendo entonces el tlacoyo un elemento de la oferta turística local.

El tlacoyo como atractivo turístico gastronómico y motivación del turista

Se identificaron como atractivos turísticos en los municipios, el Parque Nacional Molino de Flores, monumentos históricos, comida tradicional, zonas arqueológicas, eventos culturales, entre otros. El 42% de los turistas o visitantes eligieron la comida tradicional como experiencia culinaria. 35% de los turistas llegan a los municipios en periodo de vacaciones y el 13% en fin de semana, eligiendo disfrutar de su tiempo libre realizando actividades de recreación en los municipios de Texcoco y Chiconcuac (Figura 7a y 7b).

La mayoría de los turistas que visitan los municipios son del Estado de México (70%) y la Ciudad de México (15%), con una frecuencia de visita

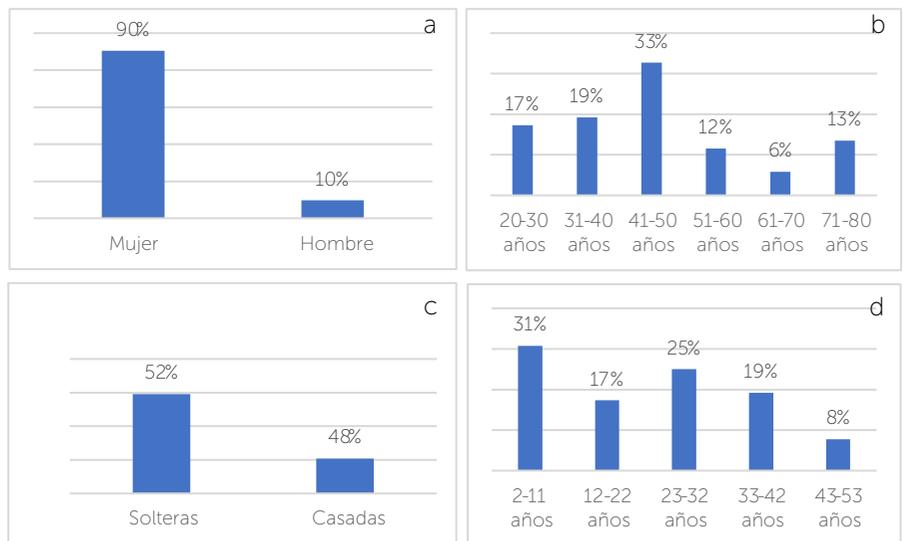


Figura 3. Información de las personas que elaboran y venden tlacoyos en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México. a) Sexo; b) Rango de edades; c) Estado civil de las señoras que producen y venden los tlacoyos; d) Años dedicados a la producción y venta de tlacoyos.

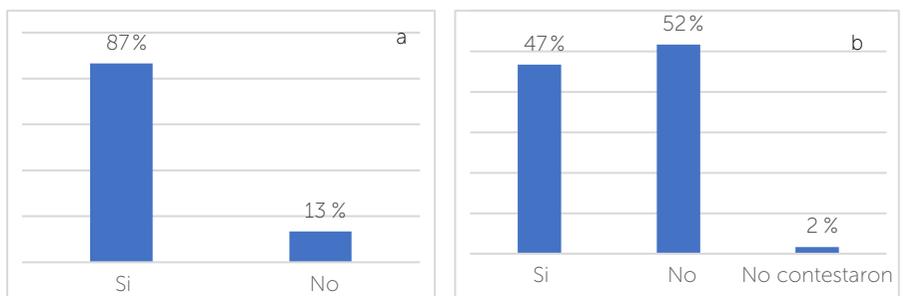


Figura 4. Conocimiento sobre el tlacoyo como alimento tradicional, a) personas que elaboran y venden tlacoyos; b) turistas y visitantes.

mensual de 45%, donde se destaca que se lleva a cabo un turismo regional. Los turistas extranjeros son esporádicos con procedencia de Japón, España, Estados Unidos, Argentina, Brasil, Colombia y Ecuador (comunicación personal) (Figura 8a y 8b).

Se identificó que el poblado La Purificación, Texcoco, le ha conferido valor al tlacoyo como atractivo turístico gastronómico por tres décadas, organizando la Feria del Tlacoyo, incorporando este evento a la oferta turística local. Los resultados corroboran que el tlacoyo si se puede considerar un atractivo turístico gastronómico, con 100% de

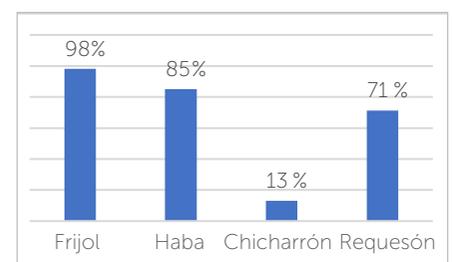


Figura 5. Preferencia mostrada por los comensales y turistas sobre el relleno en los tlacoyos en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México.

los turistas que les gusta consumir tlacoyos.

Unidad Familiar y el trabajo de las mujeres

La elaboración y venta del tlacoyo es un trabajo en conjunto de to-

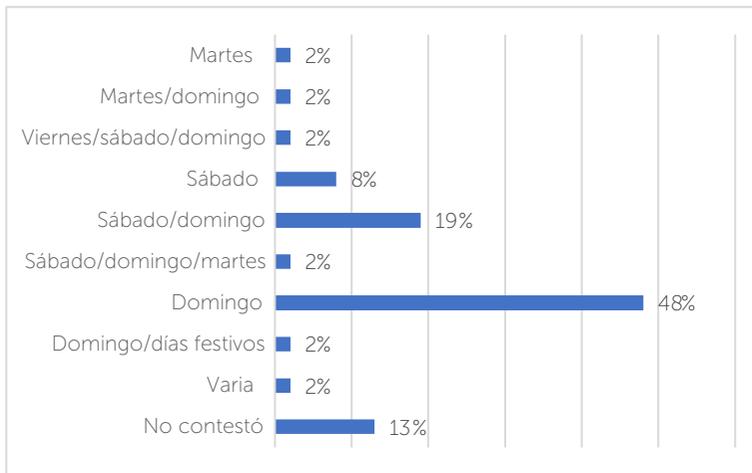


Figura 6. Distribución de la frecuencia de venta de tlacoyos tlacoyos en los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México, durante el año.

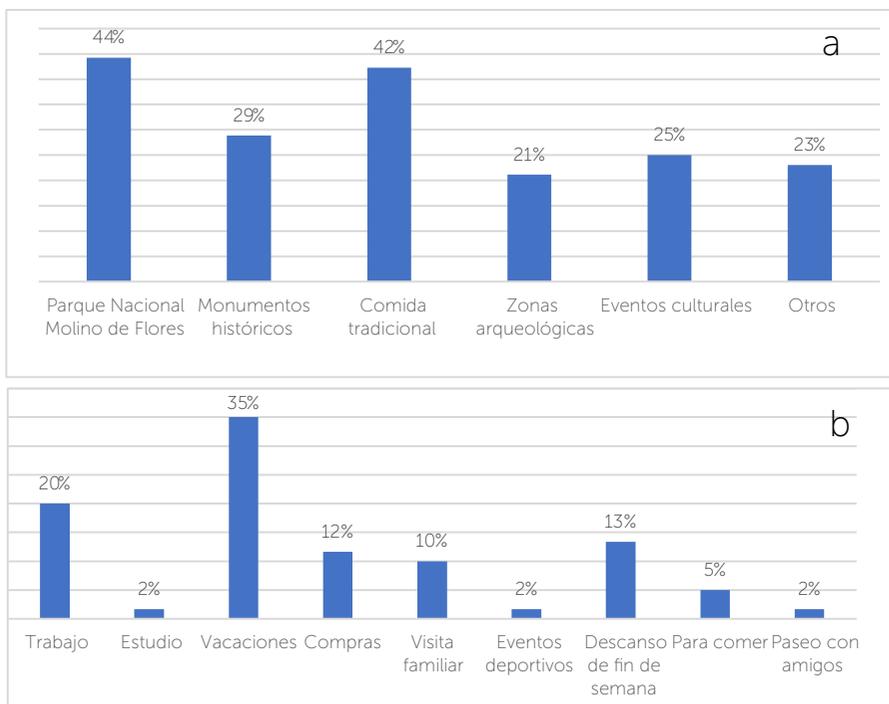


Figura 7. Atractivos turísticos (a) y motivo de visita a los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México.

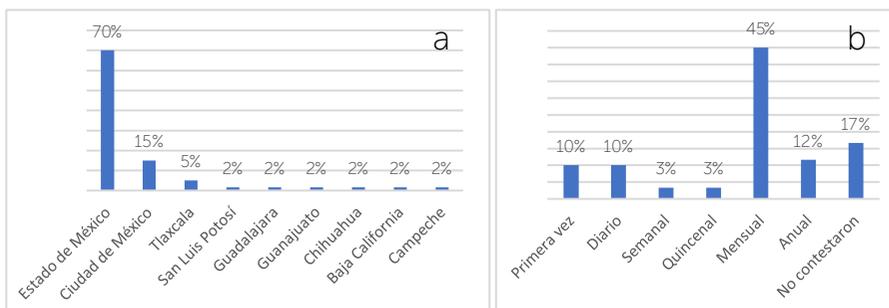


Figura 8. Procedencia de los turistas o visitantes (a) frecuencia de visita a los municipios de Texcoco y Chiconcuac (b) en el Estado de México.

dos los miembros de la familia (esposo, esposa, hermanas, hijas, tías, yernos y nueras), con una participación familiar el 99%, fortaleciendo así la unidad familiar. A cada miembro de la familia le corresponde ayudar en una actividad. La encargada de dirigir las tareas es la esposa o madre de familia. Los ingresos que obtienen las familias con esta actividad ha permitido mejorar la calidad de vida a través de la provisión para educación, salud, alimentación, vestido, transporte y pagos de servicios públicos. El 52% de las mujeres que se dedican a la elaboración y venta de tlacoyo son solteras con un estatus social de madres solteras, viudas y divorciadas. Además, esta actividad permite a las mujeres organizar sus actividades diarias para tener un ingreso económico, estar al pendiente del cuidado de sus hijos y atender sus hogares.

CONCLUSIONES

Los municipios de Texcoco y Chiconcuac, Estado de México, cuentan con atractivos turísticos naturales y culturales que forman parte de la oferta turística, los cuales motivan al turista regional, nacional y extranjero a visitar los municipios principalmente en periodos vacacionales y fin de semana, con el propósito de disfrutar de su tiempo libre. El 83% de los turistas o visitantes buscan consumir alimentos tradicionales en los municipios, considerando entonces al tlacoyo como uno de ellos y parte de la gastronomía local. Los resultados obtenidos de esta investigación permiten afirmar que el tlacoyo es un alimento identitario con potencial para fortalecer la oferta turística local que incide en la unidad familiar y que representa un ingreso importante para el sustento de las mujeres.

LITERATURA CITADA

Barros, C. (12 de septiembre 2018). Investigadores llaman a recuperar el consumo de tlacoyos. La Jornada. p. 41. Página electrónica <https://www.jornada.com.mx/2018/09/12/sociedad/041n3soc>. Fecha de consulta 06/07/2019

- Fuentes, A. (2009). El Turismo Rural en España: terminología y problemas de traducción. *Revista Entreculturas* 1, 469-486.
- Sahagún, B. (1577). *Historia general de las cosas de Nueva España*. Texto manuscrito. Tomo Primero: Libros I – IV. México: Impresión del ciudadano A. Valdés.
- González, J., y Reyes, M. (2014). El conocimiento agrícola tradicional, la milpa y la alimentación: el caso del Valle de Ixtlahuaca, Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola* 52-53, 21-42.
- INEGI. (2019). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario de información geográfica del Estado de México. Página electrónica: [https:// www. inegi.gob.mx](https://www.inegi.gob.mx)
- Nunes dos Santos, C. (2007). Somos lo que comemos. Identidad cultural, hábitos alimenticios y turismo. *Estudios y Perspectivas en Turismo* 16, 234-242.
- Rico, G., y Gómez, J.M. (2009). La contribución de la mujer en la economía rural de Castilla y León. *Cuadernos de Turismo* 16, 175-196.
- Otzen, T. y Manterera, C. (2017). Técnicas de muestreo a una población a estudio. *International Journal of Morphology* 35 (1), 227-232.
- Saramago, A. (2002). Gastronomía, patrimonio y Cultural. In ICEP. *Com os Olhos no Futuro. Reflexões Sobre o Turismo em Portugal*. pp. 15-21.
- SEDESOL. (2016). Catálogo de localidades. Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP. Municipio de Texcoco. Página electrónica <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?ent=15&mun=099> Fecha de consulta 25/12/2019
- Senadza, B. (2012). Non-farm Income Diversification in Rural Ghana: Patterns and Determinants. *African Development Review* 24, 233-244.



Soil organic carbon stocks and ectomycorrhizal abundance under two trees species at Nevado de Toluca, Mexico

Almacén de carbono orgánico del suelo y abundancia ectomicorrízica bajo dos especies de coníferas en el Nevado de Toluca, México

Chávez-Aguilar, Griselda^{1,2}; Burrola-Aguilar, Cristina³; González-Morales, Azucena⁴; Pérez-Suárez, Marlín^{1*}

¹Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR). El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca. Estado de México. México. CP. 50200. ²Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar, Carretera Ojuelos-Lagos de Moreno Km 8.5, Ojuelos de Jalisco, Jalisco, México. CP. 47540. ³Universidad Autónoma del Estado de México. Centro de Investigación en Recursos Bióticos (CIRB). Carretera Toluca-Ixtlahuaca de Rayón, Toluca. Estado de México, México. CP. 50200. ⁴Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Santo Tomás. Ciudad de México, México. CP. 11340.

*Autor de correspondencia: marpersua@gmail.com

ABSTRACT

Objective: to evaluate the effect of two forest species in soil organic carbon (SOC) stocks and ectomycorrhizal abundance (ECM) characterizing the most representative morphotypes ECM under each forest species.

Design/methodology/approach: SOC was determined by the oxide reduction method in soil samples collected at 0-30 cm under individuals of *Pinus hartwegii* and *Abies religiosa*. Ectomycorrhizal roots were extracted of soil to quantify ECM abundance and characterize the morphotypes ECM.

Results: SOC under *P. hartwegii* (219.0 Mg ha⁻¹) was not significantly different from that of *A. religiosa* (211.7 Mg ha⁻¹), but not in the abundance of ECM, which was higher (p=0.000) under *A. religiosa* (43.5%) than under *P. hartwegii* (26.4%). 21 total ECM morphotypes were observed, of which five were common under both forest species.

Limitations on study/implications: it is an initial study that requires subsequent molecular identification of ectomycorrhizal morphotypes.

Findings/conclusions: *P. hartwegii* and *A. religiosa* have the same capacity to storage SOC under their individuals, while ECM abundance was defined by the forest species. Both forest species shared only 28% of total ECM morphotypes observed. This work contributes to knowledge as the first step for identifying the influence of the fungus-tree association on the dynamics of the SOC in temperate forest soils.

Keywords: ectomycorrhizal fungi; ectomycorrhizal morphotypes; high mountain forests

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 1, enero, 2020. pp: 75-82.

Recibido: septiembre, 2019. **Aceptado:** enero, 2020.

RESUMEN

Objetivo: evaluar el efecto de dos especies forestales sobre los almacenes de carbono orgánico del suelo (COS) y la abundancia ectomicorrízica (ECM) caracterizando los morfotipos ECM más representativos bajo cada especie forestal.

Diseño/metodología/aproximación: se determinó el COS mediante el método de óxido reducción en muestras de suelo colectadas a 0-30 cm bajo individuos de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*. Se extrajeron las raíces ectomicorrizadas para cuantificar la abundancia ECM y realizar identificación de morfotipos ECM.

Resultados: El COS bajo *P. hartwegii* (219.0 Mg ha⁻¹) no fue significativamente diferente al de *A. religiosa* (211.7 Mg ha⁻¹), pero no así en la abundancia ECM, que fue mayor ($p=0.000$) bajo *A. religiosa* (43.5 %) que bajo *P. hartwegii* (26.4 %). Se observaron 21 morfotipos ECM en total, de los cuales cinco fueron comunes en ambas especies arbóreas.

Limitaciones/implicaciones: se trata de un estudio preliminar que requiere la identificación molecular *a posteriori* de los morfotipos ECM.

Hallazgos/conclusiones: *P. hartwegii* y *A. religiosa* tienen la misma capacidad para almacenar COS bajo sus individuos, mientras la abundancia ECM estuvo definida por la especie forestal. Ambas especies forestales compartieron sólo el 28% del total de morfotipos ECM observados. Este trabajo contribuye al conocimiento como primer paso para identificar la influencia de la asociación hongo-árbol sobre la dinámica del COS en bosques templados.

Palabras clave: hongos ectomicorrizógenos, morfotipos ectomicorrizógenos, bosques de alta montaña

la formación y el mantenimiento de la diversidad vegetal y estructura de las comunidades forestales. Sin embargo, existen diversos factores que pueden influir sobre esta vía, uno de ellos son las especies forestales (Dijkstra y Fitzhugh, 2003; Hagen-Thorn *et al.*, 2004), dado que ésta influye sobre las propiedades del suelo (estructura y agregación), modificando los almacenes del COS y consecuentemente las asociaciones ECM. Estas modificaciones pueden ir acompañadas por el efecto de otros factores, tales como la temperatura ambiental, humedad del aire, cambios en el pH del suelo, cantidad de MOS, densidad aparente del suelo (Augusto *et al.*, 2002; Berger *et al.*, 2002; Cha *et al.*, 2019), altitud y latitud, e incluso variaciones a lo largo del perfil del suelo (Jobbágy y Jackson, 2000). Lo anterior dependerá de las características intrínsecas en el ecosistema.

Específicamente, el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) del Nevado de Toluca, es una de las Áreas Naturales Protegidas más importantes del Estado de México, sujeta a intensos procesos de deterioro ambiental (Cruz-Ruiz *et al.*, 2012). Esta área, alberga importantes especies forestales, destacando *Pinus hartwegii* Lindl., única especie de pino distribuida sobre los 4,200 m de altitud y adaptada a temperaturas extremas (-30 °C) y *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. *et Cham.*, una especie nativa de México cuyos bosques son considerados como relictos. Ambas especies proporcionan importantes servicios ecosistémicos demandados por la sociedad, tales como la captura y almacén de C en suelos (Jobbágy y Jackson, 2000), y el beneficio socio-cultural de la relación biológica raíz-hongo. En este sentido, es importante conocer qué

INTRODUCCIÓN

Los suelos forestales son el más grande reservorio de carbono (C), como resultado del balance entre el C que entra como materia orgánica al suelo (MOS) a través de la hojarasca y rizodepositación, y el que sale hacia la atmósfera (bióxido de carbono) durante los procesos de respiración (Swift, 2001). La incorporación de C al suelo no sólo se da a través de la producción e incorporación de MOS (Hobbie *et al.*, 2007; Pérez-Suárez *et al.*, 2009), sino a través de las asociaciones ectomicorrízicas (ECM) formadas entre las raíces de aproximadamente 95% de las especies arbóreas y las hifas de hongos ectomicorrízicos (Pérez-Moreno y Read, 2004). Estas asociaciones participan en diversos procesos del suelo (absorción y translocación de nutrientes, protección contra patógenos, mineralización de nitrógeno orgánico, etc.) y pueden recibir hasta 20% del C fijado por los árboles (Clasen *et al.*, 2018). Además, estas asociaciones contribuyen a la dinámica del carbono orgánico del suelo (COS) a través de las redes miceliarias, aumentando la adherencia de las hifas y promoviendo la agregación y estabilización del suelo, con lo cual aumenta el tiempo de residencia del COS en los macroagregados.

Las asociaciones ECM han sido reconocidas como una vía importante en la transferencia e incorporación de COS a los suelos, tienen alto impacto en

papel juegan las especies forestales sobre el COS almacenado y las asociaciones ECM. El presente estudio presenta resultados de un análisis inicial sobre el efecto de *P. hartwegii* y *A. religiosa* sobre los almacenes de COS y, la abundancia ECM a 0-30 cm profundidad, además de identificar los morfotipos ECM mayormente representativos bajo individuos de ambas especies forestales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el APFF del Nevado de Toluca, Estado de México (19° 06' 06" N y 99° 46' 03" W) (Figura 1). La zona presenta un intervalo altitudinal de 2,800 a 4,680 m (Körner y Paulsen, 2004). El 90% de la superficie es dominada por suelos andosoles, el resto por feozem, regosol, cambisol y litosol. Los tipos de clima dominantes son semifrío subhúmedo C(E)wig y frío E(T)Hwig, con temperatura media anual entre -2 a 7 °C. Las lluvias se presentan de mayo a octubre, siendo julio el mes más lluvioso. El rango de precipitación media anual oscila entre 200 a 1,800 mm. El APFF Nevado de Toluca es representativo de varios ecosistemas de clima templado, dominando géneros como *Pinus*, *Abies*, *Quercus* y *Cupressus*. Específicamente, los bosques de *P. hartwegii* constituyen el límite altitudinal de la vegetación arbórea (4,000 m), formando masas monoespecíficas y ecotonos con el pastizal de alta montaña; mientras que los de *A. religiosa* (especie nativa de México) son considerados como relictos, distribuidos a una altitudinal entre 2,800 y 3,400 m, formando un sólo piso vegetal por debajo del bosque de *P. hartwegii* (Jobbágy y Jackson, 2000).

El muestreo fue de tipo aleatorio-estratificado (Matteucci y Colma, 1982), estableciendo cuatro sitios de monitoreo en bosque de *P. hartwegii* y cuatro en el de

A. religiosa. En cada sitio se delimitó un cuadrante de 20×40 m (800 m²) partiendo de tres líneas perpendiculares a la pendiente de 40 m y tres paralelas a los 0, 20, y 40 m. Una línea más fue colocada paralela a la pendiente con distancia de 10 m hacia arriba y hacia abajo. Sobre la primera (0 m) y tercera línea (40 m) fueron seleccionados aleatoriamente dos puntos, uno hacia arriba y otro abajo de la pendiente, muestreando el árbol más cercano, mientras que en la segunda línea (20 m) se tomó un árbol en la parte central del sitio, resultando cinco árboles muestreados por sitio. Estos árboles presentaron condiciones de diámetro, altura y cobertura de copa similares. Paralelamente, se caracterizó cada sitio de muestreo, midiendo altura (clinómetro), diámetro normal (1.30 m de altura; cinta diamétrica), densidad y área basal del arbolado presente; así como exposición (brújula), pendiente (clinómetro) y altitud (GPS) del sitio (Cuadro 1).

Muestreo y análisis físico y químico del suelo

Bajo los árboles de *P. hartwegii* y *A. religiosa* se muestreo un círculo de aproximadamente 5 m de diámetro, dividido en cuatro cuadrantes (C1, C2, C3 y C4) y enumerados en sentido de las manecillas del reloj iniciando en la parte alta de la pendiente. Se tomaron dos muestras de suelo alternando los cuadrantes por árbol de la siguiente manera: en el primer árbol, se muestreo en los cuadrantes nones (C1 y C3), en el segundo árbol en los cuadrantes pares (C2 y C4) y así sucesivamente hasta llegar al árbol cinco. Las muestras de suelo fueron extraídas a 0-30 cm con una barrena de acero inoxidable (5 cm de diámetro). Posteriormente, una de las dos muestras de suelo recolectadas fue secada a temperatura ambiente durante una semana y posteriormente tamizada con una malla de 2 mm, en esta muestra se cuantificaron las variables para la caracterización física y química del suelo, tales como el contenido de humedad (%) en suelo a través del método gravimétrico; densidad aparente (Da) en muestras de suelo no alteradas por el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986) y, contenido de COS (%) y MOS (%) con ayuda del método de óxido reducción (Walkley y Black, 1934).

Abundancia ectomicorrízica y caracterización morfológica de ectomicorrizas

Las raíces totales presentes en la segunda muestra de suelo fueron extraídas con ayuda de un tamiz de 1 mm y lavadas cuidadosamente para eliminar el exceso de partículas de suelo. De esta muestra total de raíces, se extrajo una submues-

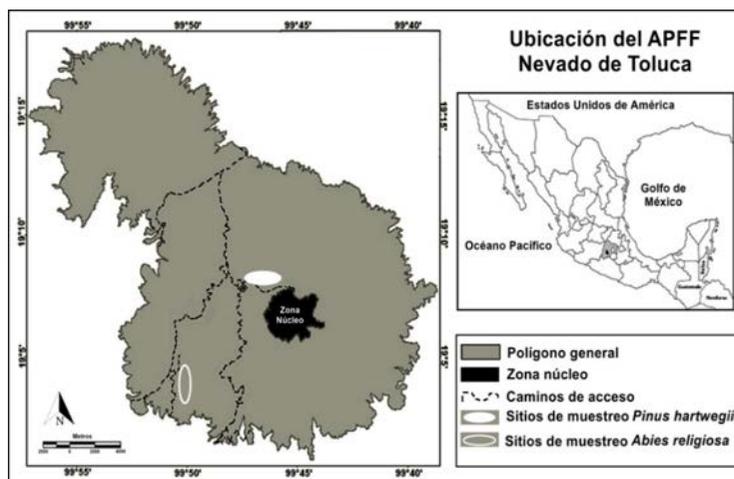


Figura 1. Ubicación geográfica del APFF Nevado de Toluca, mostrando los sitios de muestreo en bosques de *P. hartwegii* y *A. religiosa*.

Cuadro 1. Características fisiográficas y dasométricas de los sitios de estudio en el bosque de *P. hartwegii* y *A. religiosa* en el APFF Nevado de Toluca.

Variable	<i>Pinus hartwegii</i>				<i>Abies religiosa</i>			
	Sitio				Sitio			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Altitud (m)	3,827	3,855	3,924	4,005	3,215	3,805	3,241	3,280
Exposición	SO	SE	SE	E	SO	SO	S	S
Pendiente (°) ¹	12	12	11	12	14	18	14	35
Densidad ²	200	550	325	400	1600	488	700	275
Área basal ³	41	47	62	71	176	59	67	64
DAP (cm) ⁴	49 ⁵ (±3)	26 (±3)	44 (±4)	44 (±3)	31 (±2)	28 (±4)	27 (±3)	50 (±5)
Altura (m) ⁶	21 (±1)	15 (±1)	19 (±1)	18 (±1)	18 (±0)	13 (±1)	17 (±0)	26 (±2)

¹ Pendiente del terreno expresada en grados (°)

² Densidad arbórea expresada en árboles por hectárea (árboles ha⁻¹)

³ Área basal expresada en metros cuadrados por hectárea (m² ha⁻¹)

⁴ Diámetro normal del tronco medido a la altura de 1.30 metros, expresada en centímetros (cm)

⁵ Promedio y error estándar de la media entre paréntesis. Diferencias entre sitios se observan aplicando prueba estadística t student (p≤0.05)

⁶ Altura promedio arbórea expresada en metros (m)

tra (equivalente a una cuarta parte de la muestra total de raíces) para calcular la abundancia ECM (%), con el método de intersección de cuadrantes (Brundrett, 2009). La submuestra fue colocada sobre una caja de Petri (9 cm de diámetro) con una cuadrícula de 1 cm², y con un estereoscopio se contabilizó el número de intersecciones de raíces, considerando en forma separada las ectomicorrizadas (RECM) y las diferentes (RNECM). La abundancia ECM fue calculada a través de la siguiente fórmula:

$$ECM(\%) = \frac{RECM}{(RECM + RNECM)} \times 100$$

Posteriormente, las puntas de raíces ectomicorrizadas fueron separadas y preservadas en alcohol al 70%. Se realizó la identificación morfológica de los morfotipos ECM a través de metodologías estandarizadas (Agerer, 2001; DEEMY, 2004-2018). Para ello, se registraron el color, textura, tipo de ramificación, forma de la terminación de

la punta de la raíz ectomicorrizada. Posteriormente, a estas raíces se les realizaron cortes transversales y longitudinales con ayuda de un criotomo (Leiva Jung 1206), los cuales fueron observados bajo un microscopio óptico. Cuando estas observaciones lo permitieron, se les otorgo identidad (género o nombre científico) a los morfotipos ECM; por el contrario, a los morfotipos no identificados se les asigno una nomenclatura anteponiendo la letra "M" seguida de un número consecutivo.

Análisis estadístico

Los almacenes de COS y la abundancia ECM bajo cada especie forestal fueron comparados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, usando como factor principal la especie forestal y sitio de muestreo. Para comparar las medias entre especies forestales, se realizó una prueba de t (p≤0.05) para muestras independientes. Estos análisis se realizaron con ayuda del paquete estadístico JMP8 (Statistical Analysis System [SAS], 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Almacenes de carbono orgánico en el suelo

Los resultados en los almacenes de COS a 30 cm de profundidad bajo individuos de *P. hartwegii* y *A. religiosa* mostraron un efecto no significativo (p=0.707) de la especie forestal. Derivado de esto, se puede decir que ambas especies arbóreas presentan la misma capacidad para almacenar COS bajo sus individuos (Cuadro 2) a la profundidad evaluada. Al respecto, pocos son los estudios que han registrado diferencias sobre el efecto de especies de coníferas sobre los almacenes de COS (Dijkstra y Fitzhugh, 2003; Hagen-Thorn *et al.*, 2004), resaltando que la especie forestal por sí sola podría no explicar las diferencias, ya que está influenciado por factores climáticos, procesos geológicos, la cobertura vegetal, disponibilidad de nutrientes e incluso, efectos por el cambio climático global, entre otros (Berger *et al.*, 2002; Cha *et al.*, 2019). Adicionalmente, estos estudios fueron realizados en un número relativamente

pequeño de parcelas o rodales forestales, por lo que es difícil llegar a una conclusión única. Diversos estudios han registrado diferencias entre especies forestales e incluso dentro de la misma especie para almacenar COS (Cruz-Flores y Etchevers-Barra, 2011; Vela-Correa et al., 2011; Bolaños-González et al., 2017); los cuales dejan ver que las diferencias intra genéricas podrían generar resultados interespecíficos importantes, dependiendo de las especies forestales, si se considera que todos los estudios se han realizados bajo condiciones semejantes (por ejemplo, de profundidad). Es importante resaltar que en este estudio se obtuvieron valores de COS, tanto bajo *P. hartwegii* como *A. religiosa*, mayores a la de otros estudios (Cruz-Flores y Etchevers-Barra, 2011; Vela-Correa et al., 2011); lo cual resalta que estas especies forestales tienen alta capacidad para almacenar C bajo sus individuos a través de las concentraciones de COS.

Los almacenes de COS dentro de cada especie (por sitio de muestreo) mostró una variación intra específica (dentro de la misma especie forestal), observando diferencias ($p \leq 0.05$) entre sitios de muestreo (Cuadro 3), tanto bajo *P. hartwegii* como *A. religiosa*. Los sitios 3 y 4 fueron los que registraron los valores mayores (almacenes de COS) y mostraron una relación directa con el contenido de humedad en suelo y el de MOS (Cuadro 3). Este comportamiento fue observado también bajo individuos de *A. religiosa*; por lo tanto, a mayor contenido de humedad y de MOS, mayor almacén de COS propiciando mayor estabilidad en los suelos (Hobbie et al., 2007).

Cuadro 2. COS, abundancia ECM, bajo individuos de *P. hartwegii* y *A. religiosa* en el APFF Nevado de Toluca.

Especie forestal	COS (Mg C ha ⁻¹)	Abundancia ECM (%)
<i>Pinus hartwegii</i>	219 (±14) a	26 (±3) b
<i>Abies religiosa</i>	211 (±16) a	43 (±2) a

Abundancia ectomicorrizógena y caracterización morfológica de ectomicorrizas

Los resultados mostraron que la especie forestal tiene efecto sobre la abundancia ECM, con diferencias significativas ($p=0.000$; Cuadro 2), *A. religiosa* presentó la mayor abundancia ECM (43.5 %) en comparación con *P. hartwegii* (26.4%). En cuanto a los morfotipos ECM, se observó que de las 141 raíces micorrizadas en total, 57 pertenecieron a individuos de *P. hartwegii* y 84 a *A. religiosa*; y de este total, 21 morfotipos ECM fueron identificados, de los cuales ocho fueron exclusivos para *P. hartwegii*, ocho para *A. religiosa* y cinco fueron comunes en ambas especies forestales. Es importante mencionar, que aun cuando las características morfológicas y anatómicas no permitieron la identificación de todos los morfotipos, los más representativos en *P. hartwegii* fueron: *Cenococcum geophilum*, *Russula* sp., "M1" y "M16", en *A. religiosa*: *Lactarius* sp., "M3" y "M4"; y los afines a ambas especies forestales: *Cenococcum geophilum*, "M1", "M4" y "M10" (Figura 2), representando 28% del total. La abundancia ECM bajo individuos de *A. religiosa* está directamente relacionada con las características ambientales y edafológicas presentes en este tipo de vegetación; es decir, con un dosel más cerrado y sombrío que el que se presenta bajo individuos de *P. hartwegii*, lo cual impide el

Cuadro 3. Variables fisicoquímicas del suelo (0-30 cm) bajo individuos de *P. hartwegii* y *A. religiosa* en el APFF Nevado de Toluca, México.

Sitio	Abundancia ECM (%)	COS (Mg C ha ⁻¹)	MOS ¹ (%)	Humedad del suelo (%)	Da ² (g cm ⁻³)
<i>Pinus hartwegii</i>					
1	17.40 (±3.66) ³	176.66 (±14.66)	14.40 (±1.10)	39.20 (±1.70)	0.71 (±0.03)
2	32.00 (±4.14)	188.01 (±19.77)	15.40 (±1.10)	42.30 (±3.50)	0.74 (±0.11)
3	19.00 (±4.52)	278.17 (±26.57)	22.80 (±2.20)	52.50 (±3.30)	0.52 (±0.04)
4	37.20 (±6.70)	236.80 (±25.15)	19.40 (±2.10)	44.50 (±1.60)	0.63 (±0.00)
<i>Abies religiosa</i>					
1	44.00 (±3.01)	140.27 (10.79)	11.50 (±0.90)	39.00 (±3.30)	0.68 (±0.05)
2	53.20 (±4.89)	172.67 (31.33)	14.20 (±2.60)	38.90 (±0.90)	0.75 (±0.11)
3	35.20 (±4.68)	281.92 (15.40)	23.10 (±1.30)	45.20 (±1.40)	0.65 (±0.04)
4	41.60 (±3.28)	252.13 (14.13)	20.70 (±1.20)	48.60 (±1.00)	0.77 (±0.11)

¹ Materia orgánica del suelo expresada en porcentaje (%)

² Densidad aparente expresada en gramos por centímetro cúbico (g cm⁻³)

³ Promedios por sitio de muestreo y error estándar de la media entre paréntesis. Diferencias entre sitios se observan aplicando la prueba t student ($p \leq 0.05$)

desarrollo de arbustos y estrato herbáceo conspicuo, fomentando el crecimiento de líquenes y musgos, permitiendo temperaturas más bajas y niveles de humedad más altos y, promoviendo mayor acumulación de MOS (Jobbágy y Jackson, 2000; Pérez-Suárez *et al.*, 2018), resultando en condiciones idóneas para mayor colonización de hongos ectomicorrizógenos (Arteaga-Martínez y Moreno-Zárate, 2006) a diferencia de los bosques de *P. hartwegii*.

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo observado en otros, donde colocan al bosque de *A. religiosa* con mayor biodiversidad y abundancia fúngica (Córdova *et al.*, 2014). Además del hospedero, otros factores que influyen en la diversidad de las ECM son las variables abióticas temperatura, humedad del aire, cambios en el pH del suelo, altitud y latitud, mayor incorporación de MOS al piso forestal y mayor Da del suelo, entre otras (Augusto *et al.*, 2002). Los individuos de *A. religiosa* muestreados se localizan a menor altitud (alrededor de

los 3,200 m) en comparación con a los de *P. hartwegii*, además de mostrar mayor Da del suelo (Cuadro 1) y mayor contenido de humedad del suelo, que son condiciones que favorecen la colonización de hongos ECM. Al respecto, se ha observado que las raíces ectomicorrizógenas y el tipo de hongos ECM de pinos disminuyen por variaciones en la temperatura y precipitación (Valdés *et al.*, 2006), particularmente a través de eventos climáticos extremos que conducen a sequías o anegamientos (Shi *et al.*, 2002).

La comparación de los resultados del presente estudio con otros realizados en México en condiciones *in situ* en bosques templados es muy limitada; resaltando el de Baeza-Guzmán *et al.* (2016), quienes caracterizaron morfológica y genéticamente las ECM asociadas a *P. hartwegii* en el Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz, registrando 14 morfotipos de ECM; mientras Argüelles-Moyao *et al.* (2016) lo hizo en individuos de *A. religiosa* en San Pedro Atlapulco, Estado de México, identificaron 83

especies de hongos ECM asociados a individuos de *A. religiosa*. Lo anterior pone de manifiesto que aun cuando las asociaciones ECM han sido reconocidas como una de las principales vías de transferencia e incorporación de COS en bosques templados (Averill *et al.*, 2014), el conocimiento sobre la diversidad y función de estas asociaciones es limitado tanto en México, como en el resto del mundo. De ahí, que la información obtenida en el presente trabajo significa un primer paso para la subsecuente identificación taxonómica a nivel de especies de hongos ECM asociados a *P. hartwegii* y *A. religiosa* en el Nevado de Toluca y, determinar si existen ECM específicas a cada especie forestal.

CONCLUSIONES

La capacidad de *P. hartwegii* y *A. religiosa* para almacenar COS a 30 cm de profundidad, fue superior a los registrados en otros estudios. Ambas especies presentaron la misma capacidad para almacenar COS; sin embargo, podría haber diferencias



Figura 2. Morfotipos ECM representativos, a 30 cm de profundidad, en individuos de *P. hartwegii* y *A. religiosa* en el APFF Nevado de Toluca, México.

al considerar un mayor número de sitios e individuos muestreados, en conjunto con el efecto que en conjunto crean otros factores como los climáticos, físicos, químicos y biológicos del suelo, entre otros. En cuanto a la abundancia ECM bajo individuos de cada especie forestal fue diferente, con morfotipos diferentes entre ellas, pero en la misma cantidad; mientras los morfotipos ECM que fueron afines entre ambas especies forestales fue un 28% del total de morfotipos observados. Este trabajo contribuye al conocimiento como primer paso para identificar la influencia de la asociación hongo-árbol sobre la dinámica del COS en bosques templados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue financiado parcialmente por los proyectos PROMEP/103.5/13/653.5 y CONACYT-Ciencia Básica No. 219696.

LITERATURA CITADA

- Agerer, R. (2001). Exploration types of ectomycorrhizae. *Mycorrhiza*, 11, 107–114.
- Argüelles-Moyao, A., Garibay-Orijel, R., Márquez-Valdelamar, L.M., & Arellano-Torres, E. (2016). *Clavulina-Membranomyces* is the most important lineage within the highly diverse ectomycorrhizal fungal community of *Abies religiosa*. *Mycorrhiza*, 27(1), 53–65.
- Arteaga-Martínez, B., & Moreno-Zárate, C. (2006). Los Hongos Comestibles Silvestres de Santa Catarina del Monte, Estado De México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(2), 125–131.
- Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D., & Rothe, A. (2002). Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59(3), 233–253.
- Averill, C., Turner, B. L., & Finzi, A.C. (2014). Mycorrhizal-mediated competition between plants and decomposers drives soil carbon storage. *Nature*, 505, 543–545.
- Baeza-Guzmán, Y., Medel-Ortiz, R., & Garibay-Orijel, R. (2016). Caracterización morfológica y genética de los hongos ectomicorrízicos asociados a bosques de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 41–48.
- Berger, T.W., Neubauer, C., & Glatzel, G. (2002). Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in pure stands of Norway spruce (*Picea abies*) and mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 159(1-2), 3–14.
- Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Bulk density. En A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis* (pp. 363–365). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy.
- Bolaños-González, Y., Bolaños-González, M.A., Paz-Pellat, F., & Ponce-Pulido, J.I. (2017). Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 35, 73–86.
- Brundrett, M. (2009). Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 79(3), 473–495.
- Cha, J.Y., Cha, Y.K., & Oh, N.H. (2019). The Effects of Tree Species on Soil Organic Carbon Content in South Korea. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*.
- Clasen, B.E., Silveira, A. de O., Baldoni, D.B., Montagner, D.F., Jacques, R.J.S., & Antonioli, Z.I. (2018). Characterization of Ectomycorrhizal species through molecular biology tools and morphotyping. *Scientia Agricola*, 75(3), 246–254.
- Córdova, C.O., Medel, R., Mata, G., Castillo, R., & Vázquez, R.J. (2014). Evaluación de hongos ectomicorrízicos del grupo de los basidiomicetos en la zona del Cofre de Perote, Veracruz. *Madera y bosques*, 20(1), 97–106.
- Cruz-Flores, G., & Etchevers-Barra, J.D. (2011). Contenidos de Carbono Orgánico de Suelos Someros en Pinares y Abetales de Áreas Protegidas de México. *Agrociencia*, 45(8), 849–862.
- Cruz-Ruiz, A., Cruz-Ruiz, E., Aguilera-Gómez, L., Norman-Mondragón, H., Franco-Maass, S., Nava-Bernal, G., Dendooven, L., & Reyes-Reyes, B. (2012). La biomasa microbiana en suelos de montaña con diferentes usos: un estudio de laboratorio. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 221–228.
- DEEMY (Determination of Ectomycorrhizae). (2004–2018). Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. Ludwig-Maximilians-Universität München, Dept. Biologie I–Systematische Mykologie. Consultado 20-01-2017 en <http://www.deemy.de>
- Dijkstra, F.A., & Fitzhugh, R.D. (2003). Aluminum solubility and mobility in relation to organic carbon in surface soils affected by six tree species of the northeastern United States. *Geoderma*, 114(1-2), 33–47.
- Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., & Nihlgård, B. (2004). The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 195(3), 373–384.
- Hobbie, S.E., Ogdahl, M., Chorover, J., Chadwick, O.A., Oleksyn, J., Zytkowski, R., & Reich, P.B. (2007). Tree Species Effects on Soil Organic Matter Dynamics: The Role of Soil Cation Composition. *Ecosystems*, 10(6), 999–1018.
- Jobbágy, E.G., & Jackson, R.B. (2000). Global controls of forest line elevation in the northern and southern hemispheres. *Global Ecology and Biogeography*, 9, 253–268.
- Körner, C., & Paulsen, J. (2004). A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31, 713–732.
- Matteucci, S.D., & Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Washington, DC, USA: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos-Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Pérez-Moreno, J., & Read, D.J. (2004). Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*, 29(5), 239–247.
- Pérez-Suárez, M., Arredondo-Moreno, J.T., Huber-Sannwald, E., & Vargas-Hernández, J.J. (2009). Production and quality of senesced and green litterfall in a pine-oak forest in central-northwest Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(7), 15, 1307–1315.
- Pérez-Suárez, M., Flores-Navarro, M.A., Martínez-Campos, Á.R., Estrada-Flores, J.G., & Chávez-Mejía, M.C. (2018). Impact of Extensive Grazing on Supporting and Regulating Ecosystem Services of Mountain Soils. *Mountain Research and Development*, 38(2), 125–134.

- Shi, L.B., Guttenberger, M., Kottke, I. (2002). The effect of drought on mycorrhizas of beech (*Fagus sylvatica* L.): changes in community structure, and the content of carbohydrates and nitrogen storage bodies of the fungi. *Mycorrhiza*, 12, 303–311.
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2008). JMP 8.0, Statistical discovery from SAS. Cary, NC, USA: Autor.
- Swift, R.S. (2001). Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*, 166(11), 858–871.
- Valdés, M., Asbjornsen, H., Gómez-Cárdenas, M., Juárez, M., & Vogt, K.A. (2006). Drought effects on fine-root and ectomycorrhizal-root biomass in managed *Pinus oaxacana* Mirov stands in Oaxaca, Mexico. *Mycorrhiza*, 16(2), 117–124.
- Vela-Correa, G., Blanco, J., & Rodríguez, M. (2011). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 77, 18–30.
- Walkley, A., Black, I.A. 1934. An examination of the method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63, 251–263.

