

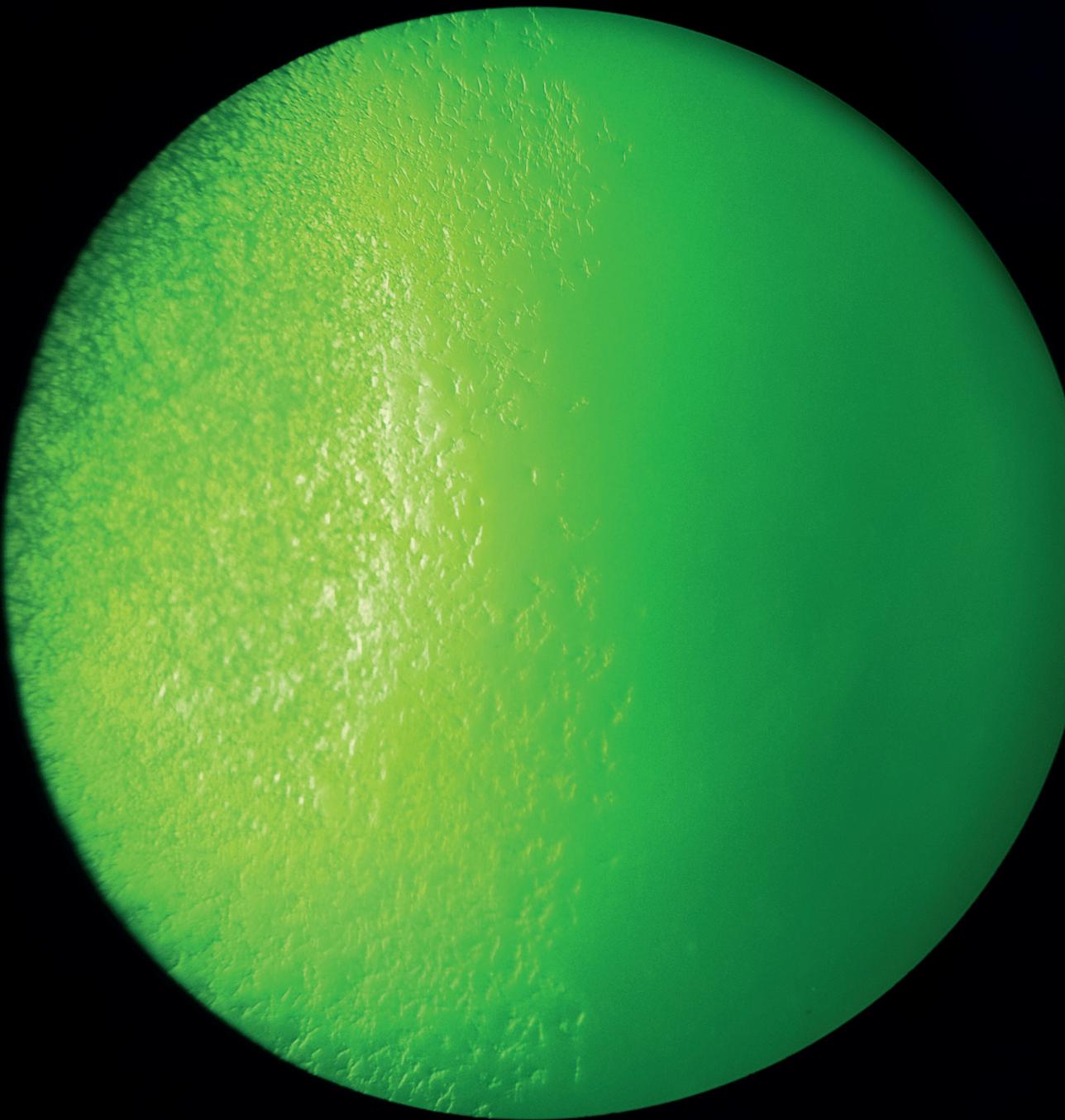
MICOLOGÍA APLICADA EN LAS CIENCIAS AGROPECUARIAS

EDITORES

Abisag Antonieta Ávalos Lázaro • Santa Dolores Carreño Ruiz
Victorio Moreno Jiménez • Rubén Monroy Hernández



FACULTAD MAYA DE ESTUDIOS
AGROPECUARIOS



MICOLOGÍA APLICADA
EN LAS CIENCIAS
AGROPECUARIAS

Septiembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Dr. Carlos F. Natarén Nandayapa

Rector

Dra. María Eugenia Culebro Mandujano

Secretaria General

Dra. Guillermina Vela Román

Secretaria Académica

Dra. María Guadalupe Rodríguez Galván

Directora General de Investigación y Posgrado

Dr. Rubén Monroy Hernández

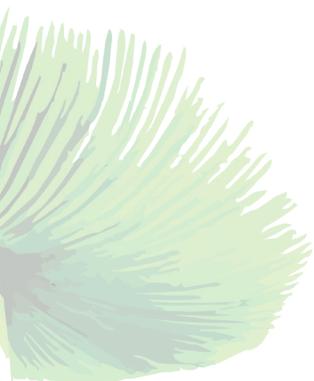
Director de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios

MC. Sergio Ramos Jiménez

**Secretario Académico de la
Facultad Maya de Estudios Agropecuarios**

Dr. Facundo Sánchez Gutiérrez

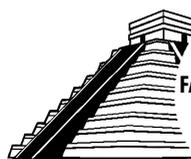
**Coordinador de Investigación y Posgrado de la
Facultad Maya de Estudios Agropecuarios**



MICOLOGÍA APLICADA EN LAS CIENCIAS AGROPECUARIAS

EDITORES

Abisag Antonieta Ávalos Lázaro • Santa Dolores Carreño Ruiz
Victorio Moreno Jiménez • Rubén Monroy Hernández



FACULTAD MAYA DE ESTUDIOS
AGROPECUARIOS

MICOLOGÍA APLICADA EN LAS CIENCIAS AGROPECUARIAS

1ª Edición 2024

Edición:

Abisag Antonieta Ávalos Lázaro, Santa Dolores Carreño Ruiz, Victorio Moreno Jiménez y Rubén Monroy Hernández

Cuidado editorial:

Facultad Maya de Estudios Agropecuarios

ISBN: 978-607-561-261-4

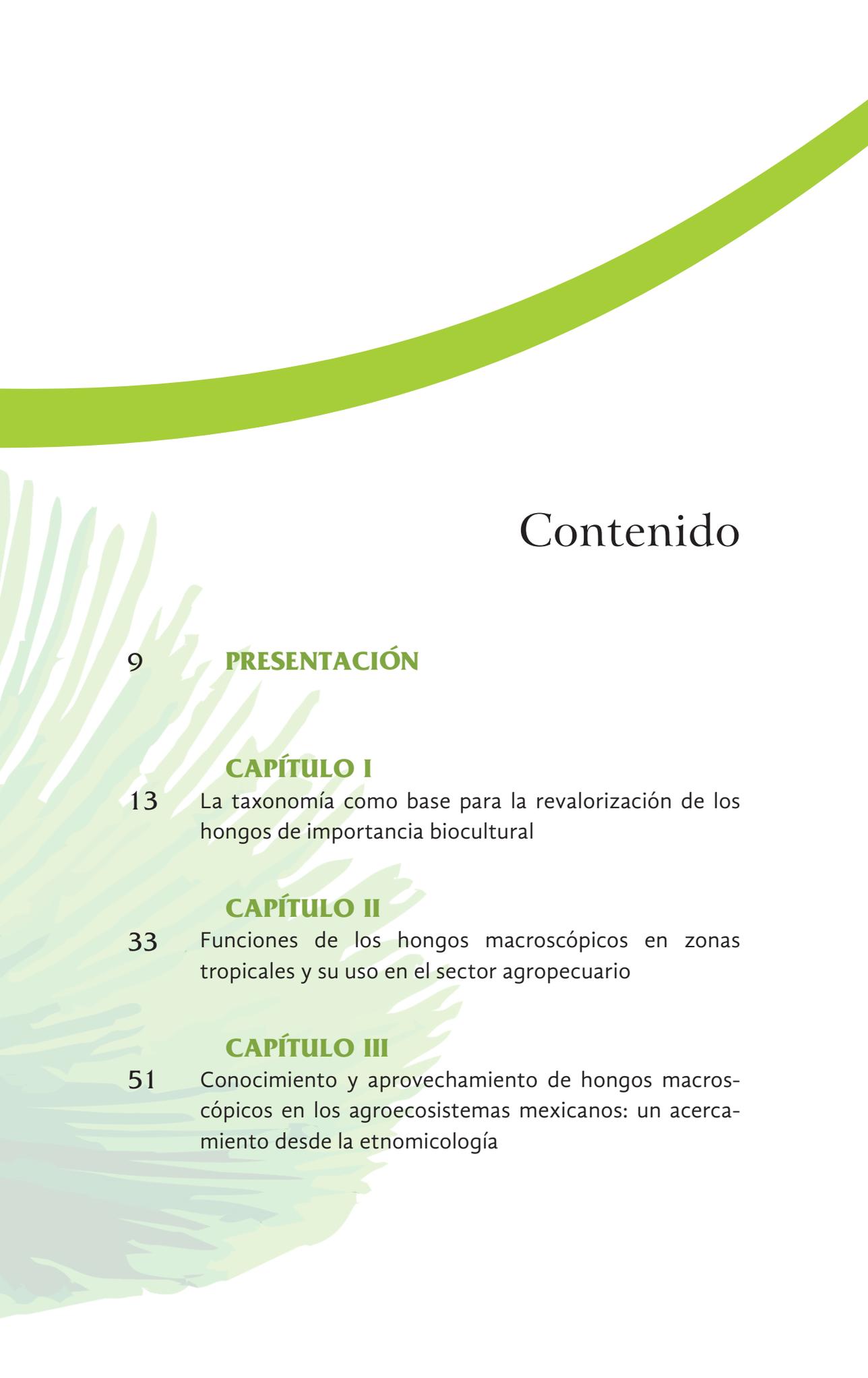
D.R. © 2024 Universidad Autónoma de Chiapas
Boulevard Belisario Domínguez km 1081, sin número, Terán, C. P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana con número de registro de afiliación: 3932.
Miembro de la Red Nacional de Editoriales Universitarias y Académicas de México, Altexto.
Miembro de la EULAC, Asociación de Editoriales Universitarias de América Latina y El Caribe.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación o de la Universidad Autónoma de Chiapas; la información y análisis contenidos en esta publicación son estrictamente responsabilidad de los autores de los capítulos. Se autoriza la reproducción parcial de los textos aquí publicados, siempre y cuando se haga sin fines comerciales y se cite la fuente completa, así como la dirección electrónica de la publicación. La composición de interiores y el diseño de cubierta son propiedad de la Universidad Autónoma de Chiapas. Las fotografías, imágenes y Figuras contenidas en el presente documento son responsabilidad y propiedad de los autores de cada capítulo, con excepción de las especificadas.

Este libro fue sometido a un proceso de evaluación académica y arbitraje estricto a doble ciego por especialistas en la temática y el resultado fue positivo con observaciones y sugerencias que fueron atendidas por los autores.

Editado e impreso en México
Edited and printed in Mexico





Contenido

9 **PRESENTACIÓN**

CAPÍTULO I

13 La taxonomía como base para la revalorización de los hongos de importancia biocultural

CAPÍTULO II

33 Funciones de los hongos macroscópicos en zonas tropicales y su uso en el sector agropecuario

CAPÍTULO III

51 Conocimiento y aprovechamiento de hongos macroscópicos en los agroecosistemas mexicanos: un acercamiento desde la etnomicología

CAPÍTULO IV

- 77 Potencial de la hoja de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) para el cultivo de *Schizophyllum radiatum*

CAPÍTULO V

- 95 Avances en el mejoramiento genético de germoplasma nativo de *Schizophyllum radiatum*

CAPÍTULO VI

- 113 Caracterización de cultivo y actividad nematocida de *Pleurotus spp.*

CAPÍTULO VII

- 139 Antagonismo *in vitro* de dos cepas de *Trichoderma* contra *Rhizopus stolonifer*

CAPÍTULO VIII

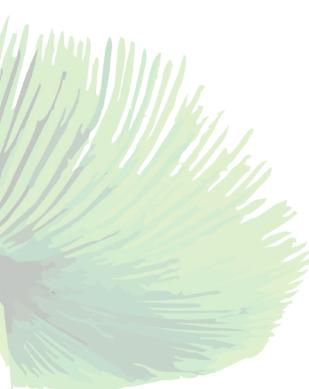
- 157 Hongos con potencial bioherbicida en el control de la maleza acuática *Salvinia natans* L.

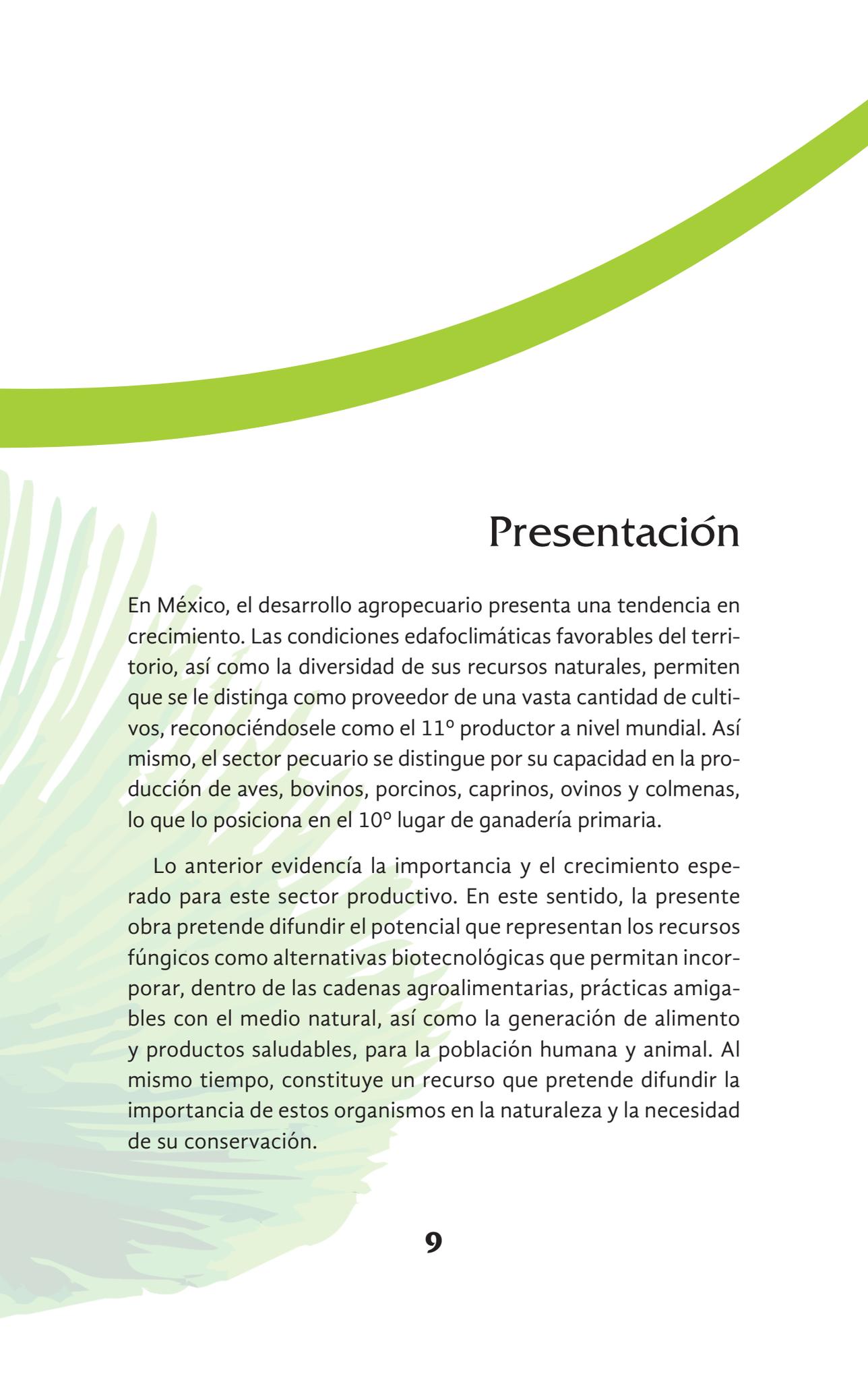
CAPÍTULO IX

- 177 Impacto de la temperatura en la diversidad de los hongos comestibles silvestres del ecosistema Nevado de Toluca

CAPÍTULO X

- 203 Diversidad de hongos lignícolas en ambientes perturbados: Implicaciones agropecuarias





Presentación

En México, el desarrollo agropecuario presenta una tendencia en crecimiento. Las condiciones edafoclimáticas favorables del territorio, así como la diversidad de sus recursos naturales, permiten que se le distinga como proveedor de una vasta cantidad de cultivos, reconociéndosele como el 11º productor a nivel mundial. Así mismo, el sector pecuario se distingue por su capacidad en la producción de aves, bovinos, porcinos, caprinos, ovinos y colmenas, lo que lo posiciona en el 10º lugar de ganadería primaria.

Lo anterior evidencía la importancia y el crecimiento esperado para este sector productivo. En este sentido, la presente obra pretende difundir el potencial que representan los recursos fúngicos como alternativas biotecnológicas que permitan incorporar, dentro de las cadenas agroalimentarias, prácticas amigables con el medio natural, así como la generación de alimento y productos saludables, para la población humana y animal. Al mismo tiempo, constituye un recurso que pretende difundir la importancia de estos organismos en la naturaleza y la necesidad de su conservación.



En México, la micología es una ciencia que se encuentra en desarrollo, para lo que el sector académico realiza esfuerzos a través de prácticas de investigación, mediante las cuales se han constatado los beneficios de la micología aplicada en temas relacionados con la agronomía, la seguridad alimentaria, la agroindustria, la agroforestería y la medicina veterinaria y zootecnia, entre otras, lo que hoy hace posible acercar estas experiencias a estudiantes, profesores y todos aquellos interesados en desarrollar alternativas para una producción sustentable.

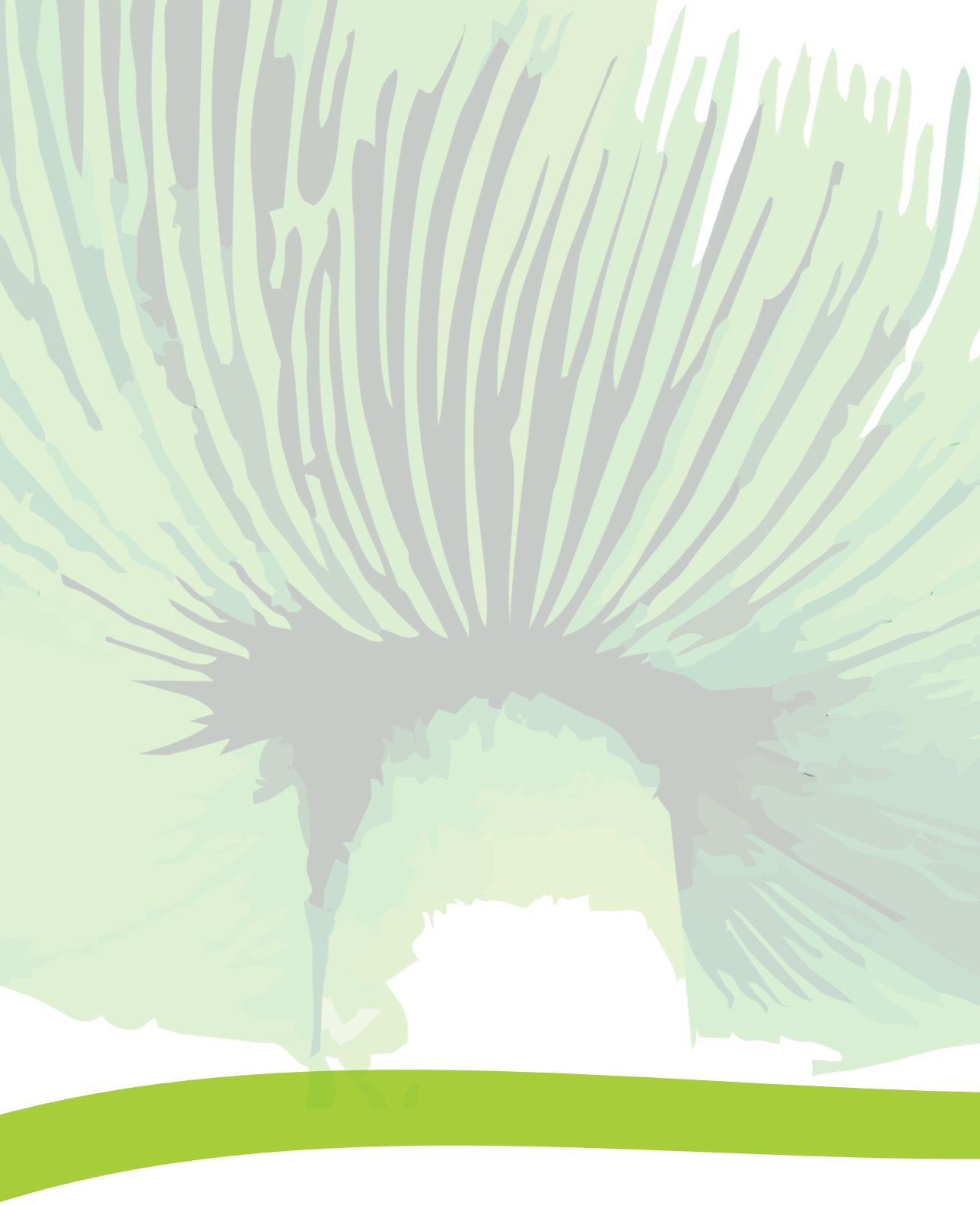
El recurso micológico es aprovechado por nuestros pueblos originarios desde tiempos inmemoriales y es deber de las y los investigadores rescatar y revalorizar estos saberes. Razón principal que motiva las investigaciones etnomicológicas, mismas que incentivan la producción de especies nativas comestibles, así como el aprovechamiento de sus metabolitos secundarios para el tratamiento de enfermedades y elaboración de productos alimentarios o no alimentarios.

Por otra parte, los hongos en el medio natural proveen funciones de regulación y soporte, lo que permite aprovecharlos como biorremediadores, en el control de plagas, como herramienta para potenciar la incorporación de materia orgánica al suelo, como auxiliares en la nutrición agrícola, así como en la propagación y establecimiento vegetal.

Además, en los últimos años se han desarrollado aplicaciones como alternativas para la nutrición y desparasitación animal, fortaleciendo la calidad nutritiva y digestibilidad de forrajes, lo que posibilita la innovación de nuevas dietas suplementadas con micelio de hongos. A este aprovechamiento se suma el reciclaje y reutilización de subproductos derivados de la actividad agropecuaria y forestal, ejemplo de ello es el aprovechamiento de fibras derivadas de la industria de la palma de aceite, el bagazo de la caña de azúcar y maíz entre otros.

Por lo anterior, este libro constituye un esfuerzo interinstitucional y colaborativo del sector académico que tiene la finalidad de impulsar el desarrollo de la micología aplicada en las ciencias agropecuarias en México, reuniendo la experiencia de profesores investigadores de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Universidad Politécnica del Centro (UPC), entre otros.





CAPÍTULO I

La taxonomía como base para la revalorización de los hongos de importancia biocultural

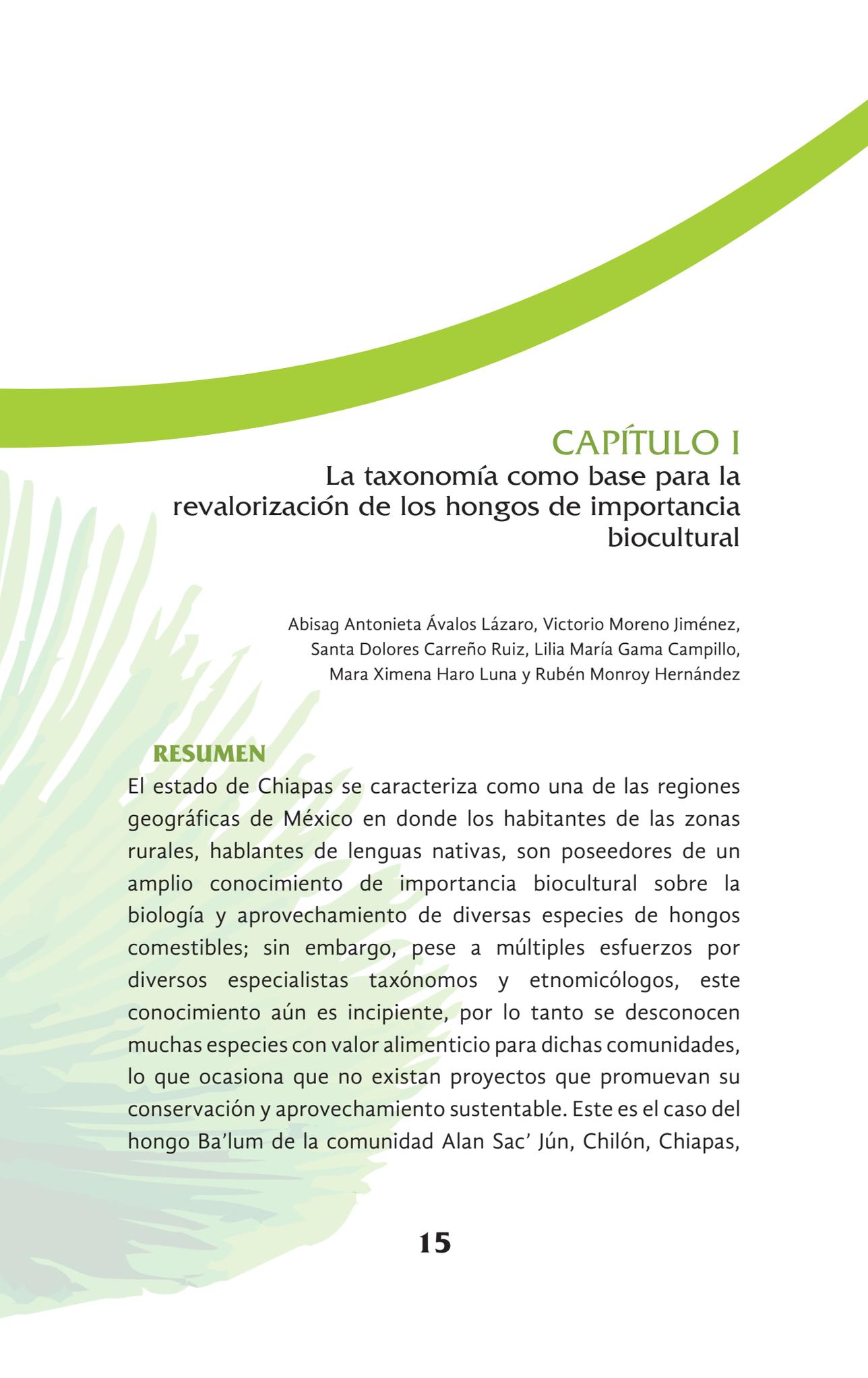
Abisag Antonieta Ávalos Lázaro^{1*},
Victorio Moreno Jiménez¹, Santa Dolores Carreño Ruiz¹,
Lilia María Gama Campillo³, Mara Ximena Haro Luna²
y Rubén Monroy Hernández¹

¹ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios.
Carretera Catazajá-Palenque Km. 4 Chiapas. C.P. 29980. Cel: 916 1000 736
*abisag.avalos@unach.mx.

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias - Universidad
de Guadalajara. Camino Ramón Padilla Sánchez No. 2100 Nextipac, Zapopan,
Jalisco C.P.45200.

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas,
Villahermosa, Tabasco, km 0.5. CP. 86150 Tel. (993) 3581500 Ext. 6400.





CAPÍTULO I

La taxonomía como base para la revalorización de los hongos de importancia biocultural

Abisag Antonieta Ávalos Lázaro, Victorio Moreno Jiménez,
Santa Dolores Carreño Ruiz, Lilia María Gama Campillo,
Mara Ximena Haro Luna y Rubén Monroy Hernández

RESUMEN

El estado de Chiapas se caracteriza como una de las regiones geográficas de México en donde los habitantes de las zonas rurales, hablantes de lenguas nativas, son poseedores de un amplio conocimiento de importancia biocultural sobre la biología y aprovechamiento de diversas especies de hongos comestibles; sin embargo, pese a múltiples esfuerzos por diversos especialistas taxónomos y etnomicólogos, este conocimiento aún es incipiente, por lo tanto se desconocen muchas especies con valor alimenticio para dichas comunidades, lo que ocasiona que no existan proyectos que promuevan su conservación y aprovechamiento sustentable. Este es el caso del hongo Ba'lum de la comunidad Alan Sac' Jún, Chilón, Chiapas,

una especie comestible muy apreciada para ellos, que solo se encuentra disponible en una época del año, cuyo conocimiento hasta ahora no se había documentado, por lo que se considera un recurso altamente vulnerable ante las presiones sociales y ambientales por actividades antropogénicas, así mismo, de este recurso no se ha desarrollado información para su preservación y aprovechamiento racional, por lo que el presente capítulo pretende difundir la importancia de la taxonomía en el desarrollo de investigaciones de especies con valor biocultural, a través del estudio de caso del hongo Ba'lum y la comunidad de Alan Sac' Jún, como iniciativa realizada por el Grupo Colegiado de Investigación Biotecnología Agropecuaria Sustentable del Trópico (BAST), adscrito a la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas.

INTRODUCCIÓN

La taxonomía se define como la ciencia que nombra y clasifica a los organismos. El reconocimiento de las especies permite su uso o aplicación en muchos campos de interés, tales como las ciencias agropecuarias, a fin de propiciar la sustentabilidad y facilitar el comercio o el desarrollo de nuevos productos industriales (Smith *et al.*, 2011). Una correcta identificación es fundamental para todas las aplicaciones biotecnológicas, así como para tener la certeza de trabajar con la especie deseada (Lyal *et al.*, 2008).

Por lo que esta ciencia permite el reconocimiento de especies que previamente han sido validadas para, de esta manera, acceder a su aprovechamiento potencial como alimentos, medicinas, biofertilizantes, bioinsecticidas y biorremediación, entre otros. Además de ello, permite generar colecciones biológicas bien clasificadas e identificadas, lo que facilita el desarrollo de investigaciones para obtener mayores logros en cuanto a su rendimiento (en términos de producción).

El principio anterior también se aplica en los grupos de organismos que se encuentran integrados en un complejo de especies, donde es indispensable acudir a la taxonomía y a otros campos del conocimiento que ayuden a complementar su información, principalmente cuando se desea diversificar el mercado o desarrollar programas de mejora genética, asegurando que las especies dentro de los complejos sean visibilizadas para su manejo, aprovechamiento y conservación (Rojas Ramírez, 2013; Rúa Giraldo, 2023).

Así mismo, en los hongos se hace necesaria su correcta corroboración taxonómica debido a que presentan una enorme plasticidad relacionada con los factores ambientales del medio en el que se desarrollan, es posible que muestren diferencias en cuanto a sus características organolépticas, la velocidad de producción, tipos de metabolitos, su morfología y su resistencia, en basidiomas o a nivel de cepas de una misma especie, lo cual llega a tener un impacto directo en las características deseadas para la producción y su aceptación en el mercado (Rúa Giraldo, 2023).

Otra razón se atribuye al marco legal regulatorio para los organismos fúngicos sujetos de consumo. Aunque en países como México, la legislación para hacer uso de dichos recursos no es del todo clara, en los países que presentan una mayor demanda para la introducción de los hongos frescos o los productos elaborados a base de hongos, y que posiblemente representan el mayor nicho de mercado para las exportaciones (por ejemplo en Estados Unidos de América y el continente Europeo), existen ordenamientos que otorgan prioridad a la información taxonómica de especies dirigidas a dicho mercado, principalmente por las repercusiones en cuanto a la salud, por lo que un productor que no cuente con dicha validez tendrá problemas al momento de incursionar en los sectores del comercio internacional (Benítez Badillo *et al.*, 2013).



Así mismo, la apropiación de patentes y el uso adecuado de los nombres de las especies, constituye un problema que ha sido escasamente abordado por parte de la legislación existente para la apropiación de los recursos genéticos de importancia comercial, cuando no se recurre al conocimiento taxonómico se suelen cometer errores en la difusión de la especie sujeta de aprovechamiento comercial, lo cual llega a tener repercusiones en los consumidores que se confunden y no saben en sí cual es la especie que se está promoviendo en el mercado de los productos elaborados a base de hongos (Benítez Badillo *et al.*, 2013, Colauto y Linde, 2012 y Colauto *et al.*, 2002).

Lo anterior es de importancia debido a que los hongos, por su potencial alimenticio, medicinal y tintóreo son ampliamente utilizados por los pueblos indígenas de todas las regiones de México y Latinoamérica. El estado de Chiapas no es la excepción y se ha demostrado que los habitantes de las zonas rurales, hablantes de lenguas nativas, son poseedores de un amplio conocimiento de importancia biocultural sobre la biología y aprovechamiento de las especies fúngicas (Ruan Soto, 2012), que podrían constituir una alternativa comercial.

Para el Estado, los esfuerzos de identificación de especies de importancia biocultural se han centrado en los altos de Chiapas, donde predomina el clima templado (Ruan Soto *et al.*, 2021a; 2012; Sheppard *et al.*, 2008), sin embargo, se han realizado investigaciones para rescatar los saberes de la comunidad lacandona, donde predomina el clima tropical (Ruan Soto *et al.*, 2021b; 2009; 2007). Pese a los avances logrados con los estudios etnomicológicos, el desconocimiento de hongos de importancia ecológica, alimentaria, medicinal y económica continúa, por lo que es urgente propiciar el desarrollo de estudios que sigan contribuyendo a este conocimiento.

Por lo anterior, es importante la determinación taxonómica y el rescate de saberes, en este caso sobre la especie conocida

localmente como Ba'lum. Para este hongo no existen reportes previos en la literatura acerca de su identidad taxonómica ni el registro de su comestibilidad, sin embargo, esta especie es un recurso muy valorado para la comunidad de Alan Sac' Jún, Chilón, Chiapas, que espera anualmente su fructificación para ser colectada para autoconsumo y comercialización local.

Es un recurso que forma parte de su gastronomía tradicional y de su cultura de consumo habitual junto con otros productos generados en el campo. Aunado a ello, dada la amplia distribución del grupo étnico tseltal en la región montañosa de Chiapas y algunas partes del sur de Tabasco (específicamente en la subregión de los Ríos), es de esperarse que este recurso esté siendo aprovechado por otras comunidades del medio rural en el Sur de México. Sin embargo, la ausencia de publicaciones sobre este recurso aumenta su vulnerabilidad ante los cambios sociales, como la falta de apropiación de conocimiento por los jóvenes de la localidad y las presiones ecológicas sobre el ambiente, tales como la deforestación o la sustitución de vegetación natural a causa de otros cultivos de interés agroindustrial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La comunidad de Alan Sac' Jún se ubica entre las coordenadas UTM 600098.21 latitud oeste y 1903765.32 latitud norte, a una altura de 579 msnm y con 1782 habitantes, lo que la vuelve la comunidad más poblada del municipio de Chilón, Chiapas. Pertenecce a la región socioeconómica XIV Tulijá Tseltal. Se encuentra en la región Grijalva-Usumacinta donde predomina el clima cálido húmedo, con abundantes lluvias en el año (INEGI, 2010).

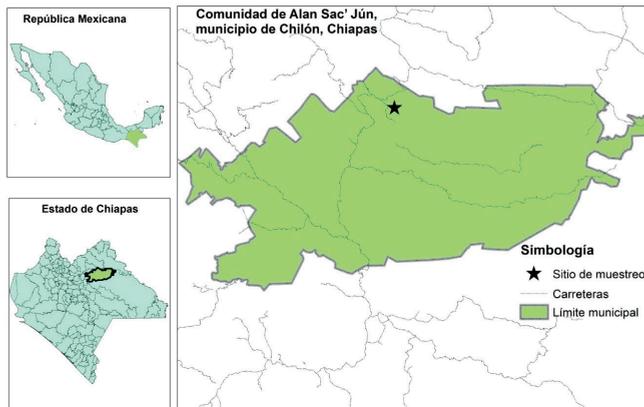
Por lo que respecta al paisaje, se caracteriza por la presencia de una matriz de cultivos y pastizales, así como pequeños parches remanentes de selva alta perennifolia y acahuales (Figura



1). La vegetación dominante en dichos remanentes se representa por *Manilkara zapota* (chicle), *Cordia alliodora* (bojon), *Bursera simaruba* (palo mulato), *Cedrela odorata* (cedro), *Swietenia macrophylla* (caoba), *Castilla elastica* (hule), *Terminaria amazonia* (canshan), *Dialium guianense* (guapaque), *Vatairea lundelli* (tinco), *Brosimum alicastrum* (ramón), *Inga oerstediana* (guatope), *Inga vera* (chelele), *Blepharidium guatemalense* (popiste), entre otros. En esta comunidad se realizan actividades primarias para su mantenimiento, principalmente policultivos de maíz, frijol, calabaza, mostaza, entre otros y actividades pecuarias para la producción de animales de traspatio y ganadería. Esta información se deriva del levantamiento florístico de las zonas aledañas a cargo del Dr. Victorio Moreno Jiménez, quien también fungió como traductor de las entrevistas en la localidad.

Figura 1

Ubicación del área de muestreo, Alan Sac' Jún, Chilón, Chiapas.



Elaborado por: Alex Ricardo Ramírez García.

Documentación de saberes

Este trabajo se realizó desde una perspectiva de investigación tanto inductiva como hipotético deductiva, con métodos y herramientas cualitativas. Para lo cual se identificaron a

colaboradores clave por medio del método de bola de nieve, descrito por Noy (2008), a quienes se realizaron entrevistas informales y semiestructuradas con preguntas destinadas a profundizar y comprender aspectos relacionados con el conocimiento micológico tradicional y la lógica de pensamiento. En las entrevistas se abordaron temas como fenología, taxonomía, ecología, manejo, sistemática local y gastronomía.

Así mismo, se realizaron cinco recorridos etnomicológicos en compañía de los colaboradores para coleccionar la especie de interés, durante los meses de junio a agosto de 2022.

Colecta de especímenes

La colecta de los hongos se realizó dentro de cultivos de maíz de roza, tumba y quema. Todos los ejemplares encontrados durante las colectas fueron fotografiados y posteriormente colectados cuidadosamente con la ayuda de una navaja, para su transporte se colocaron en contenedores especiales de plástico con compartimentos de diversas capacidades, finalmente se trasladaron a las instalaciones de la Unidad Experimental de Plantas y Hongos de interés agroindustrial de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios.

Descripción y herborización de los especímenes

Los ejemplares colectados fueron descritos siguiendo los criterios establecidos por Largent (1986). La descripción de estos caracteres permitió la elaboración de etiquetas de reconocimiento macroscópico de cada organismo, misma que incluye cada una de las características macroscópicas para su identificación. Para la descripción de la coloración de los componentes de los ejemplares fúngicos, se empleó la guía de colores de Küppers (2006). Para la herborización de los especímenes se usó una deshidratadora de frutos Nesco® Gardenmaster® FD-101,



donde se colocaron los ejemplares junto con su etiqueta de descripción durante 12 h a 75°C.

Determinación de los ejemplares colectados

La determinación se realizó con base en sus caracteres macroscópicos y microscópicos. Los caracteres macroscópicos se tomaron de las etiquetas descriptivas y fotografías obtenidas previamente. Por otra parte, los caracteres microscópicos se obtuvieron por medio de la metodología propuesta por Largent *et al.* (1977) que implica la creación de preparaciones de muestras de tejido fúngico para su observación. Una vez descritos los caracteres microscópicos se emplearon claves taxonómicas, manuales, libros y literatura especializada para la correcta determinación de la especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Taxonomía

Derivado de las cinco visitas realizadas a la comunidad de Alan Sac' Jún se reporta al hongo macroscópico Ba'lum como recurso de importancia cultural y gastronómica. Esta especie pertenece al género *Hygrocybe* (Fr.) P. Kumm. 1871 (12, 746 especies descritas), dentro del orden Agaricales (17 familias) y la familia *Hygrophoraceae* Litsy 1907 (24 géneros) (Kirk, 2023).

Las especies dentro de este género se caracterizan por sus colores brillantes, generalmente con tonalidades rojas, amarillas, verdes y en algunos casos negros. Su nombre proviene del griego *hygrós* (húmedo o glutinoso) y *kýbe* (cabeza o píleo), que describe la principal característica del género que es el carácter glutinoso de su píleo. Cabe destacar que no todas las especies lo presentan (Rea, 1992).

Por su parte, Ba'lum presenta píleos umbonados, cónicos, campanulados a planos que varían del color naranja (N00, A99,

M99) a amarillo claro (N00, A10, M00) cuando están cubiertos. Sus píleos van de 20 a 35 mm, frágiles, con textura lisa y glutinosa, cuando se secan, el píleo se estría con márgenes ondulados a erodados. Himenio con láminas libres a ligeramente adnatas, blancas muy juntas con borde erodado a ventricoso. Estípite cilíndrico de 40 a 70 mm x 4 a 5 mm, hueco de color blanco o ligeramente amarillento cuando son pequeños, superficie estriada a fibrosa, con olor y sabor a marisco (Figura 2).

Figura 2

Morfología de la especie *Ba' lum*, a y d) píleos campanulados a cónicos, b y c) píleos planos a umbonados.



Fuente: Abisag Antonieta Ávalos Lázaro.

Ecología: son especies solitarias a gregarias, terrícolas, con primordios que emergen del suelo posterior a la actividad de roza, tumba y quema en ecosistemas de milpa, lo que sugiere que el fuego estimula y promueve la fructificación de estos hongos. Lo anterior puede ser explicado por la resistencia de sus esporas, lo que permite soportar los efectos del fuego como lo sugiere Buscardo *et al.* (2009). Así mismo, esta especie presenta evidencia de ser formadora de micorrizas con el

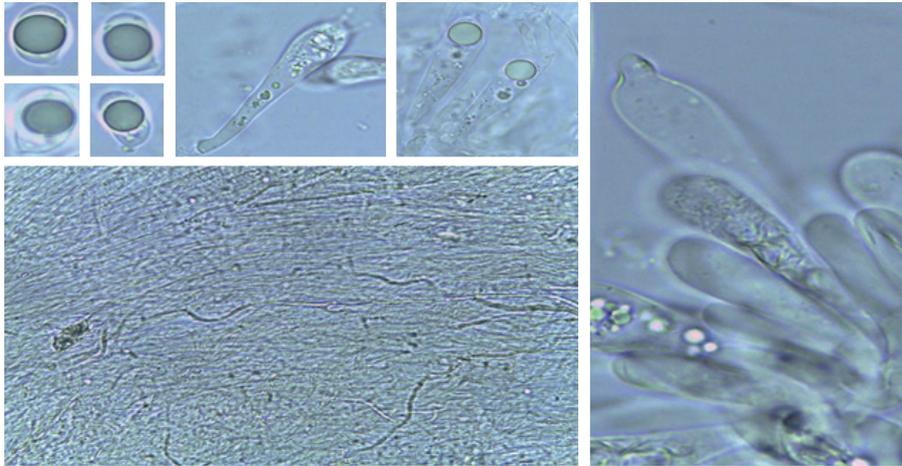


maíz, como lo sustentan los estudios de Fernández de Ana Magán (2000) y Devia Grimaldo *et al.* (2022), quienes reportan que las actividades de fuego controlado estimulan la producción de basidiomas de especies micorrízicas contrario a lo que ocurre con especies saprobias.

Microscopía: esporas hialinas elípticas, lisas, unigutuladas con apéndice hilar prominente, basidios claviformes tetraspóricos, sin fíbulas, gleocistidios sin contenidos refringentes, trama paralela con presencia de hifas oleíferas (Figura 3).

Figura 3

Caracteres microscópicos, a) esporas elipsoidales, b) basidios, c) trama d) gleocistidios.



Fuente: Preparaciones microscópicas (Abisag Antonieta Ávalos Lázaro).

Los resultados aquí presentados constituyen los primeros avances sobre el conocimiento taxonómico, biológico y ecológico de esta especie. Sin embargo, se continúan los trabajos en torno a estos temas, con la intención de adicionar conocimiento fundamental para la identificación hasta nivel de especie, contenidos nutricionales y promover el aislamiento, cultivo y aprovechamiento sustentable como alternativa de seguridad y soberanía alimentaria para la comunidad en cuestión.

Aspectos bioculturales

La población de Alan Sac' Jún reconoce a esta especie como parte de una tradición que se ha adoptado de generación en generación. En los meses de junio a agosto, después de su fructificación en el ecosistema de la milpa, suelen colectarlo directamente con la mano, limpiando un poco de la tierra que se adhiere al píleo por su carácter glutinoso, se transporta en hoja de piedra (*Cathalea* sp) hasta el hogar para su posterior consumo.

A partir de las entrevistas realizadas, se tienen reportes de que la especie es consumida desde que los integrantes de la comunidad se percataron de su presencia en los cultivos de maíz después de la roza, tumba y quema. Así mismo, los locales detallan que el nombre vernáculo de esta especie es Ba'lum, que en el idioma tseltal significa que “crece sobre el suelo”. Su consumo inició al relacionar su aparición en el agrosistema milpa, lo que de acuerdo con su cosmovisión es bueno para el hombre, por lo tanto, puede consumirse y de este modo esta costumbre se extendió y permanece en la comunidad desde hace más de 70 años, aunque los informantes mencionaron que puede ser más tiempo, pues desde sus abuelos ya se consumía, sin embargo, ellos no pueden hacer una estimación clara del tiempo desde el que se le reconoce como un recurso alimenticio.

En cuanto a su preparación, la especie se consume en un sofrito simple, para lo cual primero se lavan los hongos, de dos a tres veces con abundante agua, hasta retirar el suelo adherido. Una vez limpios se dejan escurrir, mientras se cortan ingredientes como cebolla y tomate, al mismo tiempo se calienta manteca de cerdo en una olla, para posteriormente agregar el tomate y cebolla hasta formar un sofrito. Listo el sofrito se agregan los hongos enteros sin procesar y se fríen hasta conseguir una consistencia blanda, para finalizar se agrega sal al gusto (Figura 4).



Los locales refieren que este recurso es muy apreciado y esperado en el año, debido a su rico sabor que comparan con el de mariscos, concretamente con camarones. Su acompañamiento generalmente es con tortillas o cuando se encuentran algunas hierbas de campo (hierba mora [*Mu'yum*] y mostaza) u otros hongos como *Auricularia nigricans* (Sw.) Birkebak, Looney y Sánchez García. 2013 (*Ko'loch*-arrugado), *A. fuscosuccinea* (Mont.) Henn. 1893 (*Tsa'ham*-jugoso, blandito), *Schizophyllum* Fr. 1815 (*Salamut*-cresta de pollo), *Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.) Boedijn. 1959 (*Sak'jech'*- hongo blanco) y *Favolus tenuiculus* P. Beauv., Fl. Oware. 1806 (*Jochom'pat* hongo que crece en corteza podrida) que crecen en la milpa o cerca de ésta y café.

Figura 4

Proceso de cocina del hongo por miembros de la comunidad.



Fuente: Victorio Moreno Jiménez

Por lo anterior, la continuidad de las investigaciones taxonómicas en adición a estudios que permitan conocer sus propiedades nutricionales y su aporte en la salud, son fundamentales. Hasta ahora, a nivel mundial, la literatura que versa sobre las especies comestibles del género *Hygrocybe* es escasa. En México, previamente se ha referido el consumo de *H. nigresens* (Boa,

2005), sin contar con mayores referencias bioculturales con respecto de sus propiedades nutraceuticas.

Jagadish *et al.* (2021), reportan una importante actividad antioxidante y diversos compuestos activos en el hongo *H. alwisii*, una especie comestible que crece en selvas de matorrales en la India, por lo que es de esperarse que esta situación sea semejante en el hongo Ba'lum.

Por otra parte, se requiere de esfuerzos para difundir la información correcta al respecto de este recurso para la población, a fin de evitar intoxicaciones, si llegara a ser confundido con especies semejantes, ejemplo de ello es el hongo *H. rimosa* reportado en el sureste de China, el cual presenta apariencia semejante a Ba'lum, sin embargo, en dicha zona geográfica es considerado no apto para el consumo humano debido a intoxicaciones que se han documentado (Wang *et al.*, 2021).

Lo anterior se repite comúnmente entre las especies de este género, encasillándolo como no comestible o poco nutritivo. A falta de trabajos como los de Jagadish *et al.* (2021) y el presente estudio que exploran el conocimiento micológico tradicional y los usos potenciales, a fin de fortalecer las capacidades productivas y la soberanía alimentaria de los pueblos originarios de Chiapas y México. Así mismo, la urgencia de su estudio se hace aún más necesaria debido a que cuatro especies del género *Hygrocybe* figuran en la categoría de especies vulnerables en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) (IUCN, 2023).

Además, los autores de este trabajo han constatado que dicha especie, u otra muy parecida, se consume en otras localidades de Chilón, como Jol Sac Jun' y municipios como Palenque y Salto de agua, Chiapas. Esto a partir de la comunicación directa con informantes que no pertenecen a esta investigación, pero identifican la fotografía de este hongo como comestible en sus



localidades, por lo que se recomienda replicar este estudio en dichas zonas.

Conclusiones

En el presente capítulo se documentan por primera vez aspectos bioculturales del hongo Ba'lum en la comunidad de Alan Sac Jun', Chilón, Chiapas, tales como su fenología, formas de colecta, nombres vernáculos y gastronomía. Si bien estos saberes se consideran de suma importancia para la preservación y aprovechamiento sustentable del mismo, se recomienda la continuidad de sus estudios. El conocimiento micológico tradicional de la comunidad, el aprecio de sus recursos y tradiciones, han contribuido con la conservación de la especie y su permanencia en el tiempo de generación en generación. Es urgente que el sector académico y la comunidad continúen con las alianzas, a fin de fortalecer sus capacidades productivas y se coadyuve al empoderamiento comunitario. Los autores de este trabajo expresan agradecimiento a los y las informantes de Alan Sac Jun', así mismo agradecen a las y los estudiantes que directa o indirectamente han contribuido al desarrollo de los trabajos aquí mostrados. Así mismo, se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas los apoyos otorgados a los investigadores a través del Programa Especial de Estímulo a la Investigación (PEEI), que permitieron la realización de las salidas de campo, así como la obtención de materiales y equipos, para concluir con esta investigación.

Referencias bibliográficas

Benítez Badillo, G., Alvarado Castillo, G., Nava Tablada, M. E., y Pérez Vázquez, A. (2013). Análisis del marco regulatorio en el aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19 (3), 363-374.

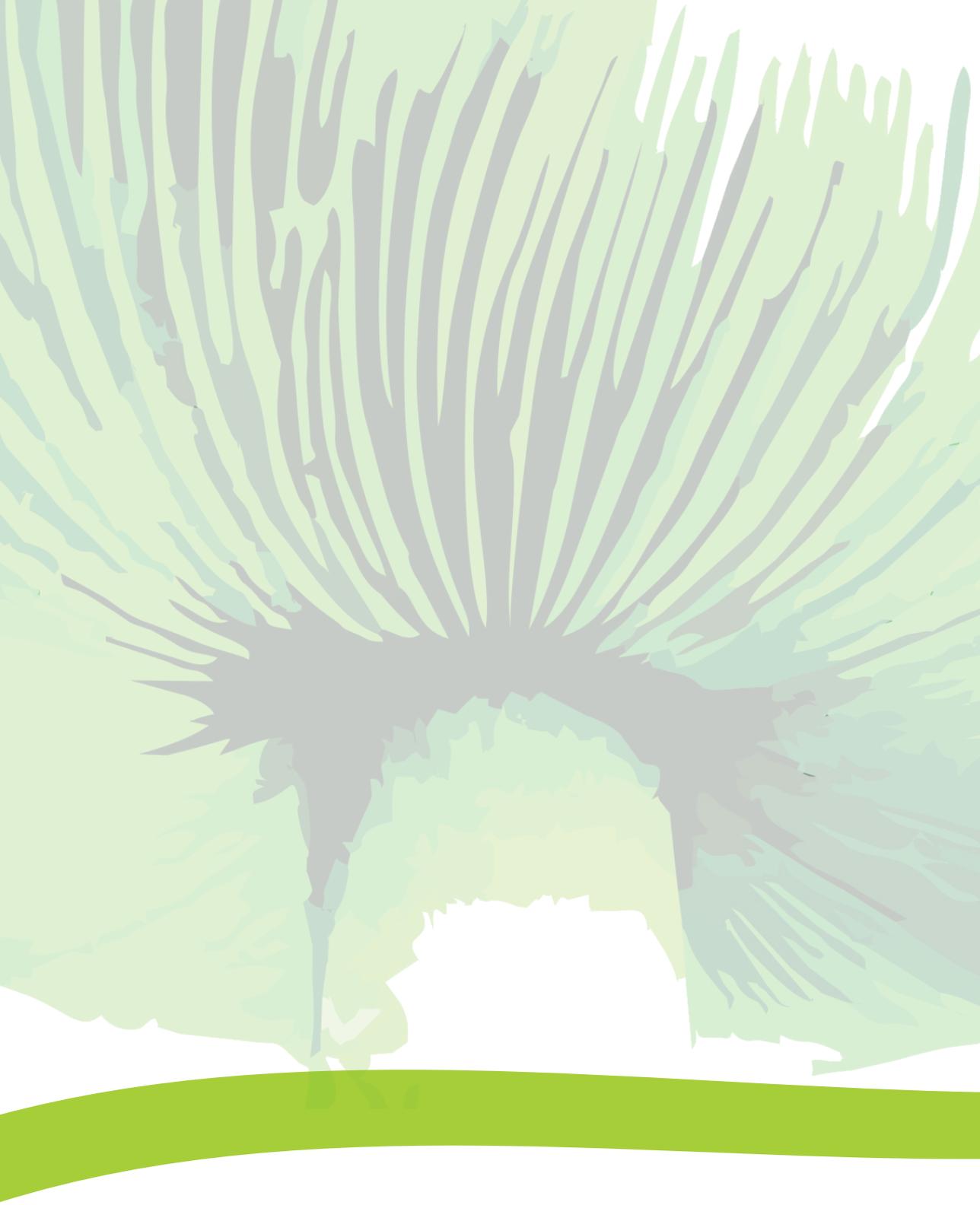
- Boa, E. (2005). *Los hongos comestibles silvestres*. Italia: Food and Agriculture Organization.
- Buscardo, E., Rodríguez Echeverría, S., De Angelis, P., y Freitas, H. (2009). Comunidades de hongos ectomicorrízicos en ambientes propensos al fuego: compañeros esenciales para el restablecimiento de pinares mediterráneos. *Ecosistemas*, 18 (2): 55-63.
- Colauto, N. B y Linde, G. A. (2012). *Avances sobre el cultivo del Cogumelo-Do-Sol en Brasil*. En Sánchez-Vázquez, J. E. y Mata, G. (Eds.). *Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural*. México: ECOSUR, INECOL, 121-132.
- Colauto, N. B., Dias, E. S., Gimenes, M. A & Eira, A. F. (2002) Genetic characterization of isolates of the basidiomycete *Agaricus blazei* by RAPD. *Brazilian Journal of Microbiology*, 33:131-133.
- Devia Grimaldo, L. D., Pérez Moneada, U. A., López D, E. y Varón López, M. (2021). Hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en bosques secos tropicales (BST) afectados por fuego y depósitos fluviovolcánicos en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(177), 1137-1153. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1482>
- Fernández de Ana-Magán, F. J. (2000). El fuego y los hongos del suelo. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*, 9, 101-107. DOI: <https://doi.org/10.31167/csef.v0i9.9187>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). *Principales resultados por localidad*. INEGI.
- IUCN. (2023). *Hygrocybe: The IUCN Red List of Threatened Species*. RED LIST. <https://www.iucnredlist.org/search?query=hygrocybe&searchType=species>.
- Jagadish, B. R., Sridhar, K. R., Dattaraj, H. R., Chandramohana, N. y Mahadevakumar, S. (2021). Nutraceuical Potential of Wild Edible Mushroom *Hygrocybe alwisii*. In: Abdel-Azeem, A. M., Yadav, A. N., Yadav, N., Sharma, M. (eds.) *Industrially Important Fungi for*



- Sustainable Development. Fungal Biology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85603-8_17
- Kirk, P. (2023). *Species Fungorum Plus*. In O. Banki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, D. R. Hernández Robles, C. A. Plata Corredor, T. Stjernegaard Jeppesen, A. Örn, L. Vandepitte, D. Hobern, P. Schalk, R. E. DeWalt, K. Ma, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, R. Adlard, C. Aedo, *et al.* Catalogue of Life Checklist (Jan 2023). Royal Botanic Gardens, Kew. <https://doi.org/10.48580/dfrdl-4hj>
- Küppers, H. (2006). *Atlas de los colores*. Blume, Barcelona.
- Largent, D. (1986). *How to identify mushrooms to genus I: Macroscopic features*. Mad River Press, Eureka. 166 p.
- Largent, D. L.; Johnson, D & Watling, R. (1977). *How to identify mushrooms to genus III: microscopic features*. Mad River Press Inc.
- Lyal, C., Kirk, P., Smith, D. y Smith, R. (2008). El valor de la taxonomía para la biodiversidad y la agricultura. *Biodiversity*, 9: 1-2, 8-13 pp.
- Noy, C. (2008). Sampling knowledge: the hermeneutics of snowball sampling in qualitative research. *International Journal of Social Research Methodology* 11:327–344. <https://doi.org/10.1080/13645570701401305>.
- Rea C. (1922). *British Basidiomycetaceae: A Handbook of the Larger British Fungi*. Cambridge University Press
- Rojas Ramírez, L. (2013). Los basidiomicetos: una herramienta biotecnológica promisorio con impacto en la agricultura. *Fitosanidad*, 17 (1), 49-55.
- Rúa Giraldo, Á. L. (2023). Taxonomía de los hongos: un rompecabezas al que le faltan muchas piezas. *Biomédica*, 43 (Suppl. 1), 288-311. <https://doi.org/10.7705/biomedica.7052>
- Ruan Soto, F. y Ordaz Velázquez, M. (2012). *Etnomicología de Chiapas: saberes y usos de los hongos. Estado del desarrollo económico y social de los pueblos indígenas de Chiapas*. UNAM.
- Ruan Soto, F., Cifuentes, J., Garibay Orijel, R. y Caballero, J. (2021b). Comparación de la disponibilidad de hongos comestibles

- en tierras altas y bajas de Chiapas, México, y sus implicaciones en estrategias tradicionales de aprovechamiento. *Acta Botánica Mexicana*, (128), <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1731>
- Ruan Soto, F., Domínguez Gutiérrez, M. Pérez Ramírez, L y Cifuentes, J. (2021a). Etnomicología de los lacandones de Nahá Metzabok y Lacanjá Chansayab, Chiapas, México. *Ciencias Sociales y Humanidades*, 8(1), 2509-3475. <https://www.doi.org/%2010.36829/63CHS.v8i1.1112>
- Ruan-Soto, F., Mariaca, R., Cifuentes, J., Limón, F., Pérez Ramírez, L. y Sierra Galván, S. (2007). Nomenclatura, clasificación y percepciones locales acerca de los hongos en dos comunidades de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Etnobiología*, 5, 1-20.
- Ruan-Soto, F., Mariaca, R., Cifuentes, J., Limón, F., Pérez Ramírez, L. y Sierra Galván, S. (2009). Uso y manejo de hongos silvestres en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Micología*, 29, 61-72.
- Shepard Jr. G., Arora, D. y Lampman, A. (2008). The Grace of the Flood: Classification and Use of Wild Mushrooms among the highland Maya of Chiapas. *Economic Botany*, 20 (10), 1–34.
- Smith, K., Rassmann, K., Davies, H. and King, N. (eds.). (2011). *Why Taxonomy Matters*. BioNETINTERNATIONAL. <http://www.bionetintl.org/why>.
- Wang, C. Q., Zhang, M., Li, H. J., Huang, H., Deng, W Q., Li, T., Luo, D. J. Y Li, T. H. (2021). *Hygrocybe rimosa* (Hygrophoraceae, Agaricales), a new poisonous species from southern China. *Phytotaxa*, 527 (4), 293-300.





CAPÍTULO II

Funciones de los hongos macroscópicos en zonas tropicales y su uso en el sector agropecuario

Victorio Moreno Jiménez¹, Alex Ricardo Ramírez García*¹,
Abisag Antonieta Ávalos Lázaro¹ y Santa Dolores Carreño Ruiz¹

¹ Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad Maya de Estudios Agropecuarios.
Carretera Catazajá-Palenque Km 4. CP. 29980 Catazajá, Chiapas (alex.ramirez@
unach.mx)





CAPÍTULO II

Funciones de los hongos macroscópicos en zonas tropicales y su uso en el sector agropecuario

Victorio Moreno Jiménez, Alex Ricardo Ramírez García, Abisag Antonieta Ávalos Lázaro y Santa Dolores Carreño Ruiz

RESUMEN

Los hongos macroscópicos desempeñan múltiples funciones en los bosques tropicales que van desde la descomposición de la materia orgánica, formar asociaciones simbióticas con las plantas, participar en el ciclo de nutrientes, interactuar con otros organismos y contribuir a la biodiversidad. Por ello, en este capítulo se presenta el estado del conocimiento sobre las funciones de los hongos, la problemática, las principales medidas para la conservación de los hongos macroscópicos, así como algunas aplicaciones en el sector agropecuario. Su presencia y sus funciones son fundamentales para el funcionamiento saludable de los ecosistemas forestales. Sin embargo, la deforestación y la fragmentación del hábitat tiene efectos perjudiciales en los

hongos macroscópicos en los bosques tropicales, interrumpiendo los ciclos de nutrientes y las asociaciones simbióticas con las plantas. La conservación de los bosques tropicales es esencial para proteger la diversidad y función de los hongos, así como para mantener la salud y el equilibrio de los ecosistemas forestales. Por último, se reconoce que los hongos macroscópicos poseen un uso potencial en las diferentes actividades del sector agropecuario.

Introducción

Los bosques tropicales son considerados como uno de los ecosistemas más diversos y productivos, debido a que brindan refugio a diferentes grupos taxonómicos. En cuanto a la estimación de la diversidad de hongos en el planeta, los estudios que se han realizado desde 1991 a la fecha, se basan en parámetros que revelan cifras muy diversas, que van desde 500,000 hasta 9.9 millones de especies (Aguirre Acosta *et al.*, 2014). Para el caso de México, en los trópicos, los estados de Veracruz y Tabasco son los más estudiados en hongos, indicando que 1,353 se han registrado como hongos anamorfos, de los cuales 21 corresponden a hongos acuáticos, 806 del suelo y 526 de restos vegetales (Heredia-Abarca *et al.*, 2008; Aguirre Acosta *et al.*, 2014).

Guzmán (1998), confirma que la diversidad fúngica mexicana es mayor en los bosques tropicales y subtropicales que en los bosques de encinos y coníferas de zonas templadas y menor en las zonas áridas. Dentro de estos grupos, los hongos macroscópicos desempeñan un papel crucial en los bosques tropicales y son importantes para el funcionamiento del ecosistema (Parada Santamaría, 2023). Así mismo, dentro de estas funciones se encuentran la regulación del ciclo de nutrientes, ciclo de carbono, regulación climática, descomponedores y otros usos como recurso alimenticio y la industria farmacéutica (Devkota *et al.*, 2023).

En el caso del estado de Chiapas, éste es considerado rico en biodiversidad y alberga una amplia variedad de hongos macroscópicos. Esta zona cuenta con diferentes ecosistemas, incluyendo bosques tropicales como selvas, que ofrecen condiciones propicias para el crecimiento y la diversidad de los hongos (Ruan Soto *et al.*, 2021), en donde proliferan cerca de 49,000 especies de estos organismos (Ruan Soto *et al.*, 2013).

En este Estado se han considerado a los hongos con diferentes usos. Entre los más comunes se encuentran los hongos comestibles que pertenecen a los géneros *Boletus*, *Cantharellus*, *Lactarius*, *Pleurotus*, *Schizophyllum* y *Amanita*, entre otros. En el caso de hongos con propiedades medicinales está el “huitlacoche” (*Ustilago maydis*), que se utiliza tradicionalmente con fines medicinales y culinarios en algunas comunidades (Moreno Fuentes, 2014; Ruan Soto *et al.*, 2021). Por otro lado, se pueden mencionar los hongos micorrízicos que forman simbiosis con las raíces vegetales y esenciales para la salud y nutrición de los bosques (Ruiz, 2020). Dentro de este grupo se pueden encontrar individuos del género *Amanita*, *Russula*, *Lactarius* y *Suillus*, entre otros. En el caso de los hongos saprobios se consideran descomponedores de la materia orgánica muerta (hojas, ramas y troncos caídos y restos de animales), desempeñando un papel importante en el ciclo de nutrientes (Chanona Gómez *et al.*, 2007). Por citar algunos géneros como *Agaricus*, *Coprinus*, *Pleurotus* y *Marasmius* (Delgado y Urdaneta, 2002).

Por lo anterior, este trabajo pretende divulgar el conocimiento de las funciones agroecológicas de los hongos macroscópicos.

Materiales y métodos

Para presentar el estado del conocimiento de las funciones y el uso de los hongos macroscópicos en el sector agropecuario, se buscó y se revisó la bibliografía disponible en bases de datos



como Scopus, Redalyc y Scielo, entre otros. Para ello, se consideraron revistas nacionales e internacionales relacionadas con el conocimiento de los hongos macroscópicos, considerando las siguientes palabras claves de búsqueda: micorrización, hongos ectomicorrízicos en bosques tropicales, hongos en la agricultura, uso de hongos macroscópicos, función de los hongos macroscópicos y uso potencial de hongos macroscópicos. Los estudios seleccionados se organizaron con base en la similitud de la información.

Resultados

En este apartado se presentan estudios importantes donde se describen algunas de las muchas funciones ambientales y agropecuarias que brindan los hongos macroscópicos.

Hongos micorrízicos

Muchos hongos forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas en lo que se conoce como micorrizas. En estas asociaciones se benefician tanto los hongos como las plantas. En este contexto, los hongos micorrízicos ayudan a las plantas a absorber nutrientes del suelo, especialmente fósforo y otros elementos que son difíciles de obtener directamente, mientras que los hongos reciben carbohidratos y otros compuestos orgánicos producidos por las plantas. Esta simbiosis es especialmente importante en los suelos pobres en nutrientes de los bosques tropicales y sucede cuando los hongos colonizan las raíces de las plantas sin causar ningún daño, posteriormente desarrolla una red de hifas externas que se extienden y ramifican en el suelo (Barea *et al.*, 2016).

Se estima que entre el 90 y el 95 % de las familias de las plantas terrestres establecen micorrizas en forma habitual, de las cuales, las más comunes son las ectomicorrizas y endomicorrizas

arbusculares. Alrededor de 6,000 especies de hongos están asociados a ectomicorrizas y en su mayoría son macroscópicos (Heredia-Abarca, 2007).

Algunos autores afirman que los hongos tienen la capacidad de formar una relación mutualista, conocida como micorriza arbuscular y que la mayoría de los árboles tropicales dependen de los hongos micorrizógenos (Smith y Read, 2008; Mcguire *et al.*, 2008, Baleón Sepúlveda, 2022). Asmelash *et al.* (2016), también reconoce que los hongos micorrízicos impulsan la sucesión de las plantas y favorecen el crecimiento, así como el establecimiento de plántulas de especies arbóreas y arbustivas en suelos con menor humedad y bajo contenido de nutrientes. Además, los hongos macroscópicos en los bosques tropicales interactúan con una variedad de organismos. Por ejemplo, los hongos boletoides forman asociaciones ectomicorrízicas en los encinares tropicales de *Quercus oleoides*, que ayudan a transportar nutrientes dentro de los sistemas forestales, como los *Boletellus ananas*, *Boletus auripes*, *Boletus vermiculosus*, *Gyroporus castaneus*, *Phylloporus centroamericanus* por mencionar algunos (González Chicas *et al.*, 2019).

Sin embargo, la diversidad de estos organismos ectomicorrízicos se puede ver en aumento. En un estudio realizado en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, se reportan 671 ejemplares que corresponden a 93 especies. El género con más especies fue *Russula* con 16, seguido de *Amanita* con 11 y *Lactarius* con 7. Las especies más representativas fueron *Amanita novinupta*, *Craterellus ignicolor*, *Craterellus lutescens*, *Cantharellus minor*, *Coltricia cinnamomea*, *Craterellus fallax*, *Turbinellus floccosus*, *Hygrocybe miniata*, *Lactarius chrysorrheus* y *Suillus decipiens* (Acosta Torres *et al.*, 2019). En otro estudio se reportó diversidad de especies de hongos en cafetales, en el suelo rizosférico con tratamiento orgánico se encontraron 18 especies de hongos micorrízicos arbusculares, entre las



cuales el género predominante fue *Acaulospora* además de que se reportaron las especies de *Glomus multicaule* y *Funneliformis monosporus* que constituyen nuevos registros para Chiapas. Esta diversidad de especies podría tener cierta simbiosis con las plantas, por lo que se requiere mayor investigación en las diferentes especies.

Con base en lo anterior, es de suma importancia continuar con los estudios de estos hongos ectomicorrízicos con el objetivo de desarrollar usos más específicos y poder identificar el uso potencial de estos organismos en el sector agropecuario. El uso de los hongos con funciones de micorrizas está ayudando a sustituir los fertilizantes sintéticos, siendo totalmente amigables con el ambiente, lo que permite generar sistemas de producción con enfoque agroecológico.

Uso de hongos macroscópicos en el sector agropecuario

La diversidad de hongos macroscópicos en ecosistemas tropicales permite abrir oportunidades para el desarrollo de nuevas estrategias para la producción agrícola, forestal y pecuaria. Autores como Rubiano Orozco *et al.* (2024) lograron la identificación de hongos lignocelulolíticos con capacidad biodegradadora de subproductos de palma de aceite, derivados de la explotación palmera en el departamento del Cesar, Colombia. Para ello, aislaron géneros, *Aspergillus* sp y *Trichoderma* sp. y una especie comercial de *Pleurotus ostreatus*, estos autores afirman que los hongos aislados poseen el potencial para mejorar la biodegradabilidad de los subproductos de la palma de aceite, enfocado como estrategia ecológica y sustentable.

Por su parte Chan Capul *et al.* (2006), evaluaron la actividad enzimática ligninolítica de macromicetos nativos con cepas de *Trametes maxima*, *Pycnoporus sanguineus* y *Daedalea*

elegans en los residuos agroindustriales de paja de trigo, bagazo de caña y aserrín de pino. En este estudio encontraron que las cepas *T. maxima* *P. sanguineus* fueron los mejores candidatos para la producción de lacasa y MnP (Manganeso peroxidasa), los cuales son considerados en la literatura como medios para la producción de enzimas lignolíticas que aceleran la degradación de los residuos orgánicos.

En agricultura, las investigaciones se han enfocado en buscar alternativas para los problemas de control de plagas y enfermedades amigables con el medio ambiente, consistiendo en la obtención de ciertos metabolitos producidos por los hongos para contrarrestar los problemas mencionados. A continuación, se mencionan algunos casos de éxito. Rincón Galán (2023) menciona varias especies de hongos relacionados con la agricultura, tales como *Trichoderma brevicompactum* que posee una actividad antifúngica contra *Rhizoctonia solani*, patógeno que causa pudrición en las raíces de las plantas de soja e inhibidor del crecimiento de *Botrytis cinerea* en cultivo de vid. Este trabajo menciona que los hongos basidiomicetes como *Pleurotus ostreatus*, *Conocybe lactea*, *Pleurotus pulmonarius*, *Pleurotus eryngii*, *Lentinula edodes*, *Lampteromyces japonicus*, *Neolentus lepideus*, *Trichaptum abietinum*, *Pholiota nameko* y *Cryptoporus volvatus* son buenos para el control de nemátodos.

Por otro lado, Pinos Coello (2020), cita que el hongo *Pleurotus ostreatus* se encuentra dentro de las especies que presentan actividad positiva para la degradación lignocelulósica de residuos agrícolas. En este trabajo se reporta una mayor eficacia en residuos de maíz, en comparación con los residuos de arroz y cáscara de maní, las cuales, pueden deberse a la humedad de los residuos vegetales.

Permana Putra (2020), menciona que a pesar de que todos los hongos macroscópicos desempeñan un papel importante en la descomposición de hojarasca en el suelo, también han



descubierto que algunos hongos silvestres tienen uso potencial alimenticio, tales como los del género *Termitomyces*, *Lentinus* sp. *Schizophyllum* sp, como fuente de metabolitos secundarios *Crinipellis* sp *Cortinarius* sp y de uso medicinal al *Gymnopus* sp. y *Marasmius* sp.

Otras funciones específicas de los hongos

Sarmiento López y Rodríguez Monroy (2021), mencionan que los hongos reciben de la planta moléculas de carbono y ácidos grasos que cubren sus necesidades energéticas para sus funciones vitales, ya que solos no pueden sintetizar estos nutrientes. Paralelamente, gracias al proceso de absorción y transferencia de fósforo en las plantas que forman micorrizas, se puede evitar el uso de abonos o fertilizantes fosfatados para las plantas, reduciendo los problemas ecológicos, ambientales y económicos generados por la aplicación excesiva de estos insumos.

Otra de las funciones que ha llamado la atención de los hongos macroscópicos, es que son organismos bioacumuladores de sustancias peligrosas como los metales pesados, las cuales son de interés toxicológicos sobre la salud (Lucio Flores *et al.*, 2021).

En el ámbito ambiental, los hongos macroscópicos tienen funciones importantes. Se encuentran investigaciones donde los hongos de pudrición blanca como *Phanerochaete chrysosporium* son utilizados como biorremediadores de suelos contaminados con TNT (trinitrotolueno), en donde se ha observado que esta especie es capaz de biotransformar TNT a DNT (dinitrotolueno), asimilar el nitrógeno, mineralizar el DNT en CO₂ y H₂O y desnitrifica en nitratos de óxido nitroso (N₂O) y nitrógeno elemental (N₂) (Hodgson *et al.*, 2000; Rincón Galán, 2023). Mientras que Guerra Yepes (2019) reporta que los hongos macroscópicos son usados para la biorremediación de suelos contaminados por mercurio. Con esto queda en evidencia las

diversas funciones de los hongos para la recuperación de recursos contaminados como el suelo.

Los hongos macroscópicos son fundamentales en los bosques tropicales y se han estudiado en investigaciones científicas. Aquí hay algunos estudios destacados que evidencian el impacto de los hongos macroscópicos en los bosques tropicales.

Estudios como los de Montoya *et al.* 2010 y Quintero *et al.* (2006), mencionan que la comunidad fúngica realiza actividades para degradar los biopolímeros de lignina, celulosa y hemicelulosa, en donde intervienen una serie de reacciones inespecíficas que dan como resultado la desestabilización de los enlaces y finalmente la ruptura de las macromoléculas.

Por otra parte, algunos hongos establecen asociaciones simbióticas con insectos, proporcionándoles alimento y refugio. A su vez, estos insectos pueden dispersar las esporas de los hongos, ayudando en su reproducción. En este sentido, el hongo conocido como la fumagina es una capa oscura que se forma por micelio y esporas de diferentes especies de mohos que crecen en la superficie de las hojas. Esto es debido a varios insectos que excretan sustancias ricas en azúcares en las hojas que hacen que los hongos saprófitos se desarrollen en toda la superficie de la hoja, afectando el proceso de fotosíntesis (Rebolledo Martínez *et al.*, 2013).

Importancia de los bosques en la diversidad de hongos macroscópicos

Los hongos macroscópicos son una parte importante de la diversidad biológica en los bosques tropicales. Se estima que existen miles de especies de hongos en estos ecosistemas, muchas de las cuales son endémicas y desempeñan roles específicos en la comunidad. La presencia y diversidad de hongos en los bosques tropicales contribuye a mantener la estabilidad y resiliencia del



ecosistema en general. Villarruel Ordaz *et al.* (2014) afirma que, en los bosques tropicales, la diversidad de hongos macromicetos mantienen interacciones complejas y que la abundancia y la diversidad de hongos varía de acuerdo con las condiciones topográficas (altitud, pendiente, exposición solar) y de la disponibilidad del sustrato (lignícola, húmico, terrícola, parásito entomopatógeno), así como las diferentes formas de vida, que van desde hongos parásitos, micorrízicos y saprobitas.

Bandala *et al.* (2018), menciona que algunos bosques tropicales como los encinares han sido, a lo largo del tiempo, un refugio de la diversidad biológica después de su fragmentación en la época del Pleistoceno. Dentro de estos, los hongos equilibran los ecosistemas de diferentes maneras. Los hongos saprotróficos son los agentes clave de descomposición del material orgánico y desempeñan un papel central en el ciclo del carbono y los nutrientes en muchos ecosistemas. En los hábitats acuáticos, los hongos pueden regular la dinámica de la red alimentaria y el ciclo biogeoquímico al hacer que los recursos estén más disponibles para los consumidores de orden primario. Además, funcionan como reguladores ecosistémicos que modifican hábitats y cambian la estructura del suelo donde viven, mitigando el impacto de los procesos ecológicos.

Conclusión

Cabe mencionar que los estudios realizados sobre los hongos macroscópicos en bosques tropicales aún son escasos, no obstante, con la revisión realizada se pudo evidenciar que los hongos macromicetos poseen diversas funciones potenciales para la estabilidad de los ecosistemas, así como especies con potencial para su uso en el sector agropecuario, ambiental y alimentario. Estos estudios permiten abrir nuevos panoramas y preguntas de investigación para buscar nuevas alternativas agroecológicas en el uso de los hongos en el sector agrícola, forestal y pecuario en

zonas tropicales. De igual forma, permite a la literatura científica continuar creciendo y aportar nuevos conocimientos sobre la diversidad, la ecología y la importancia de los hongos en estos ecosistemas. Finalmente, cabe señalar que la conservación y la restauración de los bosques tropicales puede apoyar en la protección de los hongos macroscópicos, así como las diversas funciones que desempeñan dentro del ecosistema y como un recurso natural para aprovechar en las diferentes actividades agropecuarias.

Referencias bibliográficas

- Acosta Torres, L. E., Reyes Hernández, H., Muñoz Robles, C. A. y Leija Loredó, E. G. (2019). Distribución y conservación de *Quercus oleoides* Schltdl. & Cham. en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(52), 55-78. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i52.453>
- Alarcón Gutiérrez, E. y Ramírez Guillén, F. (2022). Los hongos en los ecosistemas. *Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada*. Recuperado a partir de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1835-los-hongos-en-los-ecosistemas>
- Asmelash, F., Bekele, T. y Birhane, E. (2016). Mycorrhizal Fungi in the restoration of degraded lands. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1095. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01095>
- Baleón-Sepúlveda, A., Rodríguez-Galicia, V., Hudler, C., Sánchez-Gallen, I., Casariego-Martínez, M., Barajas-Guzmán, G. y Álvarez-Sánchez, J. (2022). La comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares en diferentes usos de suelo del bosque tropical perennifolio de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, 1-17. e933854. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3854>
- Bandala, V. M., Montoya, L. Gamboa Becerra, R. y Ramos Fernández, A. (2018). Encinares tropicales y hongos, fuente de servicios y productos naturales de origen ancestral que requieren



- protección. INECOL. CONACYT. <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/799-encinares-tropicales-y-hongos-fuente-de-sei>
- Barea, J. M., Pozo, M. J. y Azcón Aguilar, C. (2016). *Significado y aplicaciones de las micorrizas en agricultura*. Informe. Departamento de Microbiología del suelo. <https://grupos.eez.csic.es/mycostress/wp-content/uploads/2021/04/Significado-y-aplicacion-de-las-micorrizas-en-Agricultura-Barea-et-al-2016.pdf>
- Chan Cupul, W., Heredia Abarca, G. P. y Rodríguez Vázquez, R. (2016). Aislamiento y evaluación de la actividad enzimática ligninolítica de macromicetos del estado de Veracruz, México. *Revista internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3), 339-351. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.08>
- Chanona-Gómez, F., Andrade-Gallegos, R. H., Castellanos-Albores y Sánchez, J. E. (2007). Macromicetos del parque educativo Laguna Bélgica, municipio de Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78, 369-381. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v78n2/v78n2a14.pdf> chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.uv.mx/met/files/2020/12/NIR-TESIS.pdf>
- Dago Duenas, Y., Calzadilla Reyes, K., Redonet Miranda, M. de los A. Suárez Mesa, A. G. (2023). Especies ectomicorrízicos en dos ecosistemas de la localidad Plan Café. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 11(1), e774. <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v11n1/2310-3469-cfp-11-01-e774.pdf>
- Delgado A., A. E. y Urdaneta G., L. M. (2002). Hongos Basidiomycota, orden Agaricales, en cinco municipios del estado Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 19(1), 56-70. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182002000100006&lng=es&tlng=es.
- Devkota S., Fang, W., Arunachalam, K., Phyto, K. M. M., Shakya B. (2023). Systematic review of fungi, their diversity and role in

- ecosystem services from the Far Eastern Himalayan Landscape (FHL). *Heliyon*, 4;9(1): e12756. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12756
- Guerra Yepes, L. M. (2019). *Avances en la remediación biológica del mercurio: hongos macroscópicos como agentes de biorremediación*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77625/1128390092.2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Guzmán, G. (1998). Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México. *La diversidad biológica de Iberoamérica*, 2, 111-175.
- Heredia-Abarca, G. (2007). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrocencias*, 13(2). 98-108.
- Hodgson, J., Rho, D., Guiot, S., Ampleman, G., Thiboutot, S. y Hawari, J. (2000). Tween 80 enhanced TNT mineralization by *Phanerochaete chrysosporium*. *Canadian Journal of Microbiology* 46, 110–118. <https://doi.org/10.1139/w99-126>
- Lucio-Flores, S. A. Otazo-Sánchez, E. M. Romero-Bautista, L. y Gaytán-Oyarzún, J. C. (2021). Hongos macroscópicos como bioacumuladores de metales pesados. *Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 8(16), 60-65. <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i16.5823>
- McGuire, K. L., Henkel, T. W., de la Cerda, I., Villa, G., Edmund, F. y Andrew, C. (2008). *Dual mycorrhizal colonization of forest-dominating tropical trees and the mycorrhizal status of non-dominant tree and liana species*. *Mycorrhiza*, 18, 217–222. <https://doi.org/10.1007/s00572-008-0170-9>
- Montoya, B. S., Gallego, A. J. H., Sucerquia, G. A., Peláez, B. J., Betancourt, G. O. y Arias M. D. F. (2010). Macromicetos observados en bosques del departamento de caldas: su influencia en el equilibrio y la conservación de la biodiversidad. *Boletín Científico Centro de Museos Historia Natural*. 14(2): 57-73. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v14n2/v14n2a03.pdf>



- Moreno Fuentes, Á. (2014). *Un recurso alimentario de los grupos originarios y mestizos de México: los hongos silvestres*. [https://doi.org/10.1016/S0185-1225\(14\)70496-5](https://doi.org/10.1016/S0185-1225(14)70496-5)
- Parada Santamaría, F. Á. (2023). La estrecha amistad entre los hongos y los bosques de manglar. *Revista De Divulgación Científica AQUACIENCIA - ICMARES*, 2(1), 5–9. Recuperado de <https://revistas.ues.edu.sv/index.php/aqc/article/view/2669>
- Permana Putra, I. (2020). Record on macroscopic fungi at IPB university campus forest: descripción and potencial utilization. *Indonesian Journal of Science and Education*, 4(1), 1-11. doi: 10.31003/ijose.v4i1.2180
- Pinos Coello, K. P. (2020). *Aprovechamiento de hongos (Pleurotus ostreatus) en la degradación Lignocelulósica de residuos de cosecha para la obtención de abono orgánico, en la zona de Mocache*. Quevedo. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/792c100c-fd64-4063-95d9-70f04bab6bf6/content>
- Quintero, D. J. C., Feijoo C. G. y Lema, R. J. M. (2006). Producción de enzimas ligninolíticas con hongos basidiomicetos cultivados sobre materiales lignocelulósicos. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 13(2), 61-67. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v13n2/v13n2a08.pdf>
- Rebolledo-Martínez, A., del Angel-Pérez, A. L., Peralta-Antonio, N., Díaz-Padilla, G. (2013). Control de fumagina (*Capnodium mangiferae* Cooke & Brown) con biofungicidas en hojas y frutos de mango “manila”. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3), 355-362. www.redalyc.org/pdf/939/93929595007.pdf
- Rincón Galán, Y. A. (2023). *Búsqueda de metabolitos bioactivos a partir de hongos macroscópicos recolectados en la provincia de Misiones*. [Tesis de doctorado, Universidad Buenos Aires]. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n7293_RinconGalan.pdf

- Robles González, K. K., Álvarez Solís, J. D., Bertolini, V., y Pérez Luna, Y. (2023). Diversidad y propagación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de un cafetal orgánico en Chiapas, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 46 (2): 147-155. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.147>
- Ruan Soto, F. (2018). Recolección de hongos comestibles silvestres y estrategias para el reconocimiento de especies tóxicas entre los tsotsiles de Chamula, Chiapas, México. *Scientia Fongorum*, 48, 1-13. <http://orcid.org/0000-0002-2476-027X>
- Ruan-Soto, F., Caballero, J., Martorell, C., Cifuentes, J., González-Esquina, A. R. y Garibay-Orijel, R. (2013). Evaluation of the degree of mycophilia-mycophobia among highland and lowland inhabitants from Chiapas, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9, 38. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-36>
- Ruan-Soto, F., Cifuentes, J., Pérez-Ramírez, L., Ordaz-Velázquez, M., y Caballero, J. (2021). Hongos macroscópicos de interés cultural en los Altos de Chiapas y la selva Lacandona, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(Epub e923525), 1-24. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3525>
- Rubiano-Orozco, L. A., Castro-Pacheco, A. C., Jiménez-Rojas, F., Frago-Castilla, P. J., Ibarra-Pontón, A. J., Rodríguez-Jiménez, D. M. (2024). Evaluación de la actividad lignocelulolítica de hongos cultivados en subproductos de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*). *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 22(1), 70-86. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/2304/1908>
- Ruiz, N. I. (2020). *Diversidad de hongos micorrízicos en diferentes estados de conservación de un bosque de encinos*. [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana].
- SarmientoLópez, L. G. y Rodríguez Monroy, M. (2021). Lasimbiosis entre hongos y plantas, un ejemplo de colaboración y beneficio mutuo. Artículo de difusión. *Ciencias de Academias de Morelos, A.C.* <https://acmor.org/publicaciones/la-simbiosis-entre-hongos-y-plantas-un-ejemplo-de-colaboraci-n-y-beneficio-mutuo>





Smith, S. E. y Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*, 3a. Edición. Oxford, Reino Unido: Academic Press, Elsevier Science.

Villarruel Ordaz, J., Valera Venegas, G., Garibay Orijel, R., Álvarez Manjarrez, J., Maldonado Bonilla, L. D. y Sánchez Espinosa, A. C. (2024). Efecto de la altitud, orientación y pendiente del terreno sobre la distribución de macrohongos en un bosque tropical caducifolio de la costa de Oaxaca, México. *Polibotánica*, (57). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.57.5>

CAPÍTULO III

Conocimiento y aprovechamiento de hongos macroscópicos en los agroecosistemas mexicanos: un acercamiento desde la etnomicología

Felipe Ruan Soto^{1*}, William García Santiago², Luz Noyola Méndez³, Marisa Ordaz Velázquez⁴ y Erika Cecilia Pérez Ovando¹

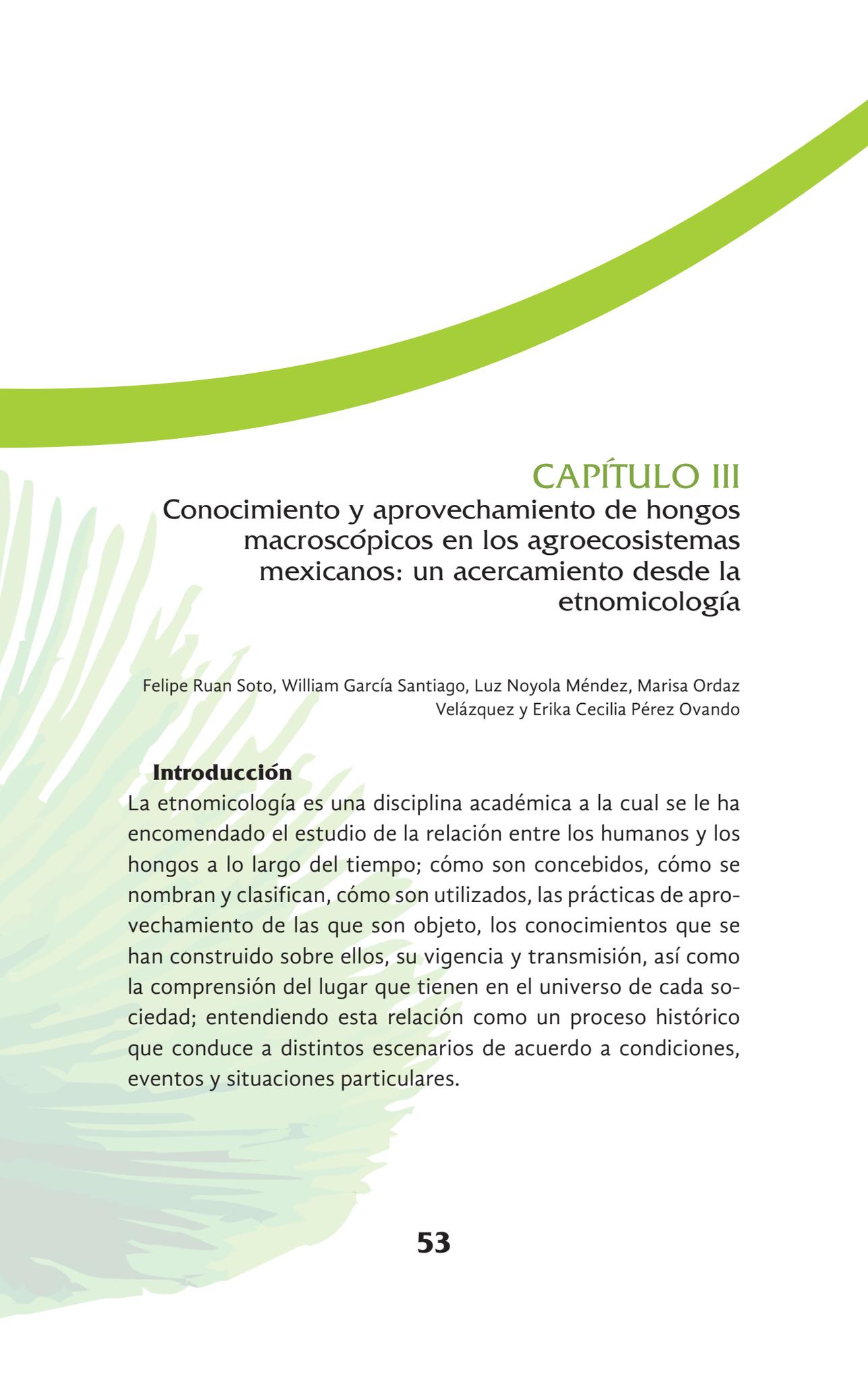
¹ Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (ruansoto@yahoo.com.mx)

² Universidad Intercultural de Chiapas, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas

³ El Colegio de la Frontera Sur. Posgrado. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas

⁴ Investigadora independiente. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.





CAPÍTULO III

Conocimiento y aprovechamiento de hongos macroscópicos en los agroecosistemas mexicanos: un acercamiento desde la etnomicología

Felipe Ruan Soto, William García Santiago, Luz Noyola Méndez, Marisa Ordaz Velázquez y Erika Cecilia Pérez Ovando

Introducción

La etnomicología es una disciplina académica a la cual se le ha encomendado el estudio de la relación entre los humanos y los hongos a lo largo del tiempo; cómo son concebidos, cómo se nombran y clasifican, cómo son utilizados, las prácticas de aprovechamiento de las que son objeto, los conocimientos que se han construido sobre ellos, su vigencia y transmisión, así como la comprensión del lugar que tienen en el universo de cada sociedad; entendiendo esta relación como un proceso histórico que conduce a distintos escenarios de acuerdo a condiciones, eventos y situaciones particulares.

Desde su definición formal en la década de 1950 (Wasson y Wasson, 1957), la etnomicología ha descrito y analizado muchos aspectos de esta relación a lo largo y ancho del planeta. Particularmente en México, se han caracterizado los principios con base en los cuales son nombrados los hongos en distintas lenguas originarias, qué características se toman en cuenta para su clasificación y cuáles son las especies que son significativas (Moreno Fuentes, 2007; Garibay Orijel, 2009); se han realizado bastas descripciones etnográficas de las formas en que son utilizados como alimento, medicina, condimento, enteógeno, entre otros (Haro Luna *et al.*, 2019; López García *et al.*, 2020); así como propuestas analíticas que muestran cómo se transmiten estos saberes y los factores que moldean su vigencia (Valencia Flores, 2006; Haro Luna *et al.*, 2022); por mencionar algunos temas. A través de estas investigaciones, se ha podido documentar un cúmulo importante de conocimientos micológicos tradicionales que condensan con precisión información acerca de los sustratos sobre los cuales aparecen los hongos, las especies vegetales con las que se encuentran asociadas y la forma en que lo están, el tipo de vegetación propicia para su desarrollo, la temporalidad en que fructifican, así como las condiciones ambientales que favorecen su aparición. Estos conocimientos son el “motor” del cual depende un óptimo aprovechamiento de estos bienes de formas diversas y para fines distintos, destacando las especies comestibles y las medicinales como las principales formas en que se utilizan las especies fúngicas de macromicetos (Garibay Orijel *et al.*, 2010).

Para el desarrollo de las investigaciones etnomicológicas y la consecuente documentación del conocimiento micológico tradicional, los ejercicios inter y transdisciplinarios han sido menester. Esta articulación entre teoría y metodología procedente de distintas disciplinas de las ciencias naturales, las ciencias sociales

y las humanidades, ha sido necesaria para lograr comprender fenómenos complejos como las relaciones micoculturales.

Da Cunha *et al.* (2020) señalan que México es el país donde se ha estudiado en mayor medida la diversidad micocultural, concentrando el 22 % de los estudios etnomicológicos desarrollados en el mundo, sobre todo en temáticas relacionadas con el aprovechamiento de hongos comestibles y medicinales. Pese a este desarrollo significativo de la disciplina, dichos autores señalan que aún existen muchas lagunas en la documentación de los conocimientos etnomicológicos, enfatizando en la necesidad de un mayor alcance geográfico y temático.

En este sentido, la documentación de estos conocimientos y de las especies con importancia cultural se ha centrado en el estudio de aquellos taxones que se encuentran en los bosques y en las selvas, es decir, en fragmentos de vegetación con menor o mayor grado de conservación. Incluso en muchos trabajos se han conceptualizado a los hongos, sobre todo a las especies comestibles, como un recurso forestal no maderable (Alvarado Castillo y Benítez, 2009). Sin embargo, se ha reflexionado poco acerca de la importancia que tienen los espacios transformados, como los agroecosistemas, como sitios donde se desarrollan de igual manera distintas especies de hongos útiles que pueden ser aprovechadas.

El presente capítulo presenta datos y ejemplos del aprovechamiento de hongos macroscópicos que hacen comunidades rurales en México en espacios agrícolas como milpas y cafetales, esto a partir de una revisión de literatura etnomicológica. Con esto se pretende evidenciar a estos agroecosistemas como donadores de una gran cantidad de especies fúngicas útiles, así como resaltar el papel que juegan estos espacios como sitios de importancia micocultural.



Caracterización de algunos agroecosistemas mexicanos

Los agroecosistemas son sistemas antropogénicos en los que los humanos cultivan especies de plantas destinadas sobre todo a la alimentación y donde las prácticas agrícolas se han desarrollado a través de mucho tiempo, acoplándose a procesos ecológicos como la sucesión vegetal, diversidad de interacciones o ciclos biogeoquímicos. Es de notar la estabilidad y complejidad de estos sistemas agrícolas, así como la gran diversidad que albergan (Sans, 2007).

En este contexto, el sistema milpa tradicional mesoamericana, donde se cultivan esencialmente maíz, frijol y calabaza, es un área de preservación *in situ* de la agrobiodiversidad inter e intraespecífica de las especies cultivadas y de un alto número de especies silvestres recolectadas para uso alimentario, medicinal y ritual, llegando en algunos casos a encontrarse hasta 50 especies. Dicho policultivo ha demostrado satisfacer las necesidades alimenticias de las familias mexicanas (Thrupp, 2000; Contreras, 2021). Para ello, se puede incluir como prácticas principales: el recorrido de identificación del terreno a sembrar, su brechado, la roza (corte de arbustos, hierbas, pastos y todo lo considerado como maleza), la tumba de árboles, desramado de los árboles cortados, el desmenuzado de ramas, el brechado para la guardarraya, la quema, la siembra, la resiembra, el deshierbe, la dobla, el chaporreo, la cosecha, el transporte, almacenamiento de la cosecha, desgrane a mano o a golpe sobre una tarima y las ceremonias de petición y agradecimiento (Hernández, 1959; Mariaca, 2015). Aun cuando la tradición dice que después de cuatro años de siembras continuas hay que dejar descansar la tierra, la escasez de terrenos laborables obliga a trabajar ininterrumpidamente el mismo predio (Cobo y Paz, 2009).

Por otro lado, los cafetales son sistemas agroforestales de gran importancia socioeconómica y que al mismo tiempo se han

considerado como refugios para la Biodiversidad (Macip-Ríos y Casas-Andreu, 2008). Algunos productores trabajan técnicas convencionales de cultivo, mientras que otros prefieren prácticas orgánicas dentro de un sistema de agricultura sustentable, cuyo proceso consiste en utilizar insumos naturales que incrementan el reciclaje de los nutrientes, implementando abonos orgánicos y repelentes naturales, evitando así el uso de plaguicidas, herbicidas o fertilizantes de origen químico. En ese sentido, existen dos métodos de siembra denominados de sol y sombra, dependiendo de la especie de café cultivada. Sin embargo, en muchos de los cultivos de ambas especies y distintas variedades, los productores deciden dejar una gran cantidad de árboles que proporcionan sombra y otros beneficios como mayor humedad durante las épocas de sol extremo (Fonseca, 2006; Loreto *et al.*, 2017). Además, los árboles que se encuentran dentro de los cafetales también tienen un papel en el secuestro de carbono e incrementan la retención de agua para que pueda ser aprovechada por las plántulas de café y la fertilidad del suelo, reduciendo efectos como la erosión y la amenaza de malezas y plagas (Canet *et al.*, 2016).

Por último, es importante mencionar que existen otros tipos de agroecosistemas como los huertos o solares, que son espacios asociados a la casa en el cual crecen árboles, arbustos y herbáceas silvestres o arvenses, mezclados con cultivos anuales y frecuentemente con animales domesticados (Caballero, 1992) y, ocasionalmente, fauna silvestre (Mariaca, 2012). Estos espacios están divididos en varias áreas de manejo, variables en tamaño, distribución y composición de especies que son definidas de acuerdo con los intereses de las personas que lo habitan y manejan (Cano, 2015). Los huertos son considerados agroecosistemas más antiguos, que generaron las bases de las civilizaciones mesoamericanas, que hicieron posible la generación de excedentes, alcanzando sofisticadas formas de adaptación local a las distintas condiciones ecológicas del territorio



(González-Jácome, 2007). En ellos, también se dan procesos de domesticación y de conservación de flora y fauna (Sol, 2012). En lo social, contribuyen a conservar las raíces tradicionales o culturales de los pueblos que los manejan (Mariaca, 2012).

Caracterización de las especies de hongos macroscópicos de los agroecosistemas mexicanos

Como se mencionó anteriormente, los agroecosistemas pueden ser reservorios importantes de especies de organismos que crecían en bosques y selvas originales y que fueron modificados para el cultivo de especies domesticadas (del Moral *et al.*, 2017). Pero este reservorio no se limita a especies vegetales y animales, también son espacios con una disponibilidad de hongos tan importante como los propios ecosistemas de tierras bajas y altas (Ruan-Soto *et al.*, 2021).

Los hongos, al ser organismos heterótrofos, su distribución podría ser dependiente de los requerimientos alimenticios de cada especie. De esta manera, se ha considerado que los hongos descomponedores de materia orgánica (saprobios) tienen distribución cosmopolita, mientras que otras especies podrían tener una distribución restringida o endémica, en particular, las que mantienen relaciones beneficiosas o perjudiciales (simbióticas o parásitas) con otros organismos (Aguirre-Acosta *et al.*, 2013).

La milpa es un agroecosistema importante para el desarrollo de diferentes organismos, como actinomicetes, hongos saprobios y hongos micorrizógenos arbusculares, entre otros. Aunque algunos estudios han reportado la existencia de un mayor número de bacterias en comparación con otros organismos en los agroecosistemas, todos los habitantes del suelo son importantes en la calidad y fertilidad del suelo (Duche-García *et al.*, 2021).

En los cafetales y las milpas, los hongos pueden ser considerados como indicadores de buenas prácticas, además de ser el

lugar ideal para el crecimiento de especies micorrizógenas y saprobias. Aunque en el caso de hongos micorrizógenos arbusculares aún existe poca evidencia de los beneficios de la presencia de estos y otros hongos en la producción de los agroecosistemas (Gosling *et al.*, 2005; del Moral *et al.*, 2017).

De igual forma, los agroecosistemas también han sido considerados lugares importantes para la recolecta de macromicetos útiles (principalmente comestibles) y con importancia cultural. Destacan aquellos hongos que se han recolectado en cafetales y milpas (Chacón, 1988; Alvarado Rodríguez, 2006, 2010; García Santiago, 2011; del Moral, 2015; Corona, 2017; Ramírez Terrazo, 2020).

Hasta el momento, a partir de los datos etnomicológicos disponibles, se han reportado 87 especies de macromicetos presentes en agroecosistemas; 31 especies corresponden a registros en milpas y cafetales, 39 especies son exclusivas de cafetales y 17 de milpas (Cuadro 1). El 100 % de los hongos documentados en estos sitios corresponden al Phylum Basidiomycota, sin embargo, no se tiene hasta el momento ningún estudio que documente la totalidad de la riqueza y composición de los hongos que se desarrollan en los agroecosistemas.

En lo referente a la productividad de estos espacios, del Moral (2015), reporta que para un cafetal en Veracruz el 14 % de los esporomas producidos en estos espacios corresponden a hongos comestibles, siendo la especie más productiva en términos de número de esporomas *Pleurotus djamor*, en tanto que la de mayor biomasa fue *Auricularia cornea*. Así mismo, Ruan Soto *et al.* (2021) reporta en un estudio desarrollado en milpas y cafetales en Chiapas, que *Schizophyllum commune* es la especie comestible de mayor producción de esporomas, en tanto que *Auricularia spp.* es la de mayor productividad de biomasa.



En cuanto a los sustratos sobre los cuales crecen los hongos de los agroecosistemas, en su mayoría se desarrollan sobre madera de troncos podridos siendo característica determinante para su consumo (García Santiago, 2011). En el caso del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*) es un hongo parásito exclusivo del maíz y del teocintle.

Aprovechamiento tradicional de los hongos de los agroecosistemas mexicanos

Como se ha mencionado, si bien los bosques destacan como el principal espacio de obtención de especies fúngicas, los espacios manejados también aportan un porcentaje importante de estos recursos. Alvarado Rodríguez (2010) en su trabajo en la comunidad tseltal de Kotolte', Chiapas reporta que los espacios manejados (cafetales y milpas) contienen el 37% de las especies recolectadas. En este sentido, el estudio de del Moral (2015), reporta que la proporción de especies aprovechables como alimento en cafetales de Veracruz corresponde al 73% de las fructificaciones totales obtenidas durante dos temporadas de lluvias. Del mismo modo, diversos trabajos reportan a la milpa, el cafetal y en menor medida huertos familiares y traspatio entre los principales espacios de aprovechamiento de hongos, ya sea por contener diversas especies apreciadas, una o varias especies altamente valoradas o por el volumen que es posible obtener en estos espacios durante la realización de labores cotidianas (Chacón, 1988; Alvarado Rodríguez, 2006; del Moral, 2015; del Moral *et al.*, 2017; Ruan Soto, 2021). En contraste, Alvarado Rodríguez (2010), García Santiago (2011) y Ramírez Terrazo (2020) reportan la percepción entre habitantes de Kotolte', Tenejapa, Ribera el Gavilán y Antelá y Tziscoa en Lagos de Montebello, Chiapas, de una baja o reducida diversidad de especies (particularmente terrestres) asociada a espacios perturbados o a cambios en los esquemas de manejo de los

espacios productivos comunitarios, aunque se reconoce aún la presencia de especies comestibles apreciadas en ambientes manejados. De las 87 especies encontradas en la presente revisión, 60 especies (67%) son comestibles, 22 (25%) no tienen usos reportados, 3 (0.3%) son tóxicas, 2 (0.2%) son agoreras y una (0.01%), medicinal. A pesar de contener un menor número de especies reportadas, las milpas de tierras bajas tropicales suelen alojar organismos lignícolas comestibles altamente apreciados por grupos humanos que habitan estas zonas, como *Schizophyllum commune* y *Pleurotus djamor*, entre otras.

El aprovechamiento de especies fúngicas en agroecosistemas es frecuentemente descrito como oportunista (Alvarado Rodríguez, 2006; García Santiago, 2011; Corona, 2017; Ruan Soto, 2021), es decir, los hongos son un producto efímero que se encuentra y recolecta de manera “casual” durante la realización de actividades de trabajo asociadas a la milpa o cafetal o bien en el trayecto hacia tales espacios. Se lleva a cabo valiéndose de herramientas y objetos de almacenamiento que se encuentren disponibles. Esto supone una ventaja sobre la búsqueda dirigida del recurso o recolecta en espacios conservados, dada la reducción en el costo energético y el volumen potencial, recolecta sin descuidar labores de mantenimiento de sistemas productivos que suelen ser la base de la economía local (García Santiago, 2011; Ruan Soto, 2021). Sin embargo, existen también reportes de una búsqueda premeditada y exclusiva de este recurso en espacios bajo manejo de manera menos generalizada en la población y menos frecuente (Alvarado Rodríguez, 2006; del Moral, 2015; Corona, 2017).

Dependiendo de cómo sea la división de labores en estos espacios, la recolecta oportunista se reporta como una actividad que pueden realizar preferentemente hombres (del Moral, 2015), mujeres o ambos e inclusive niños con supervisión de adultos (Alvarado Rodríguez, 2006). Es común que la recolecta



de especies de hongos en milpas y cafetales sea destinada a autoconsumo, trueque, ofrecimiento a familiares o amigos y, en menor medida, venta por encargo o a pequeña escala (del Moral, 2015; García Santiago, 2011; Corona, 2017).

El procesamiento de especies fúngicas para su consumo es sumamente diverso, sin embargo, generalmente son seleccionados, limpiados y consumidos casi de manera inmediata tras ser recolectados. En contraste, los totonacos de Zongozotla, Puebla, llegan a secar especies para su consumo o comercialización posterior (Corona, 2017). Al cocinarse, las especies son mezcladas con otros ingredientes, frecuentemente obtenidos también de la milpa o traspatio. Existen reportes de la apreciación culinaria de ciertas especies por su buen sabor, en ciertos casos percibido como similar al de diversos tipos de carne, su textura e incluso por el carácter adicional nutracéutico o medicinal de ciertas especies (Alvarado Rodríguez, 2006; García Santiago, 2011; del Moral, 2015; Corona, 2017). Sin embargo, también existen especies cuyo consumo parece estar sufriendo un declive debido a su corto tiempo de preservación, características organolépticas percibidas como poco deseables, asociación de los hongos con alimentos de poco prestigio y desconfianza ligada a desconocimiento o pérdida de conocimientos locales (Alvarado Rodríguez, 2006; Corona, 2017).

Existe una serie de detallados conocimientos ecológicos íntimamente ligados al aprovechamiento de hongos en espacios rurales. La identificación de las características ecológicas, biológicas, morfológicas, climáticas y fenológicas de las especies de interés es clave para el aprovechamiento de estos recursos (Corona, 2017). En este sentido, la íntima relación entre la aparición de hongos y lluvias está también ligada a las labores de los ciclos agrícolas asociados a esta temporada, particularmente las simbólicamente cargadas, relacionadas con la milpa. Así, diversos autores reportan que actividades del manejo de agroecosistemas como

la limpia o rastrojeo marcan también el inicio de la temporada de hongos para pobladores rurales y se asocia la fenología de distintas especies fúngicas al ciclo agrícola (Alvarado Rodríguez, 2006; 2010; García Santiago, 2011; del Moral *et al.*, 2017). Asimismo, la relación de especies apreciadas con material leñoso que resulta de las actividades de manejo influye sobre los comportamientos de las personas; frecuentemente se dejan atrás posibles sustratos con la expectativa de que produzcan esporomas aprovechables más adelante, lo cual moldea la diversidad fúngica local y su disponibilidad (Corona, 2017).

Las especies vegetales particulares, con las cuales se asocian los hongos aprovechados en milpas y cafetales, también son claramente reconocidas y se les suelen asignar atributos particulares por ser propicias para la aparición de estos organismos, tales como ser “suaves” (Alvarado Rodríguez, 2006; García Santiago, 2011; Corona, 2017). Incluso, entre algunos grupos, la propiedad comestible de una planta confiere el mismo carácter a los hongos lignícolas asociados (Alvarado Rodríguez, 2010). Otros criterios de distinción utilizados para reconocer hongos comestibles inocuos en espacios agroforestales incluyen el olor, aspectos morfológicos, vegetación asociada e incluso sabor (Alvarado Rodríguez, 2006, Corona, 2017). Asimismo, se reportan criterios de identificación de tocones propicios para el desarrollo de esporomas (Corona, 2017). Entre muchos grupos de tierras bajas, incluyendo mestizos de Veracruz, zoques y grupos mayenses en Chiapas, es frecuente la idea de que solamente los hongos “de palo” o lignícolas son comestibles, sin importar si la especie vegetal lo es, lo cual hace espacios con alta disponibilidad de materia leñosa, los cuales son sitios ideales de recolecta (Alvarado Rodríguez, 2006; del Moral, 2015). Adicionalmente, esto evidencia una clara asociación entre los hongos y los procesos de descomposición y renovación de suelos necesarios para la continuidad de espacios agroforestales. Es común que tales asociaciones vegetales particulares se reflejen



en los nombres locales, como es el caso de diversas variaciones del apelativo *chikin* (oreja), principalmente en lenguas mayas, y en particular el inclusivo *chikin te'* (oreja de árbol) o nombres como *slu' il ixim* (el hongo del maíz) asignado a *Mycosarcoma maydis*. En este sentido, también se puede señalar el nombre *sak itaj*, asignado en diversas lenguas mayas a *Pleurotus djamor*, una especie frecuentemente asociada a milpas. El elemento *itaj* es también utilizado para hierbas comestibles o “quelites” de la milpa maya, lo cual lo asocia estrechamente con el aprovechamiento diversificado de productos de este sistema (Alvarado Rodríguez, 2010).

Más allá de los aspectos ecológicos, los nombres asignados localmente a los hongos pueden reflejar conocimientos de otra índole, relacionados con representaciones y asociaciones simbólicas de hongos a los que no necesariamente se les da un aprovechamiento material. Tal es el caso, en la comunidad de Kotolte' de *Cyathus striatus*, localmente llamado *spin uch* (“olla de tlacuache”) debido a la asociación del tlacuache con la milpa y con la presencia misma de esta especie (Alvarado Rodríguez, 2010). Al encontrarse esta especie en la milpa, durante el mes de mayo, considerado también mes de la milpa, se observa la presencia o ausencia de sus peridiolos como señal de una cosecha próspera o escasa.

El huitlacoche

Existe un refrán que dice “no hay milpa sin huitlacoche” (Islas, 1961) y así lo retoma Valadez Azúa (2019) llamándolo el hongo doméstico de la milpa, donde se pregunta si el huitlacoche era una molestia porque conllevaba pérdidas en el maíz, pero ¿en qué momento se convirtió en comida?

La milpa es la base de la agricultura tradicional mesoamericana, siendo el maíz (*Zea mays*), el frijol (*Phaseolus spp.*) y la

calabaza (*Cucurbita spp.*) algunos de los representantes más conocidos. Sin embargo, cohabitan múltiples organismos, el huitlacoche, por ejemplo, coexiste con el maíz desde antes de que comenzara su domesticación (Schweizer *et al.*, 2021), ya que el *Mycosarcoma maydis* también se encuentra en el teocintle (*Zea perennis*), el ancestro del maíz (Mayett *et al.*, 2012). Se supone que el centro de origen de *Mycosarcoma maydis* se encuentra en México, desde donde se extendió tras la domesticación del maíz de teocintle, hace unos 6,000 a 10,000 años. Aunque también se piensa que esta domesticación redujo la diversidad genética de *Ustilago maydis* (Schweizer *et al.*, 2021).

En el centro de México, a pesar de que el huitlacoche se promueve como un alimento de reyes prehispánicos (Salazar-Torres, 2021), en realidad se piensa que el inicio de su consumo fue a partir de momentos críticos de hambruna en la época virreinal y era asociado a personas de escasos recursos, sin embargo, en el siglo XIX este hongo se fue estableciendo culturalmente de manera local (Valadez Azúa, 2011). A partir del siglo XX, el huitlacoche comienza a usarse como componente de platillos gourmet en la cocina francesa, con la cual empieza a difundirse su consumo de manera más extensa y la opinión acerca de él comienza a cambiar en el centro de México (Valadez Azúa, 2019). El poeta José Juan Tablada inclusive lo incluye e ilustra en una acuarela en su libro de “Hongos mexicanos comestibles” entre el periodo de 1923-1934 (Tablada, 1983). Actualmente, se le identifica como una comida exótica de la cocina mexicana (Salazar Torres, 2021) y como uno de los hongos comestibles más populares en México (Guzmán, 1997).

Entre los nombres con los que se conoce al huitlacoche encontramos: cuitlacoche, cuitacoche, cuitlacocochtli, cuitlacochoin, cuitlacochtli, carbón del maíz, caviar azteca, flores de maíz, hongo de maíz, hongo de milpa, *juas*, *kjutha*, *puax*, tecolote, *tukura*, viejito, *xánat kixi* (Guzmán, 1997). Mata (1987),



encontró que en mercados de Yucatán se le conoce con el nombre de *ta'chak*, haciendo referencia a Chak, deidad del agua y la lluvia.

Se le conoce principalmente como un hongo comestible, de hecho, Valadez Azúa (2011), incluye un recetario en su libro *Cujtlacochi*, donde se pueden encontrar más de treinta recetas como: huitlacoche con rajitas de poblano, tamales rellenos de huitlacoche, lasaña de huitlacoche con elotes y rajas, huitlacoche en salsa de chile de árbol, etcétera. Asimismo, el autor menciona que su recetario es solo una sugerencia, en parte por la cuestión del acceso a los materiales que se requieren para las recetas, pero también por la versatilidad del huitlacoche como ingrediente, el cual puede funcionar tanto en guisados salados como dulces, característica que invita a la creatividad culinaria.

Sin embargo, autores como Bautista (2013), lo catalogan no solo como un hongo comestible sino también medicinal. Guzmán (1997), reporta que en medicina tradicional, el polvito (esporas), se usa en pomadas para cuestiones cutáneas. Mariaca *et al.* (2008), encontraron que en Tenejapa y en Oxchuc, Chiapas, se utiliza para tratar la diarrea y malestares estomacales.

Un tema importante acerca de la asociación del huitlacoche con el maíz es su susceptibilidad, ya que no todos los maíces pueden infectarse, hay unos más resistentes que otros (Madrigal Rodríguez *et al.*, 2010), y parte de su resistencia se puede observar en la forma en la que se desarrollan las agallas, si éstas cubren hasta cierto grado la mazorca (Castañeda de León *et al.*, 2016), son datos que pueden ayudar a entender cómo fue la virulencia de *Mycosarcoma maydis*. También Pataky (1995), menciona que los maíces dulces son más susceptibles a desarrollar la infección. Para fines de producción, se suelen utilizar maíces híbridos, debido a que son más uniformes a nivel genético a diferencia de maíces criollos, los cuáles son muy heterogéneos y dan resultados inconsistentes para cuestiones de

comercialización. Otros factores que afectan la aparición del huitlacoche son la humedad y la temperatura (Aguayo et al., 2016) donde se ha observado que prefiere áreas cálidas (26-34°C) y moderadamente secas (Martínez M. *et al.*, 2000).

En recientes años se han descrito sus propiedades nutricionales y funcionales, por lo que se ha promovido su consumo. A nivel nutricional, se menciona que tiene un alto contenido de proteínas, aminoácidos esenciales (siendo la lisina la más abundante), fibra cruda, carbohidratos y bajos niveles de grasa. En cuanto a sus propiedades funcionales, se ha reportado que tiene un posible papel nutracéutico, ya que al estudiar los compuestos bioactivos se ha observado que tiene capacidad antioxidante (Beas *et al.*, 2011; Aydoğdu y Gölükçü, 2017). Otros autores mencionan que además de sus capacidades antioxidantes, se ha reportado que tiene propiedades anticancerígenas, antimicrobianas, antidiabéticas y capacidad para regular la hipertensión (Castañeda *et al.*, 2016).

Todavía queda mucho conocimiento que generar acerca del huitlacoche (Noyola, 2018), queda mucho que pensar sobre el huitlacoche como un componente de la milpa, el cual ha formado parte de los sistemas agrícolas desde sus inicios (Schweizer *et al.*, 2021), el cual se ha ido adentrado en nuestras tradiciones culinarias y medicinales (Guzmán, 1997; Valadez-Azúa, 2011). El huitlacoche se nos ha presentado a lo largo de los años a veces como una bendición y otras como una maldición.

Consideraciones finales

Los hongos, más allá de su importancia como un recurso forestal no maderable propio de espacios con vegetación conservada, deben empezar a considerarse como un recurso presente en los agroecosistemas, no solo por el número y la composición de especies comestibles y medicinales que se pueden encontrar,



sino por su disponibilidad, es decir, la abundancia de esporomas presentes y la biomasa producida.

Los datos presentados a lo largo de este capítulo deben generar una reflexión al respecto de los agroecosistemas para conceptualizarlos, no solo como un espacio de siembra que produce ciertas especies cultivadas y de donde se obtienen plantas toleradas y fomentadas o animales silvestres útiles que se pueden encontrar ahí, sino pensarlos como un reservorio de un alto número de especies de hongos aprovechables.

Referencias bibliográficas

- Aguayo González, D., Acosta Ramos, M., Pérez Cabrera, L., Guevara Lara, F. y García Munguía, A. (2016). Producción natural de huitlacoche [*Ustilago maydis* (DC) Corda] en el estado de Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1043-1050.
- Aguirre Acosta, E., Ulloa, M., Aguilar, S., Cifuentes, J., y Valenzuela, R. (2014). Biodiversidad de hongos en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(Supl. ene), S76-S81. <https://doi.org/10.7550/rmb.33649>
- Alvarado Castillo, G. y Benítez, G. (2009). El enfoque de agroecosistemas como una forma de intervención científica en la recolección de hongos silvestres comestibles. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(3), 531-539.
- Alvarado Rodríguez, R. (2006). *Etnomicología zoque en la localidad de Rayón, Chiapas, México*. [Tesis de licenciatura, Escuela de Biología, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].
- Alvarado Rodríguez, R. (2010). *Conocimiento micológico local y micetismo: una aproximación a la etnomicología tseltal de Kotolte', Tenejapa, Chiapas, México* [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Sur].

- Aydoğdu, M y Gölükçü, M. (2017). Nutritional value of huitlacoche, maize mushroom caused by *Ustilago maydis*. *Food Science and Technology*, 37(4), 531-535.
- Bautista, J. (2013). *Conocimiento tradicional de hongos medicinales en seis localidades diferentes del país*. [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Beas, R., Loarca, G., Guzmán, S., Rodríguez, M., Vasco, N. y Guevara, F. (2011). Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 42(2), 36-44
- Caballero, J. (1992). Maya homegardens: past, present and future. *Etnoecológica*, 1(3), 5-54.
- Canet, G., Soto, C., Ocampo, P., Rivera, J., Navarro, A., Guatemala, G., y Villamil, L.C. (2016). La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ), <http://repositorio.iica.int/handle/11324/2792>
- Cano, E. J. (2015). Huertos familiares: un camino hacia la soberanía alimentaria. *Revista pueblos y fronteras digital*, 10(20), 70-91.
- Castañeda de León, V. T., Leal Lara, H. (2012). Logros y desafíos de la producción masiva de Cuitlacoche *Ustilago maydis* en México. En: Sánchez, J. E. y Mata, G. (eds.). *Hongos comestibles en Iberoamérica*. El Colegio de la Frontera Sur. Pp. 193-206.
- Chacón, S. (1988). Conocimiento etnoecológico de los hongos en Plan de Palmar, Municipio de Papantla, Veracruz, México. *Micología Neotropical Aplicada*, 1, 45-54.
- Cobo, R. y Paz, L. (2009). *Milpas y cafetales en Los Altos de Chiapas. Corredor Biológico Mesoamericano México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Contreras, L. E. U. (2021). la milpa maya lacandona, seguridad alimentaria y educación. *Mirada antropológica*, 16(21), 129-148.



- Corona, S. M. (2017). *Prácticas tradicionales de aprovechamiento de los hongos silvestres alimenticios en Zongozotla, Puebla, México* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Da Cunha, E., Leonardo-Silva, L., Dall'Ara Guimarães, L. y Xavier-Santos, S. (2020). Scientometrics of global scientific production about ethnomycology. *Revista Etnobiología*, 18(3), 3-23.
- Del Moral, P. Contreras, A., Medel, R. y Ruan-Soto, F. (2017). *Hongos comestibles del cafetal*. Sagarpa.
- Del Moral, P. (2015). *Productividad y estrategias de aprovechamiento de hongos comestibles en cafetales del centro de Veracruz* [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana].
- Duché García, T. T. A., Ocampo Fletes, I., Cruz Hernández, J., Hernández Guzmán, J. A., Macías-López, A., Jiménez-García, D. y Hernández-Romero, E. (2021). Microbial groups in a milpa agroecosystem interclassified with fruit trees in high valleys of Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(72), 1-17.
- Fonseca S. A. (2006). El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica*, 80, 19-31.
- García Santiago, W. (2011). *Conocimiento Micológico tradicional en el ejido Ribera El Gavilán, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas* [Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].
- Garibay Orijel, R., Ruan Soto, F. y Estrada Martínez, E. (2010). El conocimiento micológico tradicional, motor para el desarrollo del aprovechamiento de los hongos comestibles y medicinales. En: Martínez Carrera, D., Curvetto, N., Sobal, M., Morales, P. y Mora, V. M. (eds.). *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI*. El Colegio de Postgraduados. Pp. 243-270.

- Garibay Orijel, R. (2009). Los nombres zapotecos de los hongos. *Revista mexicana de micología*, 30, 43-61.
- González Jácome, A. (2007). Agroecosistemas mexicanos: pasado y presente, Itinerarios, *Revista de la Universidad de Varsovia*, 6, 55-80.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G. y Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1-4), 17-35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.009>.
- Guzmán, G. (1997). *Los nombres de los hongos y lo relacionado con ellos en América Latina*. Instituto de Ecología A. C.
- Haro Luna, M. X., Blancas Vázquez, J. J, Ruan Soto, F., y Guzmán Davalos, L. (2022). Sociocultural drivers of mycological knowledge: insights from Wixarika and Mestizo groups in western Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 18, 68
- Haro Luna, M. X., Ruan Soto, F. y Guzmán Davalos L. (2019). Traditional knowledge, uses, and perceptions of mushrooms among the Wixaritari and mestizos of Villa Guerrero, Jalisco, México. *IMA Fungus*, 10, 16.
- Hernández, E. (1959). La agricultura en la Península de Yucatán. En: Beltrán, E. (ed.). *Los recursos naturales del Sureste y su aprovechamiento*. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. Pp:1-58.
- Islas, L. (1961). *Diccionario rural de México*. Comaval.
- López García, A., Pérez Moreno, J., Jiménez Ruiz, M, Ojeda Trejo, E., Delgadillo Martínez, J., y Hernández Santiago F. (2020). Conocimiento tradicional de hongos de importancia biocultural en siete comunidades de la región chinanteca del estado de Oaxaca, México. *Scientia fungorum*, 50, e1280.
- Loreto, D., Esperón Rodríguez, M. y Barradas, V. L. (2017). The climatic-environmental significance, status and socioeconomic perspective of the grown-shade coffee agroecosystems in the central mountain region of Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, 92, 87-100.



- Macip Rios, R., y Casas Andreu, G. (2008). Los cafetales en México y su importancia para la conservación de los anfibios y reptiles. *Acta Zoológica Mexicana*, 24(2), 143-159.
- Madrugal Rodríguez, J., Villanueva Verduzco, C., Sahagún Castellanos, J., Marcelo Acosta, M., Lauro Martínez, L. y Espinosa, T. (2010). Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* Corda.) mejorando su virulencia. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 6(2), 241-255.
- Mariaca, R. (2015). La milpa maya yucateca en el siglo XVI: evidencias etnohistóricas y conjeturas. *Etnobiología*, 13(1), 1-25.
- Mariaca, R. (2012). La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México. En: Mariaca, R. (ed.). *El huerto familiar del sureste de México, México*. El Colegio de la Frontera Sur, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco. Pp. 7-97.
- Mariaca Méndez, R., Ruan-Soto, F. y Cano Contreras, J. (2008). Conocimiento tradicional de *Ustilago maydis* en cuatro grupos mayenses del sureste de México. *Etnobiología* 6(1), 9-23.
- Martínez M, L., Villanueva Verduzco, C. y Sahagún Castellanos, J. (2000). Susceptibilidad y resistencia del maíz al hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* DC Corda.) Mejorando su virulencia. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6(2), 241-255.
- Mata, G. (1987). Introducción a la etnomicología maya de Yucatán. El conocimiento de los hongos en Pixoy, Valladolid. *Revista Mexicana de Micología*, 3, 175-188.
- Mayett, Y, Martínez Carrera, D, Sobal, M., Morales, P. y Bonilla, M. (2012). Los precios de los hongos y su efecto en el consumo: el caso de México. *Micología Aplicada Internacional* 24(1), 11-26.
- Moreno Fuentes, A. (2007). Un acercamiento a la clasificación de los hongos. En: Contreras Ramos, A., Cuevas Cardona, C., Goyenechea, I. e Iturbe, U. (eds.). *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Noyola, L. (2018). Lo mejor de dos reinos: la ciencia aplicada al huitlacoche. Entrevista con Daniel Martínez Carrera. *Elementos* 110, 23-32.
- Pataky, J., Nankam, C. y Kerns, M. (1995). Evaluation of a silk-inoculation technique to differentiate reactions of sweet corn hybrids to common smut. *Phytopathology*, 85(10), 1323-1328.
- Ramírez Terrazo, A., Montoya, A. y Kong, A. (2021). Conocimiento micológico tradicional en dos comunidades aledañas al Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. *Scientia Fungorum*, 51, 31321
- Rodríguez Gutiérrez, I., Garibay Orijel, R., Sierra, S., Jiménez Zárate, J., Cervantes Chávez, J. A., Villarruel Ordaz, J. L., Cifuentes, J., Landeros, F. (2022). El género *Auricularia* (Agaricomycotina: Basidiomycota) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, 1-17. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3994>
- Ruan Soto, F., Cifuentes, J., Garibay Orijel, R. y Caballero, J. (2021). Comparación de la disponibilidad de hongos comestibles en tierras altas y bajas de Chiapas, México, y sus implicaciones en estrategias tradicionales de aprovechamiento. *Acta Botánica Mexicana*, 128, e1731. <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1731>
- Sans. F. X. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16(1), 44-49.
- Salazar Torres, J., Méndez López, A., Álvarez Hernández, R. y Sánchez Vega, M. (2021). *El huitlacoche, alimento prehispánico vigente en México. Historia, aprovechamiento y técnicas de producción*. Universidad Autónoma de Chapingo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Schweizer, G., Bilal-Haider, M., G. Barroso, G., Rössel, N., Münch, K., Kahmann, R. y Dutheil, J. (2021). Population Genomics of the Maize Pathogen *Ustilago maydis*: Demographic History and Role of Virulence Clusters in Adaptation. *Genome Biology and Evolution*, 13(5), evab073.



- Sol, S. A. (2012). El papel económico de los huertos familiares y su importancia en la conservación de las especies y variedades locales. En: Mariaca, R. (ed.). *El huerto familiar del sureste de México. Colegio de la Frontera Sur, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco*. Pp. 361-370.
- Tablada, J. (1983). *Hongos mexicanos comestibles*. Fondo de cultura económica, Academia Mexicana de la Lengua.
- Thrupp, L. A. (2000). Linking agricultural biodiversity and food security: The valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *International Affairs*, 76(2), 265-281.
- Valadez Azúa, R. (2019). El cuitlacoche. El hongo doméstico de la milpa. *Arqueología Mexicana*, 87, 70-71.
- Valadez-Azúa, R., Moreno, A. y Gómez, G. (2011). *Cujtlacoche: El Huitlacoche*. UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas.
- Valencia Flores, I. (2006). *Uso tradicional de los hongos en San Pedro Nexapa, Estado de México* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Wasson, V. P., y Wasson, R. G. (1957). *Mushrooms: Russia and History*. Pantheon Books.

Tabla 1.

Especies de hongos reportados para agroecosistemas mexicanos.

Especies	Cafetal	Milpa	Uso	Especies	Cafetal	Milpa	Uso
<i>Agaricus aff. dulcidulus</i>	X		sin uso	<i>Calvatia craniiformis</i> (Schwein.) Fr.	X		comestible
<i>Agaricus</i> sp.	X	X	comestible	<i>Calvatia cyathiformis</i> (Bosch) Morgan	X	X	comestible
<i>Agaricus subrufescens</i> Peck	X		comestible	<i>Cantharellus gpo. cibarius</i>		X	comestible
<i>Agaricus xanthodermus</i> Genev.	X		sin uso	<i>Cantharellus tubaeformis</i> Fr.	X		comestible
<i>Amanita gpo. caesarea</i>	X		comestible	<i>Clitocybe</i> spp.		X	comestible
<i>Amanita vaginata</i> (Bull.) Lam.	X	X	comestible	<i>Collybia dryophila</i> (Bull.) P. Kumm.	X	X	comestible
<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.	X	X	comestible	<i>Cookeina speciosa</i> (Fr.) Dennis		X	comestible
<i>Auricularia auricula-judae</i> * (Bull.) Quéf.	X		comestible	<i>Cookeina tricoloma</i> (Mont.) Kuntze		X	comestible
<i>Auricularia cornea</i> Ehrenb.	X		comestible	<i>Coprinellus disseminatus</i> (Pers.) J.E. Lange	X		sin uso
<i>Auricularia tremellosa</i> ** (Fr.) Pat.	X	X	comestible	<i>Crepidotus latifolius</i> var. <i>latifolius</i>	X		sin uso
<i>Auricularia fuscosuccinea</i> (Mont.) Henn. 1893	X		comestible	<i>Cyathus colensoi</i> Berk.		X	agorero
<i>Auricularia brasiliiana</i> ** Y.C. Dai & F. Wu		X	comestible	<i>Cyathus striatus</i> Willd.		X	agorero
<i>Auricularia nigricans</i> Birkebak, Looney & Sánchez-García	X		comestible	<i>Cytotrama asprata</i> (Berk.) Redhead & Ginns	X		sin uso
<i>Boletus</i> spp.	X	X	comestible	<i>Dactylosporina steffenii</i> (Rick) Dörfelt	X	X	comestible
<i>Daldinia concéntrica</i> (Bolton) Ces. & De Not.	X	X	comestible	<i>Otidea onotica</i> (Pers.) Fuckel	X	X	comestible
<i>Daldinia fissa</i> Lloyd		X	comestible	<i>Oudemansiella canarii</i> (Jungh.) Höhn.	X	X	comestible
<i>Desarmillaria tabescens</i> (Scop.) R.A. Koch & Aime		X	comestible	<i>Oudemansiella</i> sp.	X		sin uso
<i>Favolus tenuiculus</i> P. Beauv.		X	comestible	<i>Panus conchatus</i> (Bull.) Fr.	X		comestible
<i>Gerronema aff. bryogeton</i>	X		sin uso	<i>Pleuroflammula tuberculosa</i> (Schaeff.) E. Horak	X		sin uso
<i>Gimnopilus</i> sp.	X	X	comestible	<i>Pholiota</i> sp.	X		sin uso
<i>Gymnopilus lepidotus</i> Hesler	X		sin uso	<i>Phylloboletellus chloephorus</i> Singer	X		sin uso
<i>Gymnopus</i> sp.	X		sin uso	<i>Pleurocybella</i> sp.	X		sin uso
<i>Gyrodon africanus</i> (Cooke & Masee) Singer	X		sin uso	<i>Pleurotus djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn	X	X	comestible
<i>Helvella crispa</i> Bull.	X	X	comestible	<i>Pluteus harrisii</i> Murrill		X	comestible
<i>Helvella elástica</i> Bull.	X	X	comestible	<i>Pluteus</i> sp.	X	X	sin uso
<i>Hydnum repandum</i> L.	X	X	comestible	<i>Polyporus alveolaris</i> (DC.) Bondartsev & Singer		X	comestible
<i>Hydropus nigrita</i> (Berk. & M.A. Curtis) Singer	X		sin uso	<i>Psathyrella</i> sp.	X		sin uso
<i>Laccaria amethystina</i> Cooke	X	X	comestible	<i>Fabiusporus sanguineus</i> (L.) Zmitr.	X	X	comestible
<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke	X	X	comestible	<i>Ramaria</i> spp.	X	X	comestible



<i>Especies</i>	Cafetal	Milpa	Uso	<i>Especies</i>	Cafetal	Milpa	Uso
<i>Laccaria próxima</i> (Boud.) Pat.	X	X	comestible	<i>Ripartitella alba</i> Halling & Franco-Mol.	X		sin uso
<i>Lactarius gpo. deliciosus</i>	X	X	comestible	<i>Russula pectinatoides</i> Peck	X		toxico
<i>Lactarius indigo</i> (Schwein.) Fr.	X	X	comestible	<i>Russula pseudoaeruginea</i> (Romagn.) Romagn.	X		comestible
<i>Lentinus crinitus</i> (L.) Fr.	X	X	comestible	<i>Schizophyllum commune</i> Fr.		X	comestible
<i>Lentinus strigosus</i> Fr.		X	comestible	<i>Scleroderma areolatum</i> Ehrenb. 1818	X		toxico
<i>Lentinus tricholoma</i> (Mont.) Zmitr.	X	X	comestible	<i>Scleroderma cepa</i> Pers.	X		toxico
<i>Lentinus velutinus</i> Fr.		X	comestible	<i>Stropharia</i> sp.	X		sin uso
<i>Lepiota</i> sp.	X		sin uso	<i>Suillus</i> spp.	X	X	comestible
<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	X	X	comestible	<i>Tetrapyrgos nigripes</i> (Fr.) E. Horak	X		sin uso
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	X	X	comestible	<i>Tremella</i> spp.	X	X	comestible
<i>Lyophyllum</i> sp.	X		sin uso	<i>Sebacina schweinitzii</i> (Peck) Oberw.	X	X	comestible
<i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer		X	comestible	<i>Turbinellus floccosus</i> (Schwein.) Earle	X	X	comestible
<i>Marasmius tageticolor</i> Berk.	X		sin uso	<i>Mycosarcoma maydis</i> (DC.) Bref.		X	comestible
<i>Mycena aff. pura</i>	X		comestible	<i>Volvariella volvacea</i> (Bull.) Singer	X		comestible

* Especie que no se distribuye únicamente en América, por lo que los ejemplares reportados podrían ser *Auricularia americana* y *A. angiospermarum* de acuerdo con Rodríguez-Gutiérrez *et al.* (2022).

**Reportada anteriormente como *A. delicata*, no obstante, esta es de distribución africana (Rodríguez-Gutiérrez *et al.*, 2022).

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

Potencial de la hoja de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) para el cultivo de *Schizophyllum radiatum*

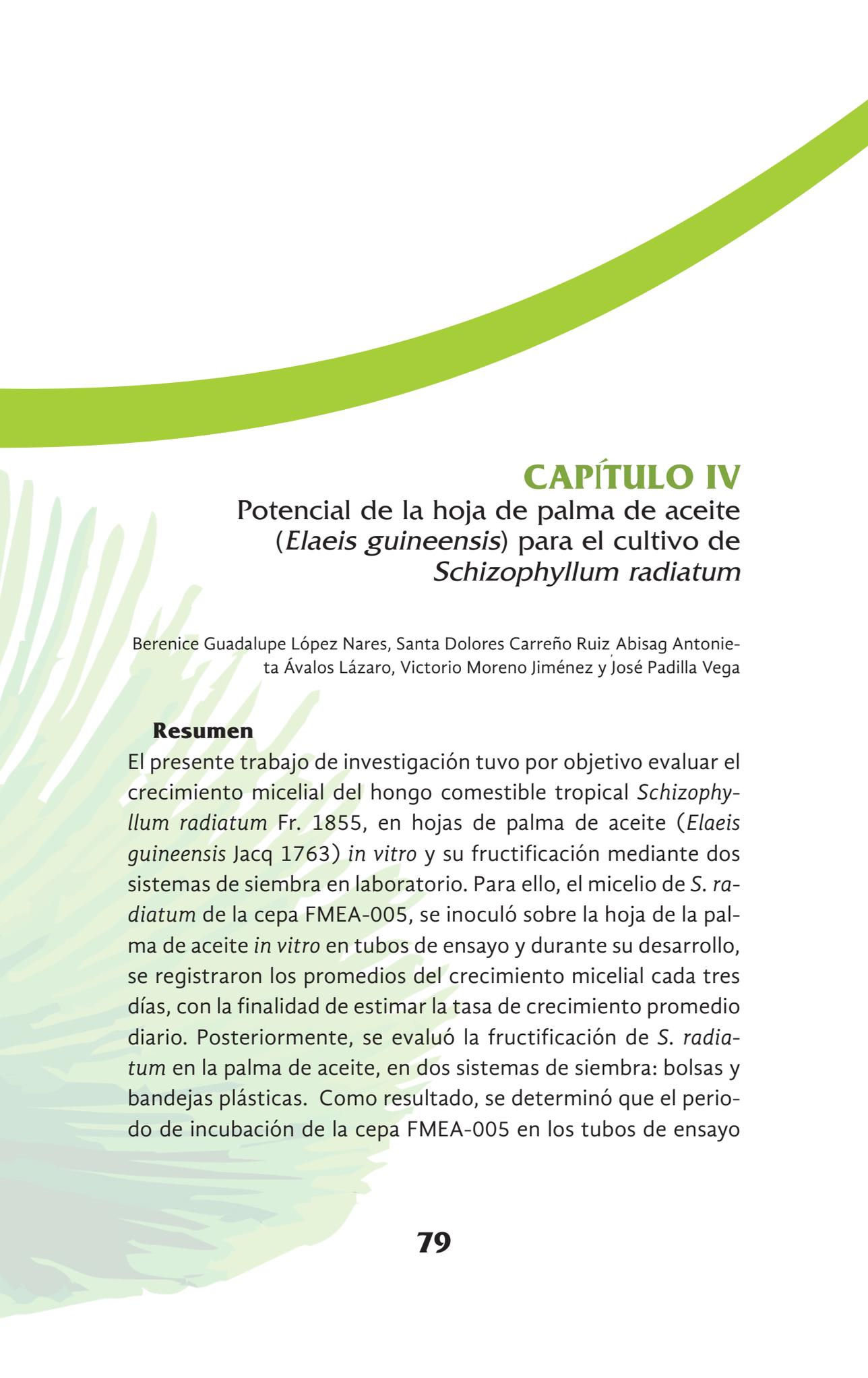
Berenice Guadalupe López Nares¹, Santa Dolores Carreño Ruiz¹, Abisag Antonieta Ávalos Lázaro^{1*}, Victorio Moreno Jiménez¹ y José Padilla Vega³

¹ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios. Carretera Catazajá-Palenque Km. 4 Chiapas. C.P. 29980. Cel: 916 1000 736 (santa.carreno@unach.mx).

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Carretera Estatal Libre Villahermosa-Comalcalco Km. 27+000 s/n Ranchería Ribera Alta, C.P. 86205. Tel: (01 993) 358 15 00 Ext. 5201, 5203. Jalpa de Méndez, Tabasco, México.

³ Universidad Intercultural del Estado de Tabasco. Poblado Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco. Carretera Oxolotán - Tacotalpa Km.1 s/n frente a la EST23. C.P. 86890. Tel: 9939 80 15 71





CAPÍTULO IV

Potencial de la hoja de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) para el cultivo de *Schizophyllum radiatum*

Berenice Guadalupe López Nares, Santa Dolores Carreño Ruiz, Abisag Antonieta Ávalos Lázaro, Victorio Moreno Jiménez y José Padilla Vega

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo evaluar el crecimiento micelial del hongo comestible tropical *Schizophyllum radiatum* Fr. 1855, en hojas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq 1763) *in vitro* y su fructificación mediante dos sistemas de siembra en laboratorio. Para ello, el micelio de *S. radiatum* de la cepa FMEA-005, se inoculó sobre la hoja de la palma de aceite *in vitro* en tubos de ensayo y durante su desarrollo, se registraron los promedios del crecimiento micelial cada tres días, con la finalidad de estimar la tasa de crecimiento promedio diario. Posteriormente, se evaluó la fructificación de *S. radiatum* en la palma de aceite, en dos sistemas de siembra: bolsas y bandejas plásticas. Como resultado, se determinó que el periodo de incubación de la cepa FMEA-005 en los tubos de ensayo

es de nueve días. La velocidad de crecimiento micelial promedio diario en la hoja de la palma de aceite es de 6 mm. En cuanto a la fructificación, se identificó que existen ligeras diferencias en relación con los tiempos que conllevan las diferentes etapas del ciclo del cultivo en los dos sistemas de siembra (bolsas y bandejas plásticas), principalmente en el periodo de incubación con duración de 12 y 11 días, respectivamente. Así mismo, la aparición de primordios se registró a los cinco días después del periodo de incubación. Esto representa la obtención de fructificaciones en corto tiempo en comparación con otros hongos comestibles tropicales. Los valores máximos de los índices de producción, eficiencia biológica, rendimiento y tasa de producción, fueron 0.5 %, 1.01 % y 0.01 % respectivamente en ambos sistemas. El desarrollo de la investigación permite sugerir la viabilidad del cultivo de *S. radiatum* sobre los residuos de la palma de aceite con fines agroindustriales, en Catazajá, Chiapas y recomendar los cuidados correspondientes para asegurar el éxito en su producción.

Introducción

En México se reconocen dos vías de obtención del recurso hongos comestibles: los hongos comestibles silvestres (HCS) y los hongos comestibles cultivables. Los primeros, se distinguen porque son recolectados en el ambiente natural, principalmente en los bosques de clima templado, así mismo, se dispone de ellos por temporadas en el transcurso del año, mientras que el segundo grupo se obtiene a partir de su propagación con diferentes tecnologías de cultivo, a escala de laboratorio o de manera intensiva con fines comerciales, para obtenerlos en cualquier época del año (Cano Estrada y Romero Bautista, 2016).

Los hongos comestibles silvestres (HCS) tienen un alto valor económico y gastronómico, debido a sus propiedades nutracéuticas y medicinales. Presentan una composición química que

contiene el 90% de agua y 10% de materia seca, de los cuales 27-48% son de proteína, aproximadamente 60% corresponde a carbohidratos, en especial fibras dietéticas (D-glucanos, quitina y sustancias pépticas) y 2-8% son lípidos, entre los cuales destaca el ácido linoleico. El contenido de minerales en los hongos comestibles varía entre 6 y 11% según la especie; los que aparecen en mayor cantidad son el calcio, potasio, fósforo, magnesio, zinc y cobre. En cuanto al contenido de vitaminas, los hongos comestibles son ricos en riboflavina (B2), niacina (B3) y folatos (B9) (Cano Estrada y Romero Bautista, 2016).

Así también son considerados como alimentos funcionales, pues además de sus propiedades nutricionales antes mencionadas, se han demostrado efectos benéficos para la salud. Su acción terapéutica es atribuida a los compuestos bioactivos que poseen en sus cuerpos fructíferos, como los compuestos fenólicos, los pigmentos carotenoides y el ergosterol, que reducen el riesgo de contraer enfermedades, especialmente cáncer o trastornos cardiovasculares, también actúan contra el envejecimiento celular (Cano Estrada y Romero Bautista, 2016).

Por su parte, los hongos comestibles cultivables han tenido un impacto en la sociedad debido a que su forma de producción es sustentable y aporta a la economía local, aprovechando los residuos de las actividades agrícolas y o sustratos residuales de diversas agroindustrias como la del café, maíz, cebada y coco entre otras, debido al carácter que presentan estos hongos, en relación con su consumo de materia orgánica para su crecimiento (Gaitán Hernández, 2023).

La fungicultura, es decir, el cultivo de hongos comestibles se ha incorporado en décadas recientes como una actividad complementaria a las actividades agropecuarias. Los sistemas de producción fungícolas pueden cumplir diversas funciones sociales y ambientales, que van desde la seguridad alimentaria y el desarrollo de la economía local, hasta aplicaciones biotecnológicas



para la producción agropecuaria sustentable (Huacash Pale y Ocampo Guzmán, 2021).

Asimismo, al ser agentes naturales que degradan el sustrato utilizado en el proceso productivo, pueden aportar abono a otros vegetales silvestres o cultivados (Huacash Pale y Ocampo Guzmán, 2021). Además, al obtener los nutrientes de estos, es importante suministrar un sustrato adecuado al hongo cuando se le intente cultivar, para que los nutrientes puedan ser aprovechados por estos organismos (Gaitán Hernández, 2023). En los últimos años, se han desarrollado múltiples investigaciones con el propósito de estimar las propiedades nutritivas y medicinales de los recursos fúngicos, las cuales han demostrado que las propiedades nutritivas de los hongos producidos varían dependiendo del sustrato y de los métodos de cultivo empleados para su producción (Cappello García *et al.*, 2018).

En la actualidad, la agroindustria de los hongos comestibles en México se caracteriza por su desarrollo histórico. En este sentido, en el sureste mexicano aún se requiere de investigaciones que permitan el desarrollo tecnológico en relación con este sector. Sin embargo, en los últimos años, en esta zona se ha trabajado el cultivo de especies como *Auricularia sp.*, *Pleurotus djamor* (Sánchez Hernández *et al.*, 2010) y *Schizophyllum commune* (Carreño *et al.*, 2020). Aunque aún no se explota su desarrollo y aplicación en las comunidades.

Aunado a lo anterior, en Chiapas, aún existe desconocimiento acerca del manejo biotecnológico de los recursos fúngicos locales. Aunque existen antecedentes de trabajos realizados sobre el cultivo de hongos con especies de los géneros *Auricularia* y *Pleurotus*, aún se desconoce información sobre el manejo biotecnológico de especies tropicales nativas. Las cuales poseen un alto potencial de desarrollo en las zonas tropicales debido a su resistencia a altas temperaturas, lo que facilita no depender

de tecnologías de alto costo y de compra de micelios para su propagación (Carreño *et al.*, 2020).

En este sentido, la producción de hongos locales constituye una vía para poder generar insumos que permitan el desarrollo de nuevos productos destinados a solventar problemas de abasto de alimentos funcionales ricos en aminoácidos, vitaminas y minerales. Además de otros productos de las industrias farmacéuticas y cosméticas, que serán necesarios ante el acelerado crecimiento de la población. Así mismo, esta alternativa constituye nuevas formas de producción y rescate del patrimonio biocultural, dado que especies como las del género *Schizophyllum* se consumen de manera tradicional por los pueblos originarios de Chiapas y de México.

Por lo que, con esta investigación, se pretende generar información básica que permita desarrollar el cultivo de *Schizophyllum radiatum* en la región Maya de Chiapas, con la finalidad de generar fructificaciones de esta especie para su consumo en fresco o para su posterior procesamiento, a fin de constituir nuevos productos funcionales para la salud a partir de las industrias alimentarias y no alimentarias, que al mismo tiempo contribuirían en el desarrollo económico local y representan una nueva área de oportunidad para la agroindustria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de los recursos biológicos

La cepa empleada se aisló a partir de una colecta realizada en la localidad Alan Sac'jun del municipio de Chilón, Chiapas (Figura 1). Ésta se encuentra bajo resguardo en la Colección de Cepas de hongos comestibles y medicinales de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios - Universidad Autónoma de Chiapas con el registro FMEA-005.



Figura 1
Cepa FMEA-005



Fuente: Aislamiento de la cepa y Fotografía: Santa Dolores Carreño Ruiz

Por su parte, el sustrato de hojas de la palma de aceite provino de una plantación ubicada en Santa Cruz Loma Bonita, Catazajá, Chiapas. Estas se recolectaron secas, evitando aquellas que presentaran signos de contaminación por hongos microscópicos u otros microorganismos.

Elaboración del inóculo

La elaboración del inóculo inició con la activación de la cepa FMEA-005 en el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Posteriormente, se procedió a realizar 100 gr inóculo primario, para ello se emplearon semillas de sorgo rojo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), siguiendo la metodología de Gaitán Hernández *et al.* (2006).

Las semillas se lavaron e hidrataron durante 12 h, se enjuagaron y se escurrieron con ayuda de un cernidor. Se les eliminó el exceso de humedad y se les agregó una proporción de cal

[Ca(OH)₂] y yeso (CaSO₄) al 0.01 % (con base en el peso seco de las semillas).

Posteriormente, los 100 gr de las semillas se colocaron en un frasco de vidrio limpio y este se esterilizó a 121 °C durante 40 minutos en una olla de presión. Luego de ello, el frasco se dejó enfriar en un área aséptica, a temperatura ambiente (30±3 °C), de manera cuidadosa las semillas se agitaron dentro del mismo para homogenizar la humedad, luego se le colocaron tres implantes de aproximadamente 1cm² con el micelio de la cepa, se removieron cuidadosamente y el inóculo se incubó en condiciones de completa obscuridad, hasta que el micelio cubriera totalmente las semillas.

Inoculación de los sustratos

El sustrato se fragmentó en pedazos de aproximadamente 1cm², para hidratarlo por inmersión durante 12 h, posterior a ello, se procedió a escurrir las hojas. Una vez terminado este proceso, se agregó cal (CaO) y yeso (CaSO₄) al 0.01%, con relación al peso seco del sustrato y se procedió a rellenar tubos de ensayo de 95 x 11 mm, a 75 mm del volumen a partir de su base, para un total de 5 tubos.

Los tubos se esterilizaron durante 40 min a 121 °C, se enfriaron en condiciones asépticas, a cada tubo se le agregó 1g del inóculo previamente preparado. Posteriormente se les colocó un tapón de algodón estéril para permitir el intercambio gaseoso y se incubaron en condiciones de obscuridad a temperatura ambiente 30±2 °C.

Evaluación del crecimiento micelial

Para evaluar el crecimiento micelial de *S. radiatum* en la hoja de palma de aceite de manera *in vitro*, se realizó una prueba en



tubos de ensayo a escala de laboratorio, siguiendo la metodología de Gaitán Hernández y Salmones (2015).

La tasa de crecimiento (K_r) del micelio, se calculó con la función de crecimiento lineal $y = K_r x + c$ (donde y es la distancia, x es el tiempo y c el factor constante) y se expresa en mm por día (mm d^{-1}). Para ello, a cada tubo se le rotularon dos líneas longitudinales opuestas, "A" y "B" y sobre éstas se midió el crecimiento del micelio cada tres días, hasta que el micelio cubrió el sustrato por completo. Los datos obtenidos se concentraron en una matriz para su procesamiento.

Evaluación de la fructificación de *S. radiatum*

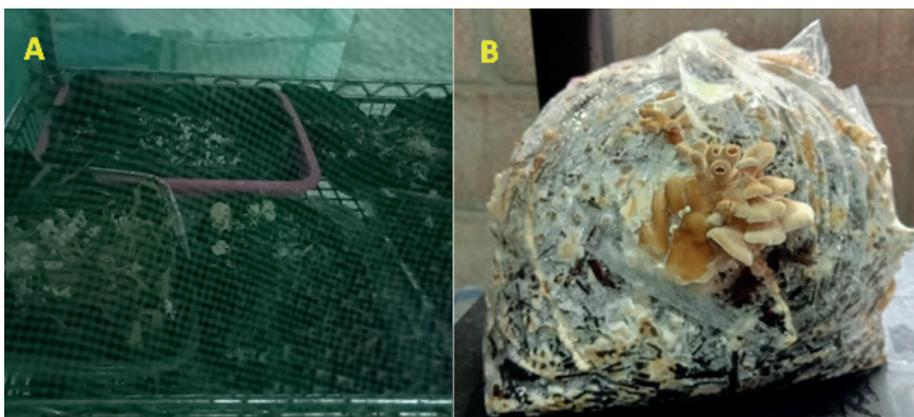
Para evaluar la eficiencia del cultivo en la especie trabajada, se empleó un diseño experimental de tipo bloques al azar, delimitado por la variable tipos de cultivo, obteniendo los bloques T1 sistema de cultivo en bolsas y T2 sistema de cultivo en bandejas plásticas con cinco repeticiones para cada tratamiento, cada repetición constó de 1 k de sustrato húmedo. Estas se seleccionaron al azar para realizar las mediciones correspondientes.

Para la siembra de *S. radiatum* el sustrato se fragmentó en trozos pequeños de 1 a 3 cm^2 , se hidrató durante 24 h, se escurrió y se le agregó cal (CaO) y yeso (CaSO_4) al 0.01% con relación al peso seco del sustrato. Se colocó dentro de redes plásticas y se pasteurizó en una olla de acero inoxidable a 80 °C, durante 60 minutos.

Luego de ello se dejó enfriar durante 24 h y se realizó la siembra, empleando el inóculo preparado con las semillas de sorgo. Por cada bolsa y bandeja plástica inoculada se emplearon 60 gr de inóculo.

Para el caso de la siembra en bolsas, al día siguiente de su inoculación se realizaron cortes en forma de “X” con ayuda de una navaja estéril en la periferia de las bolsas a fin de favorecer la oxigenación del sustrato. Mientras que, para las bandejas plásticas, se empleó una recubierta plástica para siembra, a la cual, al día siguiente de la misma, se le realizaron cortes longitudinales con la finalidad de favorecer la oxigenación. Los tratamientos se incubaron en condiciones de obscuridad durante 10 a 15 días, a temperatura ambiente ($30\pm 2^{\circ}\text{C}$). Durante este tiempo, se realizaron observaciones periódicas hasta que el micelio cubrió por completo al sustrato. Posteriormente, los cultivos se expusieron a la luz en un estante cubierto con malla mosquitera, a fin de prevenir plagas de insectos (Figura 2). Así mismo, se iniciaron los riegos por aspersion manual tres veces al día.

Figura 2
Sistemas de siembra. A) en bandejas, B) en bolsas



Fuente: Fotografía de Santa Dolores Carreño Ruiz

Cuando se observó la formación de cuerpos fructíferos se procedió a realizar los cortes correspondientes. Así mismo,



durante este periodo, se evaluaron las variables de: aparición de primordios, fecha de primer corte, total de cortes, peso fresco y seco de cuerpos fructíferos, características generales de los cuerpos fructíferos y duración del ciclo de cultivo.

Resultados y discusión

Como resultado de la prueba de crecimiento micelial en los tubos de ensayo, se comprobó que el periodo de incubación de la cepa FMEA-005 es de 9 días, representando este tiempo el periodo en el que la cepa tardó en cubrir el sustrato por completo dentro de los tubos de ensayo. Así mismo, se estimó que la tasa de crecimiento micelial promedio es 6 mm como se observa en la Tabla 1, Figura 3.

Tabla 1

Estimación del crecimiento micelial promedio diario de *S. radiatum* en los tubos de ensayo.

RÉPLICAS (TUBOS)	Cálculo del crecimiento cada tres días										Por día
	1 al 3			3 al 6			6 al 9			Entre 3	
	A	B	P	A	B	P	A	B	P	P	
1	12	15	13.5	23	30	26.5	30	20	25	21.7	7
2	10	16	13	30	24	27	25	25	25	21.7	7
3	12	15	13.5	23	15	19	25	20	22.5	18.3	6
4	14	11	12.5	26	24	25	25	30	27.5	21.7	7
5	12	15	13.5	23	20	21.5	25	25	25	20.0	6
										Promedio general	6

A*=mm de crecimiento sobre el eje longitudinal A, B**= mm de crecimiento sobre el eje longitudinal B, P***=promedio de crecimiento estimado entre los dos ejes A y B.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3
Crecimiento micelial de *S. radiatum* en hoja de palma de aceite



Fuente: Fotografía de Santa Dolores Carreño Ruiz

Los resultados obtenidos en esta investigación representan el segundo reporte acerca de la dinámica de crecimiento micelial de *S. radiatum* en México y concuerdan con el estudio de Fabián Jurado (2022), quien evaluó su crecimiento en Morelos, México, a partir de una cepa tabasqueña en sustratos de aserrín de cedro, aserrín de jacaranda, aserrín de pino, cáscara de cacahuate, fibra de coco, olote y rastrojo de maíz. Reportando que el mejor crecimiento se presentó en el rastrojo de maíz, con un periodo de incubación de entre seis a nueve días a una velocidad de seis mm por día.

Es importante señalar que en estudios previos sobre el crecimiento micelial de cepas de la especie *S. commune*, se han reportado valores desde cinco mm de crecimiento diario en la cáscara del fruto del cacao, rastrojo de maíz y hoja de plátano (Carreño Ruiz *et al.*, 2014), de seis mm en residuos de girasol



(Figlas *et al.*, 2014), rastrojo de maíz y cáscara de cacahuete (Fabián-Jurado, 2022) y de 8 a 9 mm, en cáscara de cacao (Carrero Ruiz *et al.*, 2020). Lo cual sugiere ligeras diferencias en cuanto al comportamiento que muestra cada cepa y su adaptación al sustrato y a la temperatura, debido a que estos estudios se han realizado en diferentes regiones, empleando una misma cepa. Así mismo, la dinámica del crecimiento micelial tanto de *S. commune* como de *S. radiatum* parece tener coincidencias, aunque se sugiere el desarrollo de otros estudios que permitan caracterizar de una mejor forma estos resultados.

Lo anterior es de relevancia y de interés para incentivar la producción de estas especies tropicales, debido a que estos experimentos a escala de laboratorio permiten contar con parámetros de referencia para la toma de decisiones, previo a la puesta en marcha de cultivos a escalas comerciales, evitando con ello inversiones en cultivos que aun requieren un mayor conocimiento y control en la región maya.

Por su parte, lo que refiere a la evaluación de la fructificación de *S. radiatum*, el periodo de incubación duró 11 días para T1 y 12 días para T2. La aparición de primordios ocurrió al quinto día en ambos tratamientos. Mientras que el primer corte para T1 se realizó a los 5 días y para T2 a los 7 días. Así mismo, se pudo observar que el sistema de bolsas resultó más eficiente, lográndose en este caso, tres cortes con una duración total del ciclo de cultivo de 29 días (Tabla 2).

Tabla 2

Datos descriptivos sobre la fructificación de *S. radiatum* en palma de aceite.

Parámetros del ciclo del cultivo	Sistema de siembra	
	Charolas (T2)	Bolsas (T1)
Periodo de Incubación	12 días	11 días
Aparición de Primordios	5 días	5 días
Primer corte	7 días	5 días
Número de cortes	2	3
Duración del ciclo del cultivo	30	29
Índices de producción		
Biomasa Fresca Promedio (g)	2.58	2.93
Biomasa Seca Promedio (g)	1.2	2.7
Eficiencia Biológica (%)	0.5	0.5
Rendimiento (%)	0.2	0.2
Tasa de Producción (%)	0.01	0.01

Fuente: Elaboración propia.

Esto coincide con los resultados reportados por Fabián Jurado (2022) para *S. radiatum* en cáscara de cacahuete (CC) y rastrojo de maíz (RM), con un periodo de incubación en cacahuete de 11 días y para el rastrojo de maíz de 8 días, en bolsas plásticas de 400 g. Así mismo, la autora reporta la duración total del ciclo de cultivo de 26 días para la cáscara de cacahuete y de 19 para el rastrojo de maíz. Para el caso de este estudio la duración total del ciclo de cultivo fue de 29 a 30 días.

En cuanto a los sistemas de siembra evaluados en este trabajo, se determinó que es mejor el uso de bolsas plásticas que permiten retener una mayor humedad en el sustrato y así mismo le brinda mayor protección. Lo que coincide con la recomendación de Carreño Ruiz *et al.* (2020) en un estudio semejante realizado para *S. commune*.



Los datos reportados en este trabajo indican que los periodos de incubación, aparición de primordios y duración total del ciclo de cultivo, se comportan de manera semejante a lo reportado en el cultivo de *S. commune*, encontrándose periodos de aparición de primordios a los 4 días después del periodo de incubación (Carreño Ruiz *et al.*, 2020). Esto puede deberse a que ambas especies son cercanas filogenéticamente (Carreño Ruiz *et al.*, 2019) por lo que la información generada para el cultivo de *S. commune*, constituye un referente de ayuda para comprender el comportamiento de las diferentes cepas.

Por último, los resultados alcanzados permiten determinar como viable el desarrollo del micelio de *S. radiatum* sobre los residuos de hoja de la palma de aceite y, por otra parte, la viabilidad de las fructificaciones en los residuos de las hojas de *E. guineensis*.

Por lo que respecta a los índices de producción, se recomienda continuar con el desarrollo de investigaciones en la búsqueda de una mayor productividad, con alternativas tales como el aislamiento de nuevas cepas con fines comparativos de producción o bien la combinación de sustratos lignocelulósicos de la región, así como la fermentación o composteo previos, lo cual sugiere diversas áreas de oportunidad para el desarrollo de este cultivo.

Conclusiones

En términos generales, para asegurar un cultivo exitoso de *S. radiatum*, se recomienda aplicar el sistema de bolsas plásticas, que permite una mejor protección al sustrato y le confieren mayor humedad. Se espera que los resultados aquí logrados sean de apoyo para los nuevos estudios de *S. radiatum* y, en general, para los temas relacionados con los hongos de Chiapas. Los esfuerzos por la producción de este hongo permitirían la utilización de los residuos de las industrias agrícolas de la zona con la finalidad de reducir la contaminación ambiental por quemas de

- Basidiomycota) en subproductos agrícolas de Tabasco, México. *Agroproductividad*, 13:5, 65-71.
- Fabián Jurado, M. (2022). Caracterización micelial y cultivo de cepas de *Schizophyllum* spp. [Tesis]. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 49 p.
- Figlas, D., González-Matute, R., Delmastro, S. y Curvetto, N. (2014). Sunflower seed hulls for log system cultivation of *Schizophyllum commune*. *Micología Aplicada Internacional*, 26: 2, 19-25.
- Gaitán Hernández, R. (2023). *Cultiva hongos comestibles, aprovecha sus propiedades nutritivas y medicinales*. INECOL. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/484-cultiva-hongos-comestibles>
- Gaitán Hernández, R., Esqueda, M., Gutiérrez, A., Sánchez, A., Beltrán García, M. y Mata, G. (2006). Bioconversion of agrowastes by *Lentinula edodes* the high potential of viticulture residues. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71: 432-439.
- Gaitán Hernández, R. y Salmones, D. (2015). Uso de residuos lignocelulósicos para optimizar la producción de inóculo y la formación de carpóforos del hongo comestible *Lentinula Boryana*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6:7, 1639-1652.
- Huacash Pale, S. y Ocampo Guzmán, A. (2021). El territorio y actores sociales del sistema de producción de hongo comestible (*Pleurotus Ostreatus*, sp) en Aldama, Chiapas. *Horizontes territoriales*, 1 (2), <https://doi.org/10.31644/HT.01.02.2021.A4>.
- Sánchez Hernández, J. E., Andrade Gallegos, R. H. y Coelo, M. (2010). Los hongos comestibles en el sureste de México. In: Martínez-Carrera, D., Curvetto, M., Sobal, M., Morales, P. & Mora, V. M. (Eds.) *Hacia un desarrollo sostenible del sistema de producción-consumo de los hongos comestibles y medicinales en Latinoamérica: avances y perspectivas en el siglo XXI*. México: Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP.

CAPÍTULO V

Avances en el mejoramiento genético de germoplasma nativo de *Schizophyllum radiatum*

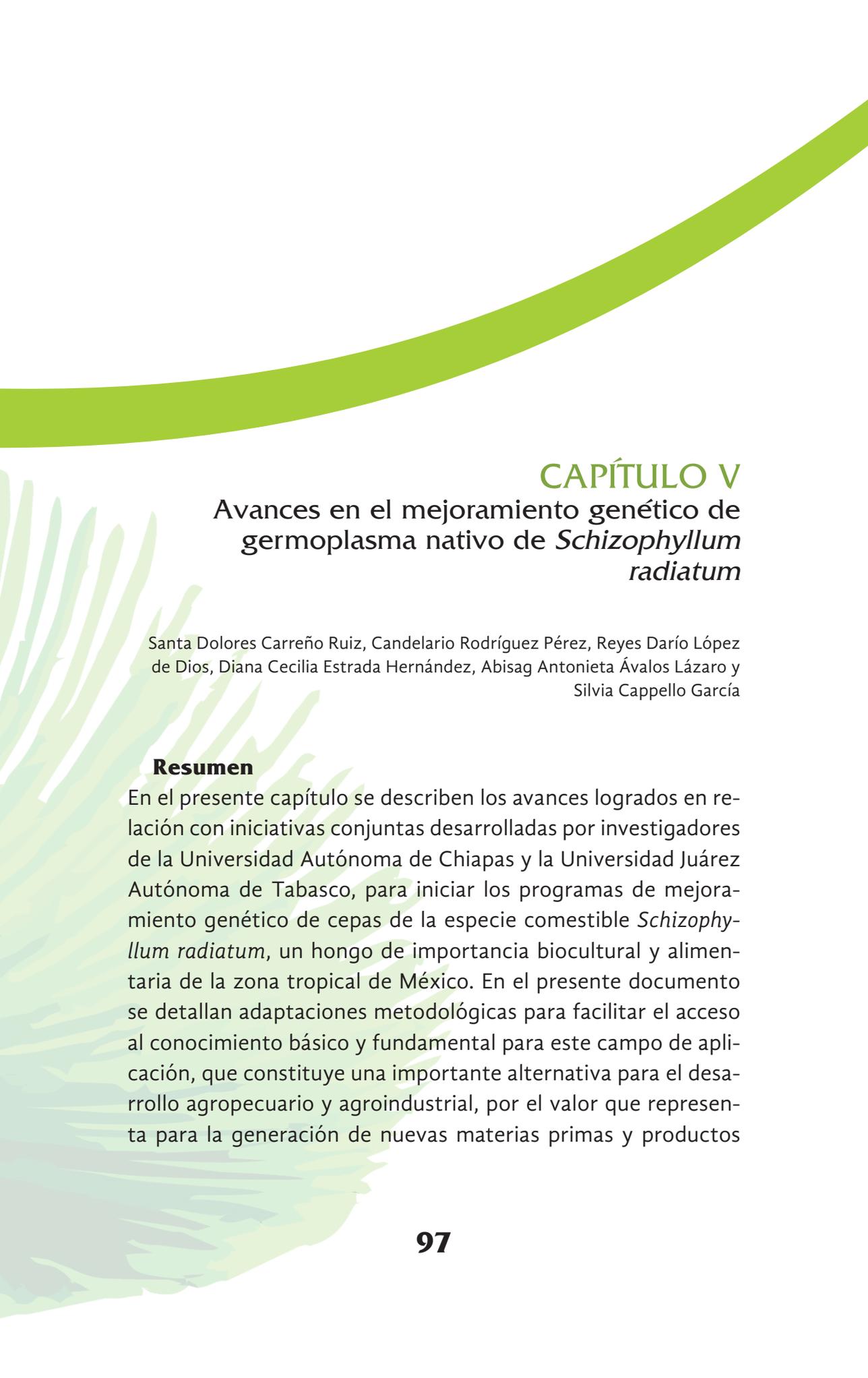
Santa Dolores Carreño Ruiz¹, Candelario Rodríguez Pérez², Reyes Darío López de Dios², Diana Cecilia Estrada Hernández², Abisag Antonieta Ávalos Lázaro¹ y Silvia Cappello García³

¹ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios. Carretera Catazajá-Palenque Km. 4 Chiapas. C.P. 29980. Cel: 916 1000 736.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Carretera Estatal Libre Villahermosa-Comalcalco Km. 27+000 s/n Ranchería Ribera Alta, C.P. 86205. Tel: (01 993) 358 15 00 Ext. 5201, 5203. Jalpa de Méndez, Tabasco, México. (candelario.rodriguez@ujat.mx)

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa-Cárdenas, Villahermosa, Tabasco, km 0.5. CP. 86150 Tel. (993) 3581500 Ext. 6400.





CAPÍTULO V

Avances en el mejoramiento genético de germoplasma nativo de *Schizophyllum radiatum*

Santa Dolores Carreño Ruiz, Candelario Rodríguez Pérez, Reyes Darío López de Dios, Diana Cecilia Estrada Hernández, Abisag Antonieta Ávalos Lázaro y Silvia Cappello García

Resumen

En el presente capítulo se describen los avances logrados en relación con iniciativas conjuntas desarrolladas por investigadores de la Universidad Autónoma de Chiapas y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, para iniciar los programas de mejoramiento genético de cepas de la especie comestible *Schizophyllum radiatum*, un hongo de importancia biocultural y alimentaria de la zona tropical de México. En el presente documento se detallan adaptaciones metodológicas para facilitar el acceso al conocimiento básico y fundamental para este campo de aplicación, que constituye una importante alternativa para el desarrollo agropecuario y agroindustrial, por el valor que representa para la generación de nuevas materias primas y productos

funcionales para la salud. Para el caso particular de este recurso, existe la necesidad de generar la producción de basidiomas con características demandadas por los consumidores, en relación con su tamaño y coloración, situación que es crucial para lograr su aceptación e incorporación a las cadenas productivas comerciales. Se espera que los conocimientos aquí plasmados incentiven el aprovechamiento de este recurso fúngico.

Introducción

Los hongos basidiomicetes son considerados como organismos heterótrofos, que producen su propio alimento para su supervivencia y reproducción (Ortiz Moreno, 2010). El verdadero cuerpo de los hongos debe su estructura a unidades celulares denominadas hifas, que se bifurcan formando una extensa red estructurada llamada micelio que crece, sobre y dentro de algún tipo de sustrato orgánico disponible (Kujar *et al.*, 2013).

Se trata de un grupo de organismos con una vasta cantidad de especies que se clasifican dentro del reino Fungi, considerándose el segundo grupo de organismos más grande (Martínez Carrera *et al.*, 2018). La mayoría de las especies fúngicas se encuentran ordenadas en dos filogenias: *Ascomycota* y *basidiomycota*, dos grupos bien diferenciados en función de su biología, tipo de reproducción, dispersión de esporas y ciclo de vida (Amés *et al.*, 2022).

Como parte del proceso evolutivo de los hongos, estas especies han desarrollado características genéticas particulares para su adaptación, supervivencia, disponibilidad de alimento, dispersión y reproducción, así como también la disposición de crecer en una amplia gama de hospederos (Wrzosek *et al.*, 2017). Estas mismas presiones evolutivas han convertido a estos hongos en un grupo megadiverso que consta de más de 250.000 especies conocidas, cuya distribución se extiende en todos los

ecosistemas del planeta, presentando grandes variaciones de formas, tamaños, texturas, colores y funciones ecológicas (San Emeterio *et al.*, 2002).

Así mismo, los hongos son organismos que son parte de los componentes bióticos en todos los ecosistemas. Son especies con interacciones muy importantes, como las que forman con las plantas e insectos y cumplen funciones imprescindibles para el equilibrio y sostenibilidad ecológica (De Fine Licht *et al.*, 2014).

En los ecosistemas y dependiendo de la fuente disponible de sustrato en la que obtengan su alimento, es posible diferenciar tres grupos de hongos: parásitos, simbioses y saprobios. Las especies parásitas viven a expensas de otros organismos (huésped) ocasionándole daños de muy diferentes magnitudes. En cambio, los hongos simbioses son especies mutualistas que establecen amistosas relaciones con plantas, animales e insectos. Mientras que, las especies saprobias toman sus nutrientes de materiales orgánicos inertes de origen biológico. Este último grupo se caracteriza por ser el más abundante y cuenta con el mayor número de especies (Heredia Abarca, 2007).

Dentro del mismo, destacan los hongos de la pudrición blanca, cuyas especies contienen potentes enzimas metabólicas con funciones lacasas y peroxidasas que les permiten degradar moléculas de lignina y celulosa (Ortiz Moreno, 2010). Al mismo tiempo, diversas especies se distinguen por su comestibilidad (Gaitán Hernández, 2012), aportando con ello beneficios nutricionales, medicinales, biotecnológicos y económicos a los humanos (Curvetto, 2004). Estas últimas características permiten que diversas especies de macromicetos silvestres puedan domesticarse o cultivarse en una amplia variedad de sustratos lignocelulósicos, contribuyendo con el aprovechamiento de diversos subproductos agrícolas.



Particularmente en la región tropical de México, una especie de basidiomicete saprobio que ha llamado la atención del sector académico para impulsar su cultivo con fines alimentarios, es el hongo comestible *Schizophyllum radiatum*, un organismo con amplias posibilidades de aprovechamiento sustentable por su consumo tradicional, practicado por diferentes grupos originarios, y por su capacidad de domesticación demostrada en condiciones climáticas de alta temperatura, de entre 28 y 40°C (Carreño Ruiz *et al.*, 2020).

Otras ventajas que se han atribuido al cultivo de *S. radiatum*, es la capacidad que presentan las cepas para desarrollarse en periodos cortos de incubación (de entre 10 a 12 días en bloques de un kilogramo de diferentes sustratos lignocelulósicos), resistencia a contaminación por bacterias u otros hongos microscópicos, así como la obtención de fructificaciones en aproximadamente cinco días después de iniciarse el riego (Carreño Ruiz *et al.*, 2020).

No obstante, la producción de *S. radiatum* en la región tropical de México enfrenta diversos retos. Uno de ellos lo constituye las características macromorfológicas de los cuerpos fructíferos para su aceptación comercial, debido a que la preferencia de los consumidores por estos hongos se inclina principalmente por basidiomas de coloración blanca y buen tamaño, algo que en los cultivos de la especie varía considerablemente (Carreño Ruiz *et al.*, 2020).

Esta situación puede abordarse a través de programas de mejoramiento genético de las cepas de *S. radiatum*, lo cual se fundamenta en los estudios previos de Raper y Krongelb (Chang y Miles, 2004), quienes determinaron que la capacidad de fructificación en los hongos del género *Schizophyllum* es un rasgo heredable y el control genético de la misma es poligénico. Este hallazgo se demostró mediante un estudio realizado por dichos investigadores, quienes desarrollaron el entrecruce de 80 cepas

homocarióticas (monocarióticas) en todas sus combinaciones posibles, dado como resultado 3100 apareamientos compatibles y viables de la especie *S. commune*, percatándose de que la capacidad de fructificación se heredaba genéticamente y que la buena fructificación es dominante sobre la mala.

Dicha hipótesis fue probada al realizar el seguimiento a los estudios de fructificación, encontrándose que la capacidad de fructificación en *S. commune* es un rasgo heredado, que no puede explicarse sobre la base de un solo gen para la fructificación con alelos dominantes y recesivos alternos para una buena y mala fructificación, respectivamente. Por lo que se concluyó que el control genético de la fructificación en este hongo es poligénico, donde los genes de las cepas de “buena fructificación” enmascaran los genes de las cepas de “mala fructificación” (Chang y Miles, 2004).

Hasta ahora, en la región tropical de México, se carece de estudios y programas de mejoramiento genético, en general para los hongos comestibles y medicinales, por lo que el propósito del presente capítulo es describir los avances logrados mediante la implementación de un protocolo para la obtención de nuevas cepas de *S. radiatum* a partir del entrecruce de cepas monocarióticas (neohaplontes) de origen silvestre, haciendo énfasis en técnicas y conocimientos que se consideran indispensables para poder iniciar con el desarrollo de programas de mejoramiento genético, a fin de optimizar la producción de este hongo, con múltiples beneficios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material de estudio

La cepa de *S. radiatum* considerada para este estudio, se aisló a partir de ejemplares colectados en el municipio de Teapa, Tabasco (UJAT CCG009). Éstos se colectaron en fresco y se

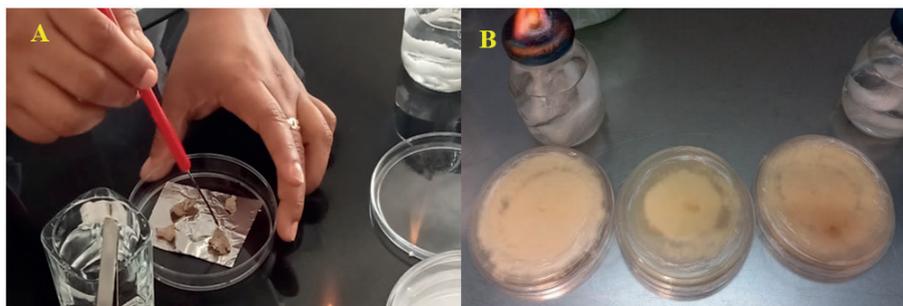


depositaron en un recipiente plástico limpio para su traslado al laboratorio. La obtención del micelio *in vitro* se realizó mediante la técnica de obtención de esporada, lográndose el aislamiento de un micelio dicariótico en el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) (Figura 1).

Posteriormente, la cepa se propagó en semillas estériles de maíz palomero previamente hidratadas, empleando para ello cajas de Petri de vidrio, de 90 mm de diámetro, durante un periodo de incubación de 10 días. Transcurrido este tiempo, las semillas se propagaron en cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) hidratado y esterilizado previamente.

Figura 1

A) Obtención de esporas de *S. radiatum* a partir de basidiomas de origen silvestre. B) Aislamiento del micelio dicariótico de *S. radiatum in vitro*.



Fuente: Fotografía de Diana Cecilia Estrada Hernández.

Para ello, la siembra se realizó bajo la metodología descrita por Carreño Ruiz *et al.* (2020), en bandejas plásticas de 25 x 20 cm, intercalando capas de semillas con el sustrato (Figura 2). Una vez realizada la siembra, las bandejas se protegieron con un plástico oscuro y se incubaron en condiciones de oscuridad durante 12 días.

Figura 2

A) Propagación del micelio dicariótico de *S. radiatum* en semillas de maíz palomero. B) Propagación de la cepa en cáscara de cacao.



Fuente: Fotografía de Diana Cecilia Estrada Hernández

Luego de ello, las bandejas se expusieron a la luz y se realizaron riegos constantes con ayuda de un aspersor manual, procurando mantener la humedad en el sustrato a fin de favorecer el crecimiento y desarrollo de las fructificaciones.

Obtención de las cepas monocarióticas

Para la obtención de las cepas monocarióticas, también denominadas neohaplontes, se prepararon cajas de Petri con el medio de cultivo PDA y colorante verde vegetal. Seguido de ello, se seleccionaron los cuerpos fructíferos de *S. radiatum* de mayor tamaño, éstos se colocaron de forma individual en las tapas de las cajas de Petri, sosteniéndolos por la parte del píleo con vaselina (Figura 3). En estas condiciones, las cajas de Petri se inclinaron en un ángulo de 45 grados durante 48 horas bajo condiciones de oscuridad para inducir la precipitación y germinación de las basidiosporas en el medio de cultivo antes señalado (metodología de Huerta *et al.*, 2009 con modificaciones).

Posteriormente, en un campo estéril y con ayuda de un estereoscopio, se observaron las basidiosporas germinadas (Figura



4). Estas se tomaron cuidadosamente con un asa de siembra estéril, procurando resembrarlas en nuevas cajas con PDA. Estas resiembras se incubaron hasta que el micelio cubrió el medio PDA, durante 10 días a temperatura ambiente ($28\pm 2^\circ\text{C}$).

Figura 3

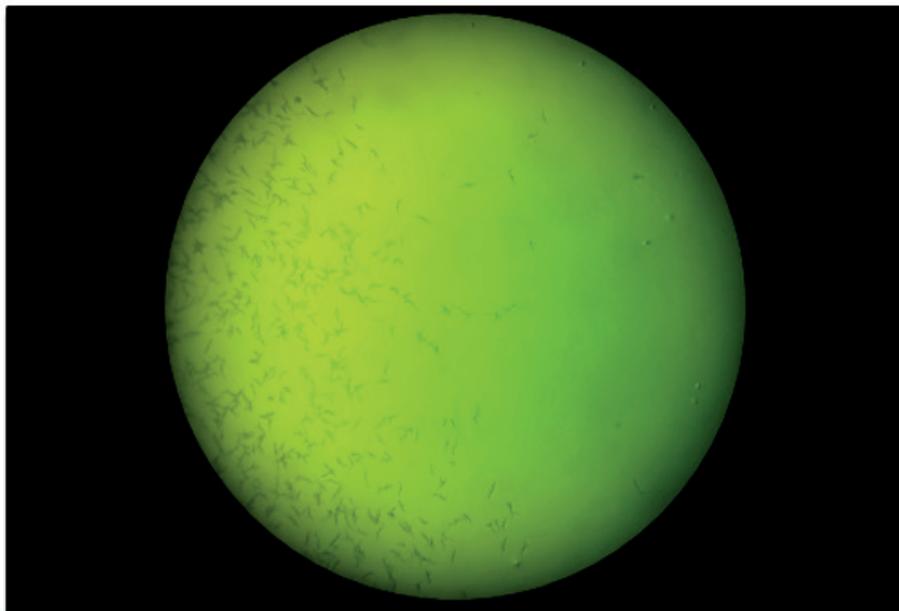
Inclinación de las cajas de Petri con los cuerpos fructíferos de *S. radiatum* colocados en la tapa de éstas, a fin de inducir la precipitación de las esporas.



Fuente: Fotografía de Reyes Darío López de Dios

Para determinar el estado monocariótico (neohaplonte) de las resiembras, se tomó una muestra del micelio de éstas para su observación en un microscopio óptico a 100x. De este modo los aislamientos determinados como positivos fueron aquellas resiembras, en donde se constató la ausencia de fíbulas entre los septos de las hifas (Figura 5). Este es un indicador que permite identificar y confirmar el estado haploide del tejido micelial aislado.

Figura 4
Observación de la germinación de las esporas con ayuda de un estereoscopio.



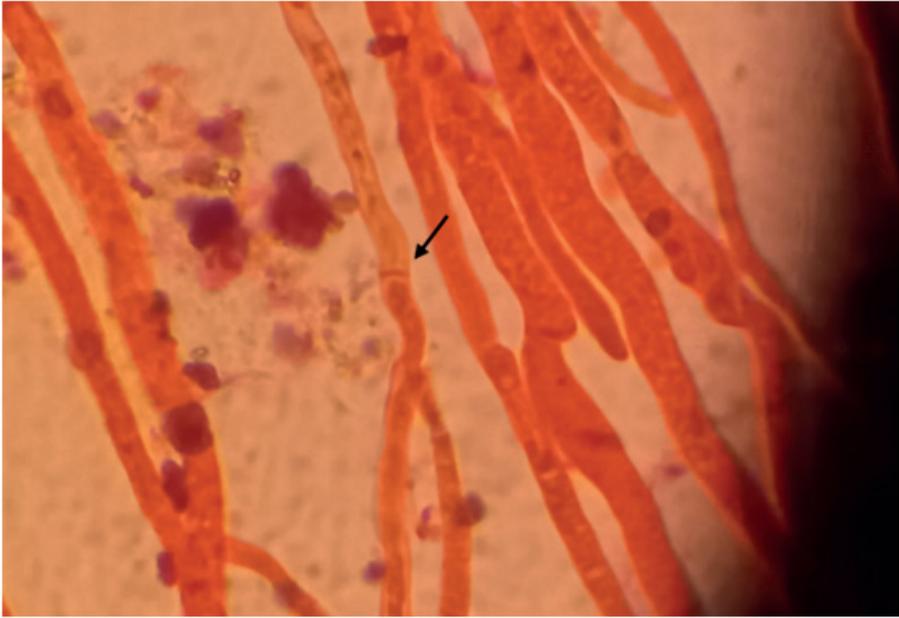
Fuente: Fotografía de Reyes Darío López de Dios.

Cada neohaplonte fue identificado con un número de registro para su posterior procesamiento.



Figura 5

Identificación del micelio monocariótico de *S. radiatum*. Ausencia de fíbulas.



Fuente: Preparación microscópica y Fotografía de Abisag Antonieta Ávalos Lázaro

Obtención de nuevas cepas de *S. radiatum*

Después de obtener los neohaplontes de las diferentes cepas de *S. radiatum* se continuó con el entrecruzamiento de estos. Para ello, en un campo estéril, con ayuda de un asa de siembra, se inocularon fragmentos de cada micelio monocariótico de aproximadamente 5 mm en nuevas cajas de Petri con el medio de cultivo PDA. Los fragmentos se colocaron en los extremos de las cajas, con la finalidad de propiciar su entrecruzamiento. Estos se incubaron a 25-28°C durante 15 días.

Posteriormente, la viabilidad de estos se determinó mediante la observación e identificación de la presencia de fíbulas en las muestras. Por cada muestra se tomaron tres fragmentos de tejido micelial de tres puntos diferentes para una mayor confiabilidad de los resultados y se observaron por separado en un microscopio óptico a 100X. Un apareamiento se consideró como compatible (carga genética dicariótica) observando la presencia de fíbulas y se consideró como apareamiento incompatible (carga genética monocariótica) observando la ausencia de estas. Todos los entrecruzamientos compatibles se sembraron en nuevas cajas de Petri con medio de cultivo PDA y se incubaron para su crecimiento y posterior resguardo.

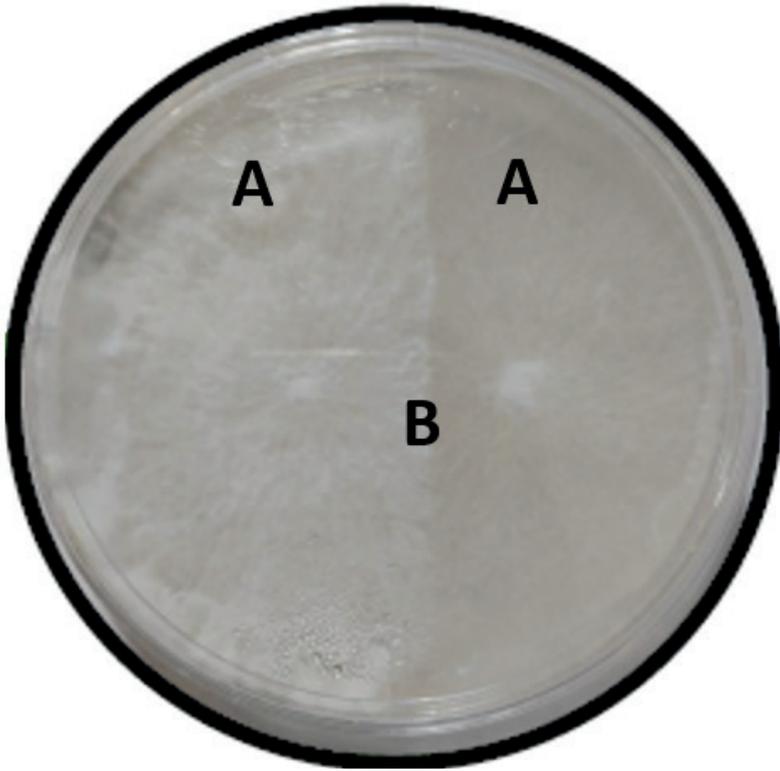
Resultados

La aplicación de la metodología antes descrita permitió la obtención de los neohaplontes o cepas monocarióticas de *S. radiatum* (Figura 6). Para ello, fue necesaria la tinción del medio de cultivo con el colorante verde, como se indica en la metodología, siendo una modificación realizada a la metodología de Huerta *et al.* (2009), con óptimos resultados, debido a que las esporas hialinas de *S. radiatum* son muy complicadas de observar y manipular en un medio translúcido como PDA, siendo este un paso específico y diferenciado para la metodología de este trabajo.



Figura 6

Nueva cepa. A) micelio monocarion o haploide (nehoaplonte). B). región del nuevo dicarion (nueva cepa).



Fuente: Fotografía de Santa Dolores Carreño Ruiz

Por otra parte, en este trabajo se evidencia la viabilidad de los entrecruces realizados con las cepas monocarióticas de *S. radiatum*, con resultados positivos a través de la confirmación de la presencia de fíbulas en las nuevas cepas dicarióticas. Esta efectividad de apareamientos puede deberse a la resistencia que muestran las esporas de *Schizophyllum* en su manipulación, así como a sus cualidades biológicas como antagonistas de diversas bacterias y hongos microscópicos, lo que posiblemente permite su desarrollo en los medios de cultivo. Esta capacidad y resistencia atribuida a las esporas de *Schizophyllum*, se ha documentado en algunos estudios previos, en los cuales se ha distinguido

la dispersión de las esporas en largas distancias, inclusive entre poblaciones intercontinentales (James *et al.*, 2001), así como también la resistencia de estas en condiciones de sequía (Vellinga, 2013).

Con estos resultados se sugiere la continuidad en las investigaciones encaminadas al mejoramiento genético de las cepas de este género, por medio del entrecruzamiento de neohaplontes provenientes de basidiomas con las características deseables para su producción, en la búsqueda de apareamientos compatibles a fin de contar con el germoplasma de interés para la producción intensiva de esta especie. Por lo que se espera que a partir de estos resultados los programas de mejoramiento genético se incrementen hasta lograr y validar las características deseables en la producción de *Schizophyllum radiatum*.

Este campo de trabajo representa un área de oportunidad en la que se requiere de la participación de académicos, productores, estudiantes y público interesado en la producción de materias primas fúngicas. Actualmente, personal académico de la División Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en colaboración con investigadores de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas, continúan desarrollando esfuerzos en la continuidad de estos estudios, dada la importancia demostrada en la producción de *Schizophyllum radiatum* y otros hongos tropicales.

Conclusiones

A través del presente estudio se logró establecer un protocolo para desarrollar futuros programas de mejoramiento genético de cepas de hongos comestibles del género *Schizophyllum*. Para lograr la obtención de los neohaplontes bajo la metodología aquí descrita, es necesaria la tinción del medio de cultivo con colorante



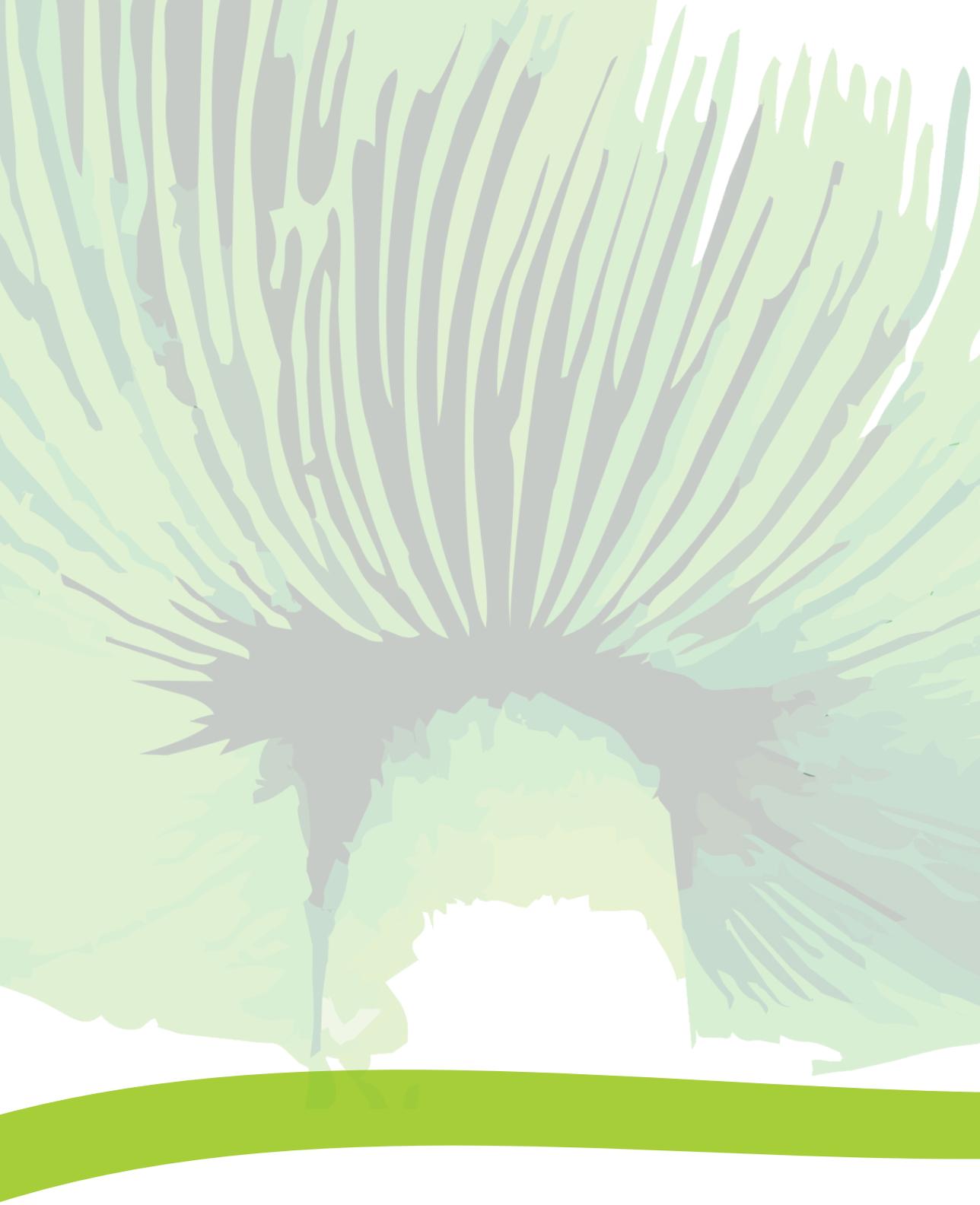
verde vegetal. Considerándose un paso fundamental como parte del protocolo de trabajo para la obtención de nuevas cepas. Con las bases aquí logradas, se recomienda dar continuidad a futuros estudios en la búsqueda por identificar el germoplasma de *Schizophyllum* que permita la obtención de las fructificaciones deseadas para la producción con fines comerciales.

Referencias bibliográficas

- Amses, Kevin, Simmons, D., Longcore, J., Mondo, S., Seto, K., Jeronimo, G., Bonds, A., Quandt, C., Alisha, D., William, C., Federici, B., Kuo, A., Labutti, K., Pangilinan, J., Andreopoulos, W., Tritt, A., Riley, R., Hundley, H., Johnson, J., y James, T. (2022). Diploid-dominant life cycles characterize the early evolution of Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 119. 10.1073/pnas.2116841119.
- Carreño Ruiz, S., Cappello García, S., Gaitán Hernández, R., Gaspar Génico, J. A y Rosique Gil, J. E. (2020). Production de basidiomas of *Schizophyllum commune* (Fungi: Basidiomycota) in agricultural by-products of Tabasco, Mexico. *Agro productividad*, 13:5, 55-71. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1606>
- Chang, S. T. y Miles, P. G. (2004). Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact. *CRC Press*, 2a. ed. Boca Ratón. 451 p
- Curvetto, N. (2004). Biotecnología de hongos superiores. Parte 1: posibilidades presentes y futuras. *AgroUNS*, Vol 2.
- De Fine Licht, H. H., Boomsma, J. J. y Tunlid, A. (2014). Symbiotic adaptations in the fungal cultivar of leaf-cutting ants. *Nat. Commun.* 5:1-10
- Gaitán Hernández, R. (2012). Especies de hongos comestibles, recurso genético nativo para la generación de una alternativa productiva en México. En; *Los microorganismos y su importancia biotecnológica y ecológica*. SAGARPA, UMSNH. Pp. 55-58.

- Heredia-Abarca, G. (2007). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrobiencias*. Vol 3. Número 2.
- Huerta, G., Martínez-Carrera, D., Sánchez, J. E., y Leal-Lara, H. (2009). Grupos de interesterilidad y productividad de cepas de *Pleurotus* de regiones tropicales y subtropicales de México. *Revista Mexicana de Micología*, 30, 35-42.
- James, T. Y., Moncalvo, J., Li, S. y Vilgalys, R. (2001). Polymorphism at the Ribosomal DNA Spacers and Its Relation to Breeding Structure of the Widespread Mushroom *Schizophyllum commune*. *Genetics*, 157: 149-161. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1461461/pdf/11139499.pdf>
- Kujar; F., Castiglia, V. y Papinutti, L. (2013). Reino Fungi: morfologías y estructuras de los hongos. *Revista Boletín Biológica*. 27. 5-8.
- Martínez Carrera, D. (2018). Importancia de la producción de hongos comestibles, funcionales y medicinales en la alimentación y el desarrollo nacional. *AgroProductividad*, 3(3). Recuperado de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agro-productividad/article/view/587>
- Ortiz –Moreno, M. L. (2010). Evaluación preliminar de la abundancia de hongos lignolíticos cultivables y su actividad peroxidasa, obtenidos a partir de suelos con diferentes usos agrícolas en zona rural de Villavicencio. *Revista ORINOQUIA*. Vol. 14, 171-177.
- San Emeterio, J, P., Lara, T. E. y Andrés, G, Q. (2002). Características generales de los hongos: estructura, clasificación y reproducción. *Liebana Ureña, Microbiología oral*, 244-253.
- Vellinga, E. (2013). Split Gill – *Schizophyllum commune*. *Mycena News*, 64:09, 1-3. <https://www.mssf.org/mycena-news/pdf/1305mn.pdf>
- Wrzosek, M., Ruszkiewicz-Michalska, M., Sikora, K., Damszel, M. y Sierota, Z. (2017). The plasticity of fungal interactions. *Mycological Progress* 16:101-108.





CAPÍTULO VI

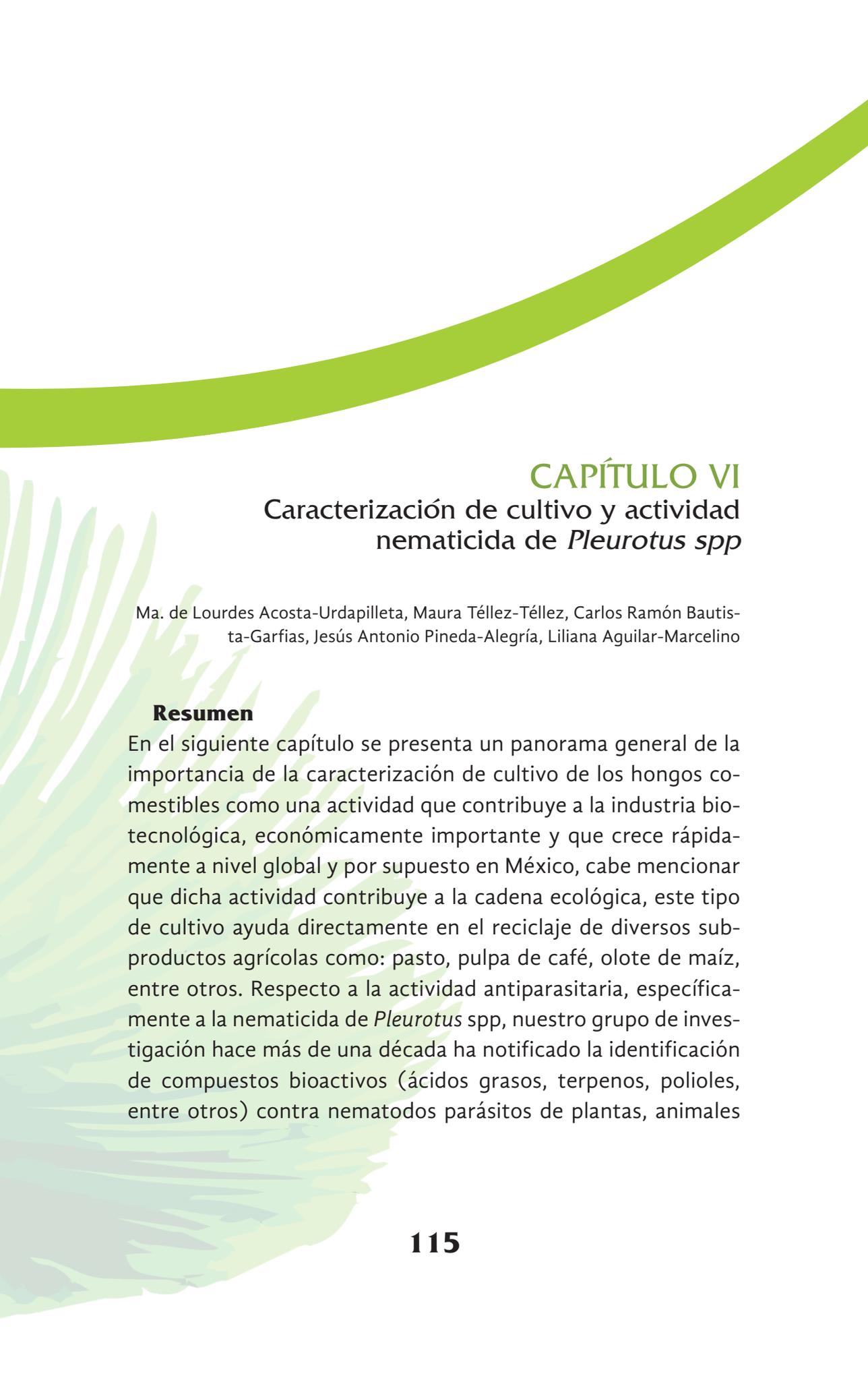
Caracterización de cultivo y actividad nematicida de *Pleurotus spp*

¹Ma. de Lourdes Acosta-Urdapilleta, ¹Maura Téllez-Téllez,
²Carlos Ramón Bautista-Garfias, ²Jesús Antonio Pineda-
Alegría, ²Liliana Aguilar-Marcelino

¹Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de
Morelos, Avenida Universidad No. 1001, Chamilpa, CP 62209 Cuernavaca,
Morelos, Mexico

²CENID-Salud Animal e Inocuidad, INIFAP, Carretera Federal Cuernavaca-Cuatla
No. 8534, Col. Progreso, CP 62550 Jiutepec, Morelos, Mexico (aguilar.liliana@
inifap.gob.mx).





CAPÍTULO VI

Caracterización de cultivo y actividad nematocida de *Pleurotus* spp

Ma. de Lourdes Acosta-Urdapilleta, Maura Téllez-Téllez, Carlos Ramón Bautista-Garfías, Jesús Antonio Pineda-Alegría, Liliana Aguilar-Marcelino

Resumen

En el siguiente capítulo se presenta un panorama general de la importancia de la caracterización de cultivo de los hongos comestibles como una actividad que contribuye a la industria biotecnológica, económicamente importante y que crece rápidamente a nivel global y por supuesto en México, cabe mencionar que dicha actividad contribuye a la cadena ecológica, este tipo de cultivo ayuda directamente en el reciclaje de diversos subproductos agrícolas como: pasto, pulpa de café, olote de maíz, entre otros. Respecto a la actividad antiparasitaria, específicamente a la nematocida de *Pleurotus* spp, nuestro grupo de investigación hace más de una década ha notificado la identificación de compuestos bioactivos (ácidos grasos, terpenos, polioles, entre otros) contra nematodos parásitos de plantas, animales

y humanos. En este contexto, la importancia de continuar con estos estudios radica en desarrollar, en un futuro, productos a base de hongos comestibles para el área pecuaria, ya que dentro de las perspectivas de las propiedades medicinales de los hongos se aborda un aspecto de la inmunoestimulación, que es un tema que requiere de mayor investigación. Cabe mencionar que un sistema inmunitario fortalecido eliminará de manera eficiente diversos patógenos, entre los que se encuentran los parásitos; por lo tanto, se deben llevar a cabo más estudios sobre el efecto de la estimulación de la inmunidad en el hospedador por extractos orgánicos de hongos comestibles y su efecto en la resistencia a parásitos.

Caracterización de cultivo de *Pleurotus* spp.

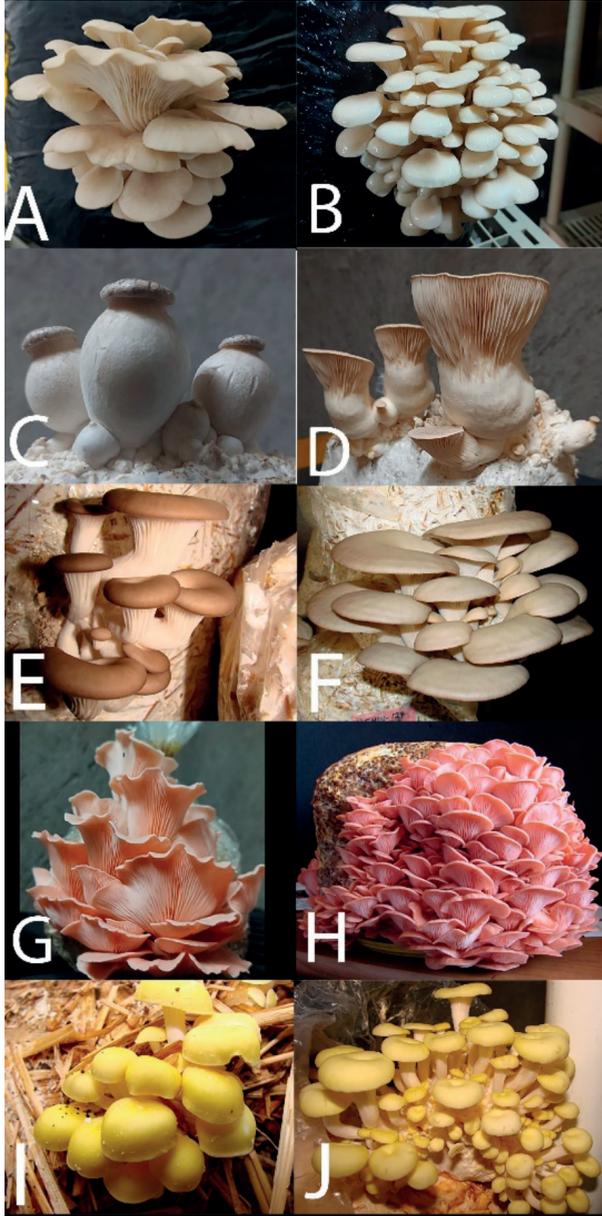
El cultivo de hongos representa una industria biotecnológica económicamente importante, que se ha expandido en las últimas décadas en el mundo, el género *Pleurotus* ocupa el segundo lugar de producción tanto a nivel mundial como nacional; desde el punto de vista ecológico, este cultivo ayuda en gran medida en el reciclaje de diversos subproductos agrícolas (Raman *et al.*, 2021). Se ha indicado que el mercado de los hongos en 2013 fue de 63 mil millones de dólares estadounidenses, que incluye hongos medicinales (38%), hongos silvestres (8%) y comestibles cultivados (54%) (Royse *et al.*, 2017). Los hongos comestibles cultivados son de un estilo de vida saprobio, dicho grupo se ha dividido en descomponedores primarios, secundarios y terciarios; los descomponedores primarios degradan hemicelu-

losa, la lignina y otros componentes del material vegetal, como es el caso del hongo ostra (*Pleurotus* spp.) (Rahi *et al.*, 2009).

Se ha notificado que existen cerca de 40 especies de *Pleurotus* y se distribuyen en regiones tropicales y templadas sobre diferentes sustratos lignocelulósicos (Sugimoto *et al.*, 2001; Golak Siwulska *et al.*, 2018). En México, Mora y Martínez Carrera (2007), reportaron que aproximadamente hay 15 especies que son cultivadas (6 nativas y 9 extranjeras). El cultivo de *P. ostreatus* genera aproximadamente 50% de dióxido de carbono, 20% de agua, 10% de hongos y 20% de composta residual (Stamets, 1993), se ha notificado que la composición del sustrato tiene un papel importante en la colonización y la obtención de los cuerpos fructíferos (Nasehi *et al.*, 2017). Los cuerpos fructíferos de *Pleurotus* han sido apreciados como alimento desde épocas prehispánicas, recibiendo diversos nombres comunes: orejas, oreja de cazahuate, oreja de palo, setas, orejón, blanco, entre otras (Álvarez Farías *et al.*, 2016); tienen forma de repisa semicircular o abanico, de diferentes colores, como se puede observar en la figura 1: blanco, crema, café, gris, rosa y amarillo (Singh *et al.*, 2011).



Figura 1
Cuerpos fructíferos cultivados del género *Pleurotus*. A y B) *P. ostreatus*; C y D) *P. eryngii*; E y F) *P. pulmonarius*; G y H) *P. djamor*; I y J) *P. citrinopileatus*.



Fuente: Fotografía de María de Lourdes Acosta Urdapilleta.

Los sustratos más utilizados han sido la paja de cebada, paja de trigo y pulpa de café, registrándose eficiencia biológica (EB) competitiva de 74-175% en la mayor parte de los casos, los valores en porcentaje de EB y tasa de producción (TP) sobre diferentes sustratos sólidos, así como atributos de calidad de los cuerpos fructíferos (tamaño, textura, morfología, color, olor y sabor), son de gran importancia, ya que son criterios utilizados para la evaluación de cepas y sustratos. En este capítulo se muestran los datos de producción de las especies más representativas del género *Pleurotus*: *P. ostreatus*, *P. pulmonarius*, *P. eryngii*, *P. citrinopileatus* y *P. djamor* sobre diferentes sustratos sólidos.

De los hongos cultivados, *Pleurotus* es el género con mayor diversidad, siendo *P. ostreatus* la especie más representativa. Se ha reportado que puede cultivarse en diferentes sustratos, principalmente esquilmos como pajas y rastrojos (trigo, arroz, cebada, frijol, centeno, sorgo, avena, olote y rastrojo de maíz, etc.), sustratos agroindustriales (bagazo de caña de azúcar, pulpa de café, bagazo de henequén, etc.) y diversos aserrines (pino, encino, jacaranda, higuera, entre otros). Se ha indicado que en general la producción mantiene una proporción 2:1, relacionado con la composta residual seca (la cual incluye el micelio vegetativo), el sustrato es un factor importante (Nasehi *et al.*, 2017), los residuos agrícolas consisten en componentes lignocelulósicos que varían según la fuente, la relación C/N es importante en la producción de hongos, para obtener rendimientos óptimos se debe controlar la relación C/N del sustrato, la mayoría de los residuos agrícolas son materiales con un bajo contenido de nitrógeno, por lo que se hace la suplementación de nitrógeno orgánico (salvado, cáscara de cereal, estiércol y harina de soja) o nitrógeno inorgánico (cloruro de amonio y urea) en sustratos para el cultivo de hongos (Cueva *et al.*, 2017). Varios estudios han reportado que el cultivo de especies de *Pleurotus* requiere relaciones C/N entre 45 y 60/1, según la especie (Grim & Wösten, 2018).



En la Tabla 1 se muestran las principales especies cultivadas del género *Pleurotus*, se observa que existe una gran variación en los parámetros de producción dentro de la misma especie y aún más entre las especies, que se debe principalmente a que el cultivo en sustrato sólido es multifactorial y que está influenciado por un gran número de variables como la naturaleza del sustrato (composición química, origen), el tamaño de partícula, el tratamiento del sustrato, la temperatura de las diferentes fases de crecimiento (incubación y fructificación) y factores ambientales como la humedad relativa, iluminación, aeración, etc.

Se ha reportado el uso de mezclas de sustratos para mejorar la textura del sustrato, retención de humedad, EB y CC; el uso de mezclas se ha reportado principalmente en el cultivo de *P. eryngii* (Rodríguez *et al.*, 2007; Angelescu *et al.*, 2015). Para el saneamiento del sustrato se ha empleado principalmente la pasteurización térmica, sin embargo, existen reportes de pasteurización química (*P. ostreatus*) (Mejía y Albertó, 2013), esterilización para *P. eryngii* (Philippoussis *et al.*, 2001; Sánchez-Maldonado *et al.*, 2021) y *P. citrinopileatus* (Atila, 2017; Paswall *et al.*, 2017). Los datos de CC y el número de cosechas adquieren relevancia en el cultivo comercial, ya que sería poco rentable mantener las muestras después de la tercera cosecha, la EB superior o igual al 40% se considera competitiva, es decir, económicamente rentable (Albarran *et al.*, 2001).

Mane *et al.* (2007) mencionan que el cultivo del género *Pleurotus* sobre paja y subproductos similares presentan diferentes niveles de EB y estas variaciones están principalmente relacionadas con el período de invasión micelial, especie de hongo, sustrato, tratamiento y suplemento añadido al sustrato, lo que también se ve reflejado en diferencias en el contenido nutrimental y la producción de compuestos bioactivos. Por lo que es importante estandarizar la obtención de cuerpos fructíferos que van a ser utilizados en subsecuentes análisis y/o

aplicaciones como: agrícolas, ganaderas, industriales, médicas y en biorremediación.

Tabla 1
Patrón de producción de *Pleurotus* spp. sobre diferentes sustratos.

ESPECIE	SUSTRATO	TRATAMIENTO SUSTRATO	DIÁMETRO CF (cm)	1er COSECHA (días)	NC	EB (%)	TP	CC (días)	REFERENCIA
<i>P. ostreatus</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	-	70	-	33	-	104	Varnero et al. (2001)
<i>P. ostreatus</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	6.5	23	3	137	1.8-1.3	-	del Toro et al. (2018)
	Paja de trigo	Pasteurizado	5.3	22	3	154	1.8-1.3	-	
	Paja de trigo	Pasteurizado	5.8	29	3	133	1.8-1.3	-	
<i>P. ostreatus</i>	Bagazo de Agave angustifolia mezclado con 30% de viruta de nogal y 5% salvado de trigo	Esterilizado 20 min	-	-	-	33	-	-	Heredia Solís et al. (2016)
<i>P. ostreatus</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	9.9-2.9	36-39	3	43-67	0.6-1.03	64-71	Acosta Urdapilleta et al. (2020)
<i>P. ostreatus</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	-	8	2	75.8	1.1	-	Mejía y Albertó (2013)
<i>P. ostreatus</i>	Paja de trigo	Esterilizado	-	16	3	78	-	28	Philippoussis et al. (2001)
	Paja de trigo	Esterilizado	-	16	3	94	-	34	
<i>P. ostreatus</i>	Hoja de plátano	Pasteurizado	8.5-4.7	-	3	123	1.7	72	Romero et al. (2010)
	Paja de trigo	Pasteurizado	10.2-5.1	-	3	129	2	63	
<i>P. ostreatus</i>	Paja de trigo	Fermentada	7.5	23	2	64.8	-	-	Vogel y Salmones (2000)
<i>P. pulmonarius</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	-	25	-	74.5	-	-	Borkar et al. (2014)
<i>P. pulmonarius</i>	Paja de trigo	Fermentado	6.5	18-25	2	58-80	-	-	Vogel y Salmones (2000)
<i>P. pulmonarius</i>	Tuza de maíz	Pasteurizado	-	-	-	69.31	1.33	-	Vega y Franco (2013)
	Paja de arroz	Pasteurizado	-	-	-	75.6	1.4	-	
	Rastrojo de maíz	Pasteurizado	-	-	-	62.22	1.19	-	
<i>P. pulmonarius</i>	Paja de trigo	Esterilizado	-	20	3	123	-	28	Philippoussis et al. (2001)
<i>P. pulmonarius</i>	Paja de trigo	Esterilizado	-	24	3	81	-	33	Philippoussis et al. (2001)
<i>P. pulmonarius</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	11.9-3.9	67	3	95.7	0.63	152	Acosta-Urdapilleta et al. (2020)
<i>P. pulmonarius</i>	Lirio acuático	Esterilizado	-	-	3	112	-	-	Bandopadhyay, (2013)
	Paja de arroz	Esterilizado	-	-	3	127	-	-	
<i>P. eryngii</i>	Paja de trigo (suplementado)	Esterilizado	-	20	2	88	-	31	Philippoussis et al. (2001)
<i>Peryngii</i>	Paja de trigo (Suplementado)	Esterilizado	-	17	3	88	-	40	Philippoussis et al. (2001)



ESPECIE	SUSTRATO	TRATAMIENTO SUSTRATO	DIÁMETRO CF (cm)	1er COSECHA (días)	NC	EB (%)	TP	CC (días)	REFERENCIA
<i>P. eryngii</i>	Heno de girasol (suplementado)	Esterilizado	-	38	2	73	-	-	Atila (2017)
	Residuo de la flor de girasol (suplementado)	Esterilizado	-	50	1	43	-	-	
	Paja de frijol (suplementado)	Esterilizado	-	45	2	67	-	-	
	Aserrín de encino (suplementado)	Esterilizado	-	30	3	62.5	-	-	
-			45	1	66	-	-		
<i>P. eryngii</i>	Soya, suplementados con cáscara de semilla de algodón o aserrín	Esterilizado	-	26	-	98.4	-	-	Rodríguez et al. (2007)
<i>P. eryngii</i> <i>Pe-1</i> <i>Pe-2</i> <i>Pe-3</i>	Mezcla de aserrín, salvado de trigo y cáscara de arroz	Esterilizado	6.8	26	-	73.5	-	-	Moonmoon et al. (2010)
			7.1	26	-	62.6	-	-	
			5.2	30	-	46.7	-	-	
	Paja de arroz	Esterilizado	6.9	27	-	68.7	-	-	
7.5			29	-	61.5	-	-		
<i>P. eryngii</i>	Paja de arroz	Esterilizado	8.2	27	-	60.4	-	-	
<i>P. eryngii</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	7.2-5.1	52	2	13.8	0.2	67	Acosta Urdapilleta et al. (2020)
<i>P. eryngii</i>	40% olote de maíz, 25% fibra de coco, 25% rastrojo de maíz y 10% salvado de trigo	Esterilizado	8.5-3	74	1	142.8	1.6	81	Sánchez-Maldonado et al. (2021)
<i>P. eryngii</i>	Aserrín, brecha de maíz, salvado de trigo, yeso, agua destilada	Esterilizado	-	15	-	37.7	-	-	Angelescu et al. (2015)
	Aserrín, brecha de maíz, salvado de trigo, yeso, agua destilada + cáscara de semillas de calabaza	Esterilizado	-	12	-	40.8	-	-	
	Aserrín, brecha de maíz, salvado de trigo, yeso, agua destilada + brecha de arroz	Esterilizado	-	12	-	47.8	-	-	
	Aserrín, brecha de maíz, salvado de trigo, yeso, agua destilada + paja de trigo	Esterilizado	-	14	-	31.7	-	-	
<i>P. citrinopileatus</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	-	27	4	41.11	-	-	Musieba et al. (2012)
	Paja de arroz	Pasteurizado	-	21	-	98	-	-	
	Bagazo caña azúcar	Pasteurizado	-	21	-	78.6	-	-	
	Paja de frijol	Pasteurizado	-	17	-	148.7	--	-	
<i>P. citrinopileatus</i>	Paja de trigo	Pasteurizado	5.5-2	38	3	42.5	0.66	64	Acosta Urdapilleta et al. (2020)

ESPECIE	SUSTRATO	TRATAMIENTO SUSTRATO	DIÁMETRO CF (cm)	1er COSECHA (días)	NC	EB (%)	TP	CC (días)	REFERENCIA
<i>P. citrinopileatus</i>	Heno de girasol (suplementado)	Esterilizado	-	30	2	42	-	-	Atila (2017)
	Residuo de la cabeza de girasol (suplementado)	Esterilizado	-	34.4	2	54	-	-	
	Paja de frijol (suplementado)	Esterilizado	-	29.8	2	43	-	-	
	Aserrín de encino (suplementado)	Esterilizado	-	34	1	73.9	-	-	
<i>P. citrinopileatus</i>	Paja de arroz	Pasteurizado	-	-	3	161	-	-	Bandopadhyay (2013)
	Lirio acuático	Pasteurizado	-	-	3	144	-	-	
<i>P. djamor</i> *	Paja de trigo	Esterilizado	-	15	4	67.6	-	-	Paswall et al. (2017)
	Paja de avena	Esterilizado	-	26	4	51.9	-	-	
	Paja de arroz	Esterilizado	-	14	4	77	-	-	
	Hojas de manzano	Esterilizado	-	26	3	47	-	-	
	Hojas de chinarr	Esterilizado	-	26	3	27	-	-	
	Hojas de álamo	Esterilizado	-	26	3	45.5	-	-	
<i>P. djamor</i> *	Paja de trigo	Pasteurizado	7-2.6	25	3	58.6	0.87	66	Acosta Urdapilleta et al. (2020)
<i>P. djamor</i>	Paja de arroz	Pasteurizado	5-10	-	-	55.7	1.03	-	Vega y Franco, (2013)
	Paja de arroz	Pasteurizado	5-10	-	-	19.6	0.36	-	
	Rastrojo de maíz	Pasteurizado	5-10	-	-	53.1	0.98	-	
	Rastrojo de maíz	Pasteurizado	5-10	-	-	23.14	0.40	-	
	Tuza de maíz	Pasteurizado	5-10	-	-	62.0	1.16	-	
	Tuza de maíz	Pasteurizado	5-10	-	-	15.19	0.13	-	
<i>P. djamor</i>	Heno de girasol (suplementado)	Esterilizado	-	23.8	3	77	-	-	Atila (2017)
	Residuo de la flor de girasol (suplementado)	Esterilizado	-	29.4	3	45	-	-	
	Paja de frijol (suplementado)	Esterilizado	-	34.2	3	78	-	-	
	Aserrín de encino (suplementado)	Esterilizado	-	30.2	3	62.5	-	-	

“-” dato no reportado

TP = Tasa de producción

NC = Número de cosechas

CC = Ciclo de cultivo

EB = Eficiencia biológica

* = Rosa

Fuente: Ma. de Lourdes Acosta Urdapilleta.



Actividad nematocida de *Pleurotus* spp.

Existen diversos reportes del uso de los hongos comestibles del género *Pleurotus* para el control de nematodos. El primero de ellos, fue descrito por Barron y Thorn (1987), en donde reportaron que el micelio de *P. ostreatus* produce gotas de toxinas que paralizan a los nematodos para, posteriormente, colonizarlos y digerirlos. Observaron que las toxinas son producidas por células secretoras de las hifas vegetativas e inducidas por la presencia de nematodos. Posteriormente, otros autores identificaron la toxina como ácido trans-2-decenoico y probaron su efectividad con el nematodo *Panagrellus redivivus* como modelo. Reportaron que la toxina a una concentración de 300 ppm logró inmovilizar el 95% de las larvas en una hora (Kwok *et al.*, 1992).

Sin embargo, Lee *et al.* (2023) mencionan que el ácido trans-2-decenoico no reprodujo la parálisis de acción rápida y necrosis celular que reportaron Barron and Thorn (1987). Por lo que ellos denominaron a la toxina como toxocistos y que la 3-octanona es uno de los principales componentes. Reportaron que este compuesto afecta la membrana celular, provoca la muerte de células neuronales y una parálisis rápida en larvas de *Caenorhabditis elegans*. Por otra parte, Stadler *et al.* (1994), evaluaron el extracto acetónico del sustrato sumergido de *P. pulmonarius* e identificaron seis compuestos. El más activo de ellos fue el ácido linoleico, y notificaron que a 10 µg/mL, inmoviliza el 90% de las larvas de *C. elegans* a las 18 horas. Esto coincidió con lo reportado por Satou *et al.* (2008), que indican que el ácido linoleico y probablemente el peróxido de este compuesto aislados de *P. ostreatus* son los responsables de la parálisis y encogimiento de la cabeza de los nematodos que evaluaron (Diplogastridae).

Los estudios anteriores se realizaron con nematodos de vida libre; sin embargo, también se ha evaluado la efectividad de los hongos del género *Pleurotus* contra nematodos fitoparásitos. Heydari *et al.* (2006), reportaron que al incubar durante 24 h 100 larvas J2s de *Meloidogyne javanica* en filtrados de cultivo de *P. ostreatus*, *P. sajor-caju*, *P. cornucopiae*, *P. florida* y *P. eryngii*, se paralizaron el 100%, 97.1%, 80.2 %, 75.7%, y 44.3%, respectivamente. Por otro lado, reportaron que la fracción “PdR2” procedente de los basidiomas de *P. djamor* a 1.25 mg/ml produjo 86% de mortalidad de J2s de *M. enterolobii* bajo condiciones *in vitro* (Gómez-Rodríguez *et al.*, 2022).

También se ha reportado el uso de *P. ferulae* para el control del nematodo de la madera del pino *Bursaphelenchus xylophilus*. Li *et al.* (2007), realizaron el aislamiento de tres compuestos a partir del micelio y caldo de cultivo del hongo. El compuesto más activo fue el 5-hidroximetil–furan carbaldehído, del cual reportaron una concentración letal media de 174.6 mg/L a las 72 h post–confrontación.

La mayoría de los trabajos se han enfocado en evaluar la efectividad del *Pleurotus* en contra de nematodos que afectan a animales. Estos reportes se resumen en la Tabla 2.

Está claro que los hongos del género *Pleurotus* poseen compuestos que pueden afectar a nematodos de vida libre, fitoparásitos y parásitos de animales. Esto lo pueden llevar a cabo a diversos niveles, aunque principalmente generan la parálisis de los nematodos y posteriormente su muerte, ya que la motilidad en los nematodos es parte esencial para su desarrollo. Aún faltan más estudios para entender mejor cual es el método de acción de cada uno de estos compuestos en los diferentes nematodos, sin embargo, el uso de *Pleurotus* puede ser una buena alternativa para el control de estos nematodos.



Conclusiones

El presente capítulo destacó la importancia de la caracterización del cultivo de los hongos comestibles como una actividad que contribuye al sector de la biotecnológica a nivel mundial y nacional impactando directamente a la cadena ecológica y en el reciclaje de subproductos agrícolas. Es importante destacar que dentro de las diversas propiedades de los hongos comestible por nuestro grupo de investigación ha notificado la actividad antiparasitaria (nematicida) de *Pleurotus* spp. atribuida a compuestos bioactivos contra nematodos parásitos. Finalmente, mostramos la urgente necesidad de llevar a cabo más estudios sobre el efecto de la estimulación de la inmunidad en el hospedador, por extractos orgánicos de hongos comestibles y su efecto en la resistencia a parásitos.

Tabla 2: Efectividad de distintas especies de *Pleurotus* en contra nematodos que parasitan animales

Nematodo	Animal que afecta	Especie de <i>Pleurotus</i>	Parte del hongo / Extracto / compuestos	Efectividad	Referencia
<i>Ostertagia ostertagi</i>	Bovinos	pulmonarius	micelio	100% de inmovilización de larvas	Larsen & Nansen (1990)
<i>Cooperia oncophora</i>				100% de inmovilización de larvas	
<i>Syphacia ovelata</i>	Ratones	eryngii	Extracto acuoso de basidiomas	95% larvas maduras	Samsam Shariat et al. (1994)
<i>Haemonchus contortus</i>	Ovinos	djamor 123	Fracción E1 de basidiomas (Ácido pentadecanoico, Ácido palmítico, β-sitosterol, ácido esteárico y ácido linoléico)	96% inhibición de la eclosión de huevos 90% contra larvas L3	Pineda Alegría et al. (2017)
<i>Haemonchus contortus</i>	Ovinos	eryngii 1255	Fracción 5 de basidiomas (Trehalosa, L-itol, galactitol, D-manitol, D-glucitol y mioinositol, ácido adípico, ácido esteárico, escualeno y β-sitosterol)	91% inhibición de la eclosión de huevos	Cruz Arévalo et al. (2020)
<i>Haemonchus contortus</i>	Ovinos	ostreatus	Extracto acuoso de basidiomas (ácidos tridecanoico, tetradecanoico, linoleaídico, 9,15-octadecadienoico y oxálico.	100% inhibición de la eclosión de huevos 94% contra larvas L3	de Matos et al. (2020)
<i>Haemonchus contortus</i>	Ovinos	cornucopiae 1328	Extracto hidroalcohólico de micelio	76% contra larvas L3	Comans Pérez et al. (2021)
		eryngii 1290		80% contra larvas L3	
		ostreatus 0152		88% contra larvas L3	
		cornucopiae 1330		88% contra larvas L3	
		ostreatus 1123		91% contra larvas L3	
		eryngii 1292		93% contra larvas L3	
<i>Haemonchus contortus</i>	Ovinos	djamor 127	Fracción PdB de basidiomas	100% inhibición de la eclosión de huevos 100% contra larvas L3 99% contra larvas L4 92% de reducción de larvas en jerbos (<i>Meriones unguiculatus</i>)	González Cortázar et al. (2021)



Nematodo	Animal que afecta	Especie de Pleurotus	Parte del hongo / Extracto / compuestos	Efectividad	Referencia
<i>Ciatostomus</i>	Caballos	florida	Extracto acuoso de basidiomas	92% inhibición de la eclosión de huevos	Giacometi et al. (2022)
		ostreatus		55% inhibición de la eclosión de huevos	
		djamor		23% inhibición de la eclosión de huevos	

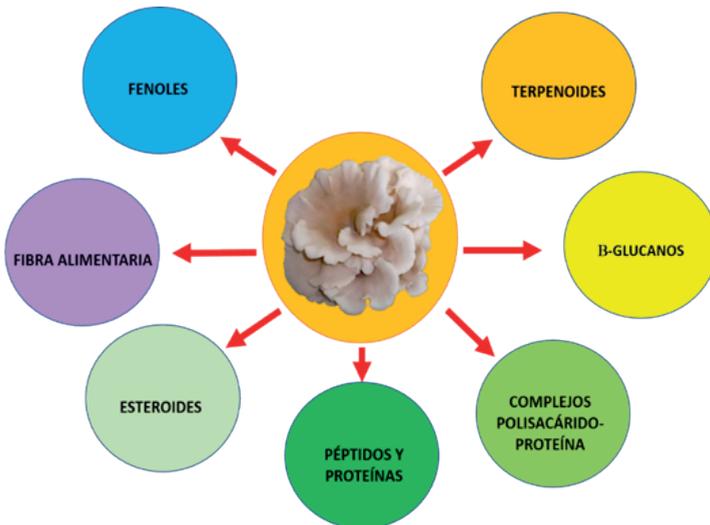
Fuente: Elaboración propia.

Perspectivas

Las especies del género de hongos comestibles *Pleurotus* poseen diversos componentes (Figura 2) y diferentes efectos, entre las que destaca el estímulo de la respuesta inmunitaria que favorece la resistencia del hospedador a los parásitos, por lo que se sugiere su uso en la alimentación de animales de granja.

Figura 2

Principales moléculas presentes en los hongos del género *Pleurotus*.



Fuente: Ma. de Lourdes Acosta Urdapilleta.

Este aspecto de la inmunoestimulación por hongos comestibles requiere más investigación. Estudios previos hechos por Nurul *et al.* (2014) encontraron que el consumo diario de *Pleurotus sajor-caju* mejora la respuesta inmunitaria general de ratones a los que se les administró el hongo. Análisis recientes también han destacado los efectos inmunomoduladores de los hongos comestibles y sus productos inmunoreguladores (Zhao *et al.*, 2020). En este sentido, Elhusseiny *et al.* (2022) demostraron que la administración a ratas de extractos de hongos comestibles, incluyendo *Pleurotus ostreatus*, *P. columbinus* y *P. sajor-caju*, estimuló significativamente el conteo de glóbulos blancos y linfocitos, así como la actividad de lisozima, concentración de Óxido nítrico (ON) y la producción de citocinas, incluyendo el factor de necrosis tumoral-alpha (TNF- α), interferón-gamma (IFN- γ) e interleucina 1 beta (IL-1 β).

Un sistema inmunitario fortalecido eliminará de manera eficiente diversos patógenos, entre los que se encuentran los parásitos; por lo tanto, se deben llevar a cabo más estudios sobre el efecto de la estimulación de la inmunidad en el hospedador por extractos de hongos comestibles y su efecto en la resistencia a parásitos.

Agradecimiento

El presente capítulo fue parcialmente financiado por los Proyectos Fiscales Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, INIFAP (número de proyecto: 139335341).

Referencias bibliográficas

Acosta Urdapilleta, M. L., Villegas, E., Estrada Torres, A., Téllez Téllez, M., & Díaz Godínez, G. (2020). Antioxidant activity and proximal chemical composition of fruiting bodies of mushroom, *Pleurotus* spp. produced on wheat straw. *Journal*



- of *Environmental Biology*, 41(5), 1075-1081. <http://doi.org/10.22438/jeb/41/5/MRN-1307>.
- Akyüz, M., & Yildiz, A. (2008). Evaluation of cellulosic wastes for the cultivation of *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. *African Journal of Biotechnology*, 7(10). Available online at <http://www.academicjournals.org/AJB>.
- Albarrán, B. et al. (2001). *Crecimiento del micelio del Pleurotus ostreatus en un medio sólido con harina de salvado de trigo*. Universidad Nacional Autónoma de México, Laboratorio de metodología científica. Escuela nacional de estudios profesionales, Iztacala. p. 12-39.
- Álvarez Farias, Z. J., Díaz Godínez, G., Téllez Téllez, M., Villegas, E., & Acosta Urdapilleta, M. L. (2016). Ethnomycological knowledge of wild edible mushrooms in Tlayacapan, Morelos. *Mycosphere*, 7(10), 1491-1499. Doi 10.5943/mycosphere/si/3b/1.
- Andrino, A., Morte Gómez, M., & Honrubia García, M. (2011). Caracterización y cultivo de tres cepas de *Pleurotus eryngii* (Fries) Quélet sobre sustratos basados en residuos agroalimentarios. In *Anales de Biología*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones.
- Angelescu, G. C., Vamanu, E., & Stefan, R. I. (2015). Productivity and biological efficiency of *Pleurotus eryngii* MMIV cultivation at laboratory level. *Journal of Agronomy*, 14(3), 185. DOI: 10.3923/ja.2015.185.187.
- Atila, F. (2017). Evaluation of suitability of various agro-wastes for productivity of *Pleurotus djamor*, *Pleurotus citrinopileatus* and *Pleurotus eryngii* mushrooms. *Journal of Experimental Agriculture International*, 17(5), 1-11. DOI: 10.9734/JEAI/2017/36346.
- Bandopadhyay, S. (2013). Effect of supplementing rice straw with water hyacinth on the yield and nutritional qualities of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.). *Micología Aplicada Internacional*, 25(2), 15-21. Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=68528461001>.

- Barron, G. L., & Thorn, R. G. (1987). Destruction of nematodes by species of *Pleurotus*. *Canadian Journal of Botany*, 65(4), 774-778. <https://doi.org/10.1139/b87-103>
- Borkar, P., Doshi, A., Joshi, M., & Navathe, S. (2014). Suitability of various substrates for cultivation of *Pleurotus pulmonarius* in Konkan Region of Maharashtra. *Journal of Life Sciences Research*, 1(2), 51-53. <http://asianonlinejournals.com/index.php/Lifsc/index51>.
- Comans Pérez, R. J., Sánchez, J. E., Khalil, L., Al Ani, T., González Cortázar, M., Castañeda Ramírez, G. S., Aguilar Marcelino, L. (2021). Biological control of sheep nematode *Haemonchus contortus* using edible mushrooms. *Biological Control*, 152, 104420-104420. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104420>
- Cruz Arevalo, J., Sanchez, J. E., Gonzalez Cortazar, M., Zamilpa, A., Andrade Gallegos, R. H., Mendoza de Gives, P., & Aguilar Marcelino, L. (2020). Chemical Composition of an Anthelmintic Fraction of *Pleurotus eryngii* against Eggs and Infective Larvae (L3) of *Haemonchus contortus*. *BioMed research international*, 2020, 4138950. <https://doi.org/10.1155/2020/4138950>
- Cueva, M. B. R., Hernández, A., & Niño Ruiz, Z. (2017). Influence of C/N ratio on productivity and the protein contents of *Pleurotus ostreatus* grown in different residue mixtures. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49(2), 331-344. Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382853527023>.
- de Matos, A., Greesler, L. T., Giacometti, M., Barasuol, B. M., de Vasconcelos, F. R. C., Stainki, D. R., & Monteiro, S. G. (2020). Nematocidal Effect of Oyster Culinary Medicinal Mushroom *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes) against *Haemonchus contortus*. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 22(11), 1089-1098. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2020036364>
- del Toro, G. V., Ramírez Ortiz, M. E., Flores Ramírez, G., Costa Manzano, M. R., Robles Martínez, F., Garín Aguilar, M. E., & Leal



- Lara, H. (2018). Effect of *Yucca schiedigera* bagasse as substrate for oyster mushroom on cultivation parameters and fruit body quality. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 835-846. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2018v17n3/Valencia>.
- Elhusseiny, S. M., El Mahdy, T. S., Ellenboudy, N. S., Farag, M. M. S., Aboshanab, K. M., Yassien, M. A. (2022). *Nature Scientific reports* 12:12423 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16349-2>
- Estrada, A. R., & Royse, D. J. (2007). Yield, size and bacterial blotch resistance of *Pleurotus eryngii* grown on cottonseed hulls/oak sawdust supplemented with manganese, copper and whole ground soybean. *Bioresource Technology*, 98(10), 1898-1906. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.027>.
- Giacometi, M., Gressler, L. T., Petry, L. D. S., de Matos, A. F. M., Dillmann, J. B., Dos Santos, T. S., . . . Monteiro, S. G. (2022). Antioxidant and Nematocidal Effects of Several Oyster Mushroom Species of Genus *Pleurotus* (Agaricomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 24(6), 35-45. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2022043855>
- Golak Siwulska, I., Kałużewicz, A., Spiżewski, T., Siwulski, M., & Sobieralski, K. (2018). Bioactive compounds and medicinal properties of Oyster mushrooms (*Pleurotus* sp.). *Folia Horticulturae*, 30(2), 191-201. DOI: 10.2478/fhort-2018-0012.
- Gómez Rodríguez, O., Pineda Alegría, J. A., Castañeda Ramírez, G. S., González Cortazar, M., Sánchez, J. E., & Aguilar Marcelino, L. (2022). *In vitro* nematocidal activity of the *Pleurotus djamor* PdR-2 fraction against J2 of *Meloidogyne enterolobii*. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 40(2). <https://doi.org/10.18781/r.Mex.Fit.2202-2>
- González Cortazar, M., Sánchez, J. E., Huicochea Medina, M., Hernandez Velazquez, V. M., Mendoza de Gives, P., Zamilpa, A., Aguilar Marcelino, L. (2021). *In Vitro* and *In Vivo* Nematicide Effect of Extract Fractions of *Pleurotus djamor* Against *Haemonchus*

- contortus*. *Journal of Medicinal Food*, 24(3), 310-318. <https://doi.org/10.1089/jmf.2020.0054>
- Grimm, D., & Wösten, H. A. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied microbiology and biotechnology*, 102, 7795-7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>.
- Heredia Solís, A., Esparza Ibarra, E. L., Romero Bautista, L., Cabral Arellano, F. J., Echavarría Chairez, F. G., & Bañuelos-Valenzuela, R. (2016). Evaluación de mezclas para sustrato y producción de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. *Agroproductividad* 9(6), 67-72.
- Heydari, R., Pourjam, E., & Goltapeh, E. M. (2006). Antagonistic Effect of Some Species of *Pleurotus* on the Root-knot Nematode, *Meloidogyne javanica* *in vitro*. *Plant Pathology Journal*, 5(2), 173-177. <https://doi.org/10.3923/ppj.2006.173.177>
- Kirbag, S., & Akyuz, M. (2008). Effect of various agro-residues on growing periods, yield and biological efficiency of *Pleurotus eryngii*. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6, 402-405.
- Kwok, O. C., Plattner, R., Weisleder, D., & Wicklow, D. T. (1992). A nematocidal toxin from *Pleurotus ostreatus* NRRL 3526. *Journal of Chemical Ecology*, 18(2), 127-136. <https://doi.org/10.1007/bf00993748>
- Larsen, M., & Nansen, P. (1990). Effects of oyster mushroom *Pleurotus pulmonarius* on preparasitic larvae of bovine trichostrongyles. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 31(4), 509-510. <https://doi.org/10.1186/bf03547537>
- Lee, C. H., Lee, Y. Y., Chang, Y. C., Pon, W. L., Lee, S. P., Wali, N., . . . Hsueh, Y. P. (2023). A carnivorous mushroom paralyzes and kills nematodes via a volatile ketone. *Science Advances*, 9(3), eade4809. <https://doi.org/10.1126/sciadv.ade4809>
- Li, G., Wang, X., Zheng, L., Li, L., Huang, R., & Zhang, K. (2007). Nematocidal metabolites from the fungus *Pleurotus ferulae* Lenzi. *Annals of Microbiology*, 57(4), 527-529.



- Mane, V. P., Patil, S. S., Syed, A. A., & Baig, M. M. V. (2007). Bio-conversion of low quality lignocellulosic agricultural waste into edible protein by *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8, 745-751. doi:10.1631/jzus.2007.B0745.
- Mejía, S. J., & Albertó, E. (2013). Heat treatment of wheat straw by immersion in hot water decreases mushroom yield in *Pleurotus ostreatus*. *Revista iberoamericana de micología*, 30(2), 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2012.11.004>.
- Moonmoon, M., Uddin, M. N., Ahmed, S., Shelly, N. J. y Khan, M. A. (2010). Cultivation of different strains of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) on saw dust and rice straw in Bangladesh. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 17 (4), 341-345. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2010.05.004>.
- Mora, V. M., & Martínez Carrera, D. (2007). Investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas sobre el cultivo de setas (*Pleurotus*) en México. *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*, 69-110.
- Musieba, F., Okoth, S., Mibey, R. K., Wanjiku, S., & Moraa, K. (2012). Suitability of locally available substrates for cultivation of the Kenyan indigenous golden oyster mushroom (*Pleurotus citrinopileatus* Singer). *Agricultural Journal*, 7(4), 240-244. DOI: 10.3923/ajft.2012.650.655.
- Nasehi, M., Torbatinejad, N. M., Zerehdaran, S., & Safaie, A. R. (2017). Effect of solid-state fermentation by oyster mushroom (*Pleurotus florida*) on nutritive value of some agro by-products. *Journal of Applied Animal Research*, 45(1), 221-226. <https://doi.org/10.1080/09712119.2016.1150850>.
- Nurul, A. A., Johnathan, M., Jamaruddin, M. A., Rosli, W. W. (2014). Immunomodulatory effects of oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) extract in Balb/c mice. *Research and reviews:Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 3(3), 27-32.
- Paswall, S., Mughal, N., Bharti, V., Mahajan, S., & Majeed, M. (2017). Evaluation of locally available substrates for sporocarps pro-

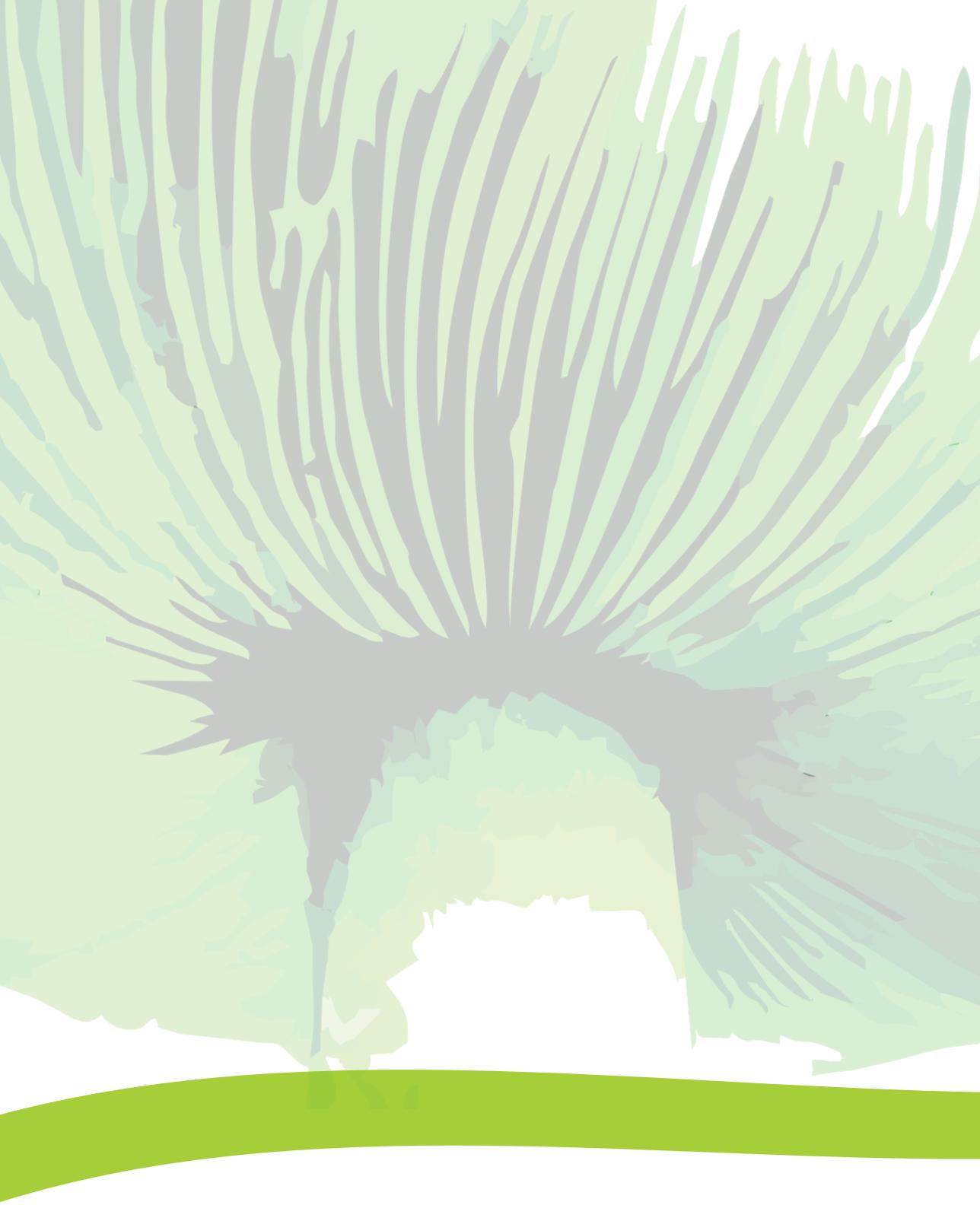
- duction of pink *Pleurotus* [*Pleurotus djamor* (Rumph. ex. Fr.) Boedijn] mushroom. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12), 1677-1684.
- Philippoussis, A., Zervakis, G., & Diamantopoulou, P. (2001). Bio-conversion of agricultural lignocellulosic wastes through the cultivation of the edible mushrooms *Agrocybe aegerita*, *Volvariella volvacea* and *Pleurotus* spp. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17, 191-200.
- Pineda-Alegría, J. A., Sánchez Vázquez, J. E., González Cortázar, M., Zamilpa, A., López Arellano, M. E., Cuevas Padilla, E. J., . . . Aguilar Marcelino, L. (2017). The Edible Mushroom *Pleurotus djamor* Produces Metabolites with Lethal Activity Against the Parasitic Nematode *Haemonchus contortus*. *Journal of Medicinal Food*, 20(12), 1184-1192. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.0031>
- Rahi, D. K., Rahi, S., Pandey, A. K., Rajak, R. C. (2009). Enzymes from mushrooms and their industrial application. In: Rai M (ed.) *Advances in Fungal Biotechnology*. I K International Publishing House Pvt, New Dehli, pp. 136–184.
- Raman, J., Jang, K. Y., Oh, Y. L., Oh, M., Im, J. H., Lakshmanan, H., & Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: an overview. *Mycobiology*, 49(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142>.
- Romero, O., Huerta, M., Damián, M. A., Macías, A., Tapia, A. M., Parraguirre, J. F., & Juárez, J. (2010). Evaluación de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* utilizando hoja de plátano deshidratada (*Musa paradisiaca* L.), en relación con otros sustratos agrícolas. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 53-63. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43617800005>.
- Royse, D. J., Baars, J., Tan, Q. (2017). Current overview of mushroom production in the world. In: Zied, DC, Pardo-Gimenez, A. (eds.) *Edible and medicinal mushrooms: technology and applications*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, pp 5–13. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>.



- Samsam-Shariat, H., Farid, H., & Kavianpour, M. (1994). A study of the anthelmintic activity of aqueous extract of *Pleurotus eryngii* on *Syphacia obvelata* and *Hymenolepis nana*. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 5(1), 19-22. <https://doi.org/10.22059/jsciences.1994.31372>
- Sánchez Maldonado, E., Bautista García, N. I. & Acosta Urdapilleta, M. L. (2021). Eficiencia biológica de *Pleurotus eryngii* cultivado en una mezcla de residuos agroforestales. *X Simposio Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*; noviembre 8-12; Villahermosa, Tabasco, México.
- Satou, T., Kaneko, K., Li, W., & Koike, K. (2008). The toxin produced by *Pleurotus ostreatus* reduces the head size of nematodes. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 31(4), 574-576. <https://doi.org/10.1248/bpb.31.574>
- Singh, M. P., & Singh, V. K. (2011, October). Yield performance and nutritional analysis of *Pleurotus citrinopileatus* on different agrowastes and vegetable wastes. In 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, (pp. 4-7).
- Stadler, M., Mayer, A., Anke, H., & Sterner, O. (1994). Fatty acids and other compounds with nematocidal activity from cultures of Basidiomycetes. *Planta médica*, 60, 128-132. <https://doi.org/10.1055/s-2006-959433>
- Stamets P. (1993). *Growing gourmet and medicinal mushrooms*. 3rd edn. Crown Publishing Group, New York.
- Sugimoto H. H, Barbosa A. M., Dekker R. F., *et al.* (2001). Veratryl alcohol stimulates fruiting body formation in the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*. *FEMS Microbiology Letters*,194(2):235–238. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2001.tb09475.x>.
- Varnero, M. T., Quiroz, M. S., & Álvarez, C. H. (2010). Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). *Información tecnológica*, 21(2), 13-20. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642010000200003>.

- Vega, A., & Franco, H. (2013). Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. *Información tecnológica*, 24(1), 69-78. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000100009>.
- Vogel, F., & Salmones, D. (2000). Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus* spp. cultivadas en una planta comercial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17, 138-141
- Zhao, S., Gao, Q., Rong, C., Wang, S., Zhao, Z., Liu, Y., Xu, J. (2020). Immunomodulatory effects of edible and medicinal mushrooms and their bioactive immunoregulatory products. *Journal of Fungi* 6, 269. doi:10.3390/jof6040269.





CAPÍTULO VII

Antagonismo *in vitro* de dos cepas de *Trichoderma* contra *Rhizopus stolonifer*

Benjamín Amaro-Guadarrama¹, Maura Téllez-Télez^{1*}, Alma Rosa Agapito-Ocampo², Liliana Aguilar-Marcelino³, Ma. de Lourdes Acosta-Urdapilleta¹

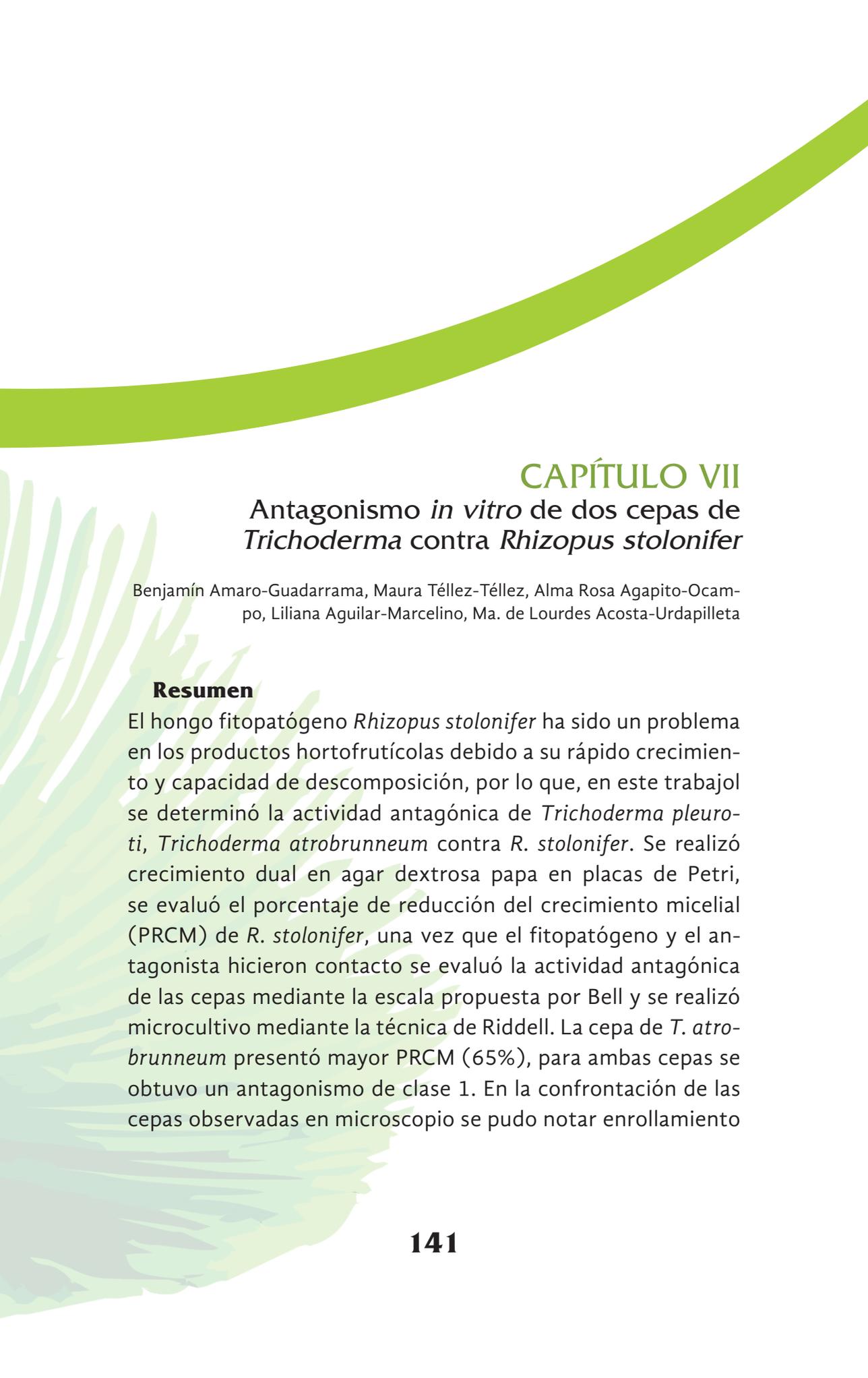
¹Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Col Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México.

C.P. 62209. maura.tellez@uaem.mx

²Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo rural, Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001, Col Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62209.

³CENID-Salud Animal e Inocuidad, INIFAP, Carretera Federal Cuernavaca-Cuatla No. 8534, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, Mexico. CP 62550.





CAPÍTULO VII

Antagonismo *in vitro* de dos cepas de *Trichoderma* contra *Rhizopus stolonifer*

Benjamín Amaro-Guadarrama, Maura Téllez-Téllez, Alma Rosa Agapito-Ocampo, Liliana Aguilar-Marcelino, Ma. de Lourdes Acosta-Urdapilleta

Resumen

El hongo fitopatógeno *Rhizopus stolonifer* ha sido un problema en los productos hortofrutícolas debido a su rápido crecimiento y capacidad de descomposición, por lo que, en este trabajo se determinó la actividad antagónica de *Trichoderma pleuroti*, *Trichoderma atrobrunneum* contra *R. stolonifer*. Se realizó crecimiento dual en agar dextrosa papa en placas de Petri, se evaluó el porcentaje de reducción del crecimiento micelial (PRCM) de *R. stolonifer*, una vez que el fitopatógeno y el antagonista hicieron contacto se evaluó la actividad antagónica de las cepas mediante la escala propuesta por Bell y se realizó microcultivo mediante la técnica de Riddell. La cepa de *T. atrobrunneum* presentó mayor PRCM (65%), para ambas cepas se obtuvo un antagonismo de clase 1. En la confrontación de las cepas observadas en microscopio se pudo notar enrollamiento

de las hifas de los antagonistas sobre *R. stolonifer*, determinando micoparasitismo como mecanismo de acción, lo cual indica el potencial de estos hongos para ser usados como biocontroladores de dicho fitopatógeno.

Introducción

Los productos hortofrutícolas son susceptibles al ataque microbiano, encontrándose entre ellos los hongos fitopatógenos. Las esporas de *R. stolonifer* existen comúnmente en ambiente y se propagan fácilmente de la fruta infectada a adyacentes, ocasionando que gran cantidad de frutos se dañen (Bonaterra *et al.*, 2003). El hongo penetra al huésped a través de magulladuras externas que se producen durante el proceso de cosecha, el transporte y la comercialización, dentro de las frutas que son más susceptibles a dicho hongo, son las fresas (*Fragaria sp.*) y duraznos (*Prunus persica*) (Oliveira *et al.*, 2019). Las pérdidas durante la postcosecha es un grave problema para la seguridad alimentaria mundial, ya que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) indicó que, en el 2015, aproximadamente un 45% de las frutas y verduras se desperdiciaron, lo que resulta en pérdidas económicas (entre 10,000 y 100,000 millones de dólares) en todo el mundo (Hua *et al.*, 2018).

El uso de fungicidas de origen químico sigue siendo una alternativa para la conservación postcosecha, pero se ha notificado que los fungicidas dejan residuos en frutas o verduras, provoca contaminación ambiental y la aparición de cepas de patógenos resistentes a los fungicidas (Yang y Jiang, 2015), poniendo en riesgo el manejo de enfermedades (Mari *et al.*, 2014). Una alternativa es el control biológico utilizando antagonistas naturales que ayuden a mitigar hongos fitopatógenos, actualmente se están realizando varios trabajos en busca de agentes de biocontrol (antagonistas), para conocer su eficiencia sobre la

inhibición del crecimiento de patógenos y que no presente efectos sobre la salud humana (Ghazanfar *et al.*, 2018).

El género *Trichoderma* es un hongo endófito que se encuentra en el suelo, como simbiote de plantas, saprótrofo y micoparásito (Alfiky y Weisskopf, 2021), puede controlar una amplia gama de fitopatógenos de postcosecha, los cuales son económicamente importantes, también afecta a hongos patógenos de plantas, bacterias y virus (Harman, 2006). Es antagonista de varios fitopatógenos, incluidas bacterias, nematodos parásitos y especialmente hongos, mediante la inhibición de su crecimiento, ya sea por interacción directa (hiperparasitismo, competencia por nutrientes y espacio, y antibiosis) (Zhang *et al.*, 2017) o indirecta al mejorar el crecimiento de las plantas, la tolerancia al estrés, la absorción de nutrientes, lo que puede proporcionar a las plantas metabolitos secundarios, enzimas y proteínas y la biorremediación de la rizosfera contaminada (Kumar *et al.*, 2013). Por eso, el uso de *Trichoderma* en la agricultura ha sido efectivo contra los patógenos e insectos (plagas) (Poveda, 2021). En este trabajo se realizó antagonismo de dos cepas de *Trichoderma* contra *R. stolonifer*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizó *Trichoderma pleuroti* (Tp) y *Trichoderma atroviride* (Ta) proporcionadas por el laboratorio de Micología del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), dichas cepas fueron aisladas del cultivo de *P. ostreatus* (Talavera Ortiz *et al.*, 2020). La cepa de *Rhizopus stolonifer* (Rs) fue obtenida de la Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares. Cada cepa se creció en agar dextrosa papa (ADP) y se incubaron a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (AMBI-HI-LO) en oscuridad.



Velocidad de crecimiento

Se determinó la velocidad de crecimiento (mm/h) de las dos cepas de *Trichoderma* y de Rs crecidas en ADP, cada 24 h a partir del inóculo (4 mm de diámetro) colocado en la parte central de la placa Petri se midió con un vernier los milímetros avanzados (Sánchez y Royse, 2001; Acosta Urdapilleta *et al.*, 2016).

Pruebas de antagonismo

Se realizaron confrontaciones duales para evaluar el efecto antagónico de *Trichoderma* hacia Rs, se estableció un ensayo de antagonista-fitopatógeno utilizando placas de Petri con ADP (90 x 15 mm), se inoculó con micelio de *Trichoderma* (4 mm) a 1 cm en la periferia de la placa de Petri, se colocó de forma equidistante el inóculo del fitopatógeno (Rs) a 1 cm de la otra periferia de la placa Petri y se incubaron a 25°C. Este procedimiento se realizó con cuatro réplicas junto con un testigo tanto para el antagonista como para el fitopatógeno (Uc-Arguelles *et al.*, 2017). Se determinó el tiempo (h) transcurrido en el que el micelio del antagonista y fitopatógeno se juntó (confrontación dual).

Porcentaje de reducción en el crecimiento micelial

En cuanto hizo contacto el micelio de ambos organismos, se calculó el porcentaje de reducción del crecimiento micelial (PRCM) del antagonista hacia Rs (Ezziyyani *et al.*, 2004; Michel Aceves *et al.*, 2019). La zona de la confrontación de las cepas fue medida desde el inóculo hasta la zona de intersección de la confrontación dual del micelio, se registraron cada 24 h, hasta que los testigos cubrieron la superficie de la placa (Michel-Aceves *et al.*, 2019). Se determinó el PRCM utilizando la fórmula 1 (Uc Arguelles *et al.*, 2017).

$$\text{PRCM} = [(A-B) / A] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

A = Crecimiento micelial del fitopatógeno testigo

B = Es el crecimiento micelial del fitopatógeno junto con el antagonista

Determinación de la capacidad antagónica

Después de haberse llevado a cabo la confrontación dual, se evaluó la capacidad antagónica utilizando la escala propuesta por Bell *et al.* (1982), de 5 clases (Tabla 1).

Tabla 1

Escala de Bell de la capacidad antagónica de los hongos.

Clase	Descripción
1	El antagonista sobrecrece al fitopatógeno ocupando el 100% de la placa
2	El antagonista sobrecrece al fitopatógeno inhibiéndolo y ocupando el 75% de la superficie del medio
3	Fitopatógeno y antagonista crecen 50% deteniendo ambos su crecimiento
4	El fitopatógeno crece más del 75% entremezclándose con el antagonista e inhibiéndolo
5	El fitopatógeno crece en toda la placa deteniendo al antagonista

Fuente: elaboración propia.

Microcultivo

Se utilizó la metodología de cámara húmeda de Riddell (Riddell, 1950) con algunas modificaciones. En placas de Petri: papel filtro húmedo, una varilla de vidrio y sobre ella un portaobjetos (todo el material estéril), sobre el cual se colocaron dos fragmentos (10 mm²) de ADP a una distancia entre ellos de 30 mm. Sobre uno de los fragmentos de agar se inoculó por picadura una porción de micelio del antagonista y sobre el otro fragmento se inoculó Rs después de cuatro días de crecimiento del antagonista. Las placas se incubaron a 25°C (AMBI-HI-LO) observando cada 24 h, los fragmentos de ADP fueron retirados



cuando se observó interacción entre las hifas de los dos hongos. Se le adicionó una gota de ácido láctico o azul de lactofenol. Las preparaciones se observaron al microscopio óptico a 40x.

Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron con cuatro repeticiones, de los cuales se reportó el promedio y desviación estándar. Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey $p \leq 0.05$) con el paquete estadístico *STATISTICA* versión 7.0 (Stat Soft, Inc. 2004).

Resultados y discusión

Las especies de *Trichoderma* han demostrado ser un agente de control que ha tenido éxito en el sector agrícola, está presente en el mercado como bioplaguicida, biofertilizante, descomponedor de materia orgánica, promotor del rendimiento y crecimiento vegetal, por eso forma parte de más del 60% de los fungicidas registrados en el mundo (Charoenrak y Chamswarn, 2016; Hernández-Melchor *et al.*, 2019).

La especie de *R. stolonifer* se caracteriza por su crecimiento rápido, en este trabajo el hongo fitopatógeno presentó mayor V_c (Tabla 2), ya que T_p creció 1.5 veces y T_a 1.2 veces menos en comparación con R_s . En la confrontación dual, las hifas de las cepas hicieron contacto a las 48 y 72 h después de la inoculación de R_s (Figura 1), después de las 240 h posteriores a la intersección, se observó que las cepas de T_a y T_p , sobrecrecieron y cubrieron por completo a R_s , por lo que se ubicaron en la clase 1 de antagonismo (Figura 2).

Tabla 2

Velocidad de crecimiento, confrontación dual y antagonismo de las cinco cepas contra *R. stolonifer*

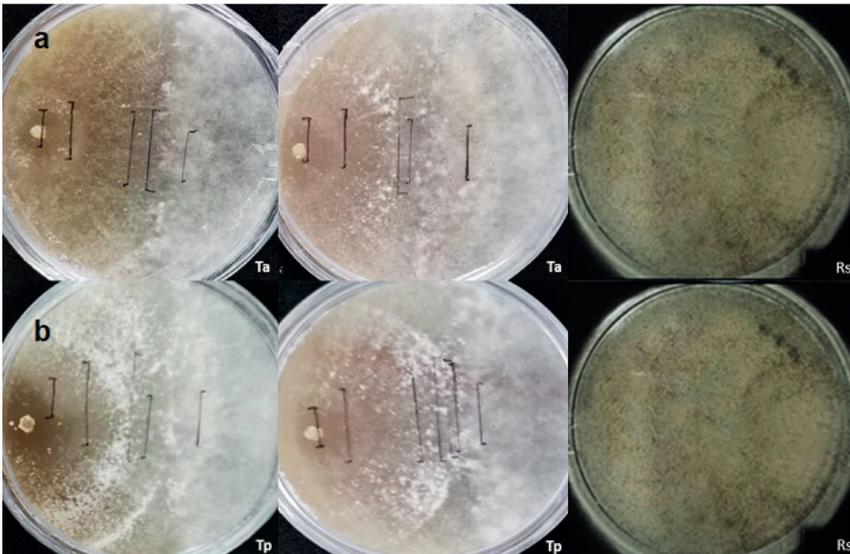
Cepa	Ta	Tp	Rs
Vc (mm/h)	0.65 ± 0.02^b	0.54 ± 0.02^c	0.80 ± 0.02^a
Hd (h)	48	48	---
Ca	1	1	----

Vc: Velocidad de crecimiento; Hd: Tiempo para el inicio de la confrontación dual; Ca: Clase de antagonismo. Las letras iguales no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1

Confrontación dual de *Trichoderma pleuroti* y *Trichoderma atrobrunneum* contra *R. stolonifer*. a) Ta-Rs y b) Tp-Rs.

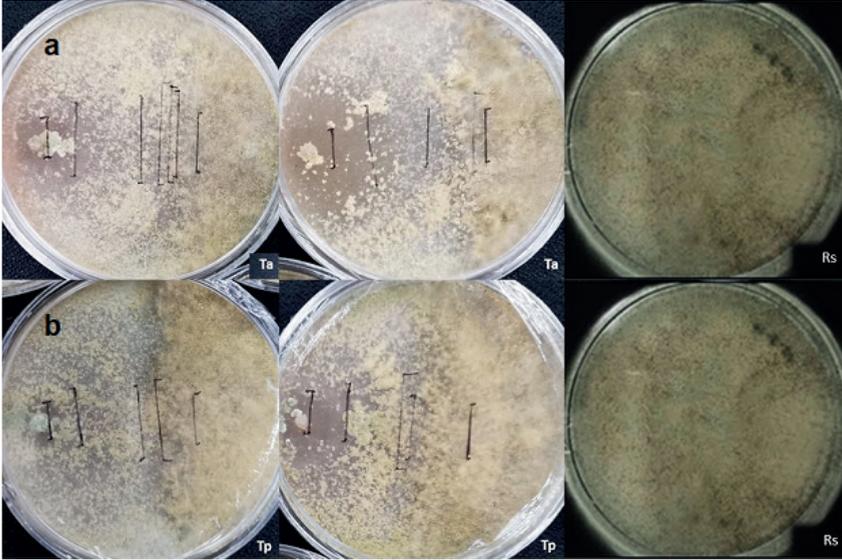


Fuente: Elaboración propia.



Figura 2

Confrontación dual después de 10 días de crecimiento de *Trichoderma* y *R. stolonifer*. a) Ta-Rs y b) Tp-Rs.



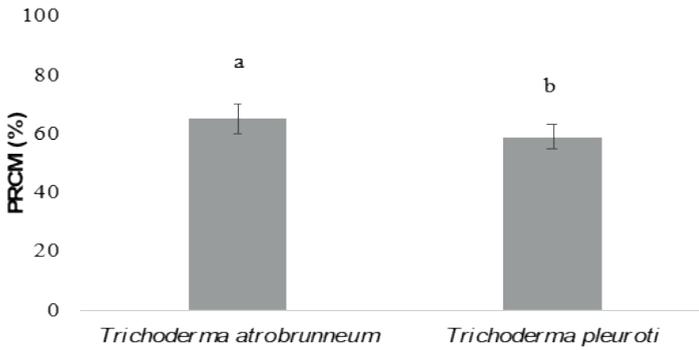
Fuente: Elaboración propia.

Jahan *et al.* (2013) indica que el mejor medio para el crecimiento de *T. harzianum* es ADP presentó 0.95 mm/h de Vc, en un medio modificado de ADP fue de 0.84 mm/h, en agar zanahoria fue de 0.79 mm/h y agar harina de maíz fue de 0.69 mm/h. Sánchez-Montesinos *et al.* (2021) reportaron Vc de aislados de *Trichoderma* crecidos en ADP, que estuvo entre 1.25 cm/d a 1.76 cm/d y nuestros resultados estuvieron entre dichos valores (Ta= 1.56 cm/d y Tp=1.29 cm/d), dichos aislados también se obtuvieron del cultivo de hongos (*Agaricus bisporus*) y en nuestro caso fue de *P. ostreatus*, por lo que hongos que son considerados problema dentro del cultivo, se pueden utilizar en controlar hongos fitopatógenos.

Las cepas de *Trichoderma* redujeron el crecimiento de Rs, para Ta fue 65% y Tp fue 59% (Figura 3).

Figura 3

Porcentaje de reducción del crecimiento micelial de *R. stolonifer* en el antagonismo. Las letras iguales no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$).



Fuente: Elaboración propia.

La cepa de *T. harzianum* presentó mayor inhibición de las cepas *Fusarium proliferatum* (68.4%) y *F. verticillioides* (60.6%) y *T. viride* inhibió en un 80.2% a *Fusarium proliferatum* y 70.5% a *F. verticillioides* (Yassin *et al.*, 2021). Nwankiti y Gwa (2018) confirmaron la actividad antagónica de *T. harzianum* frente a *Fusarium oxysporum*, ya que inhibió el crecimiento micelial en un 45.7% y Abhiram y Masih (2018) informaron que la cepa de *T. viride* suprimió el crecimiento micelial entre un 62.5% a 71% de *F. oxysporum*. López López *et al.* (2022) evaluaron la actividad antagónica de seis aislados de *Trichoderma* contra *Neoparvum parvum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Diaporthe* sp. y *Phomopsis perseae*, todas las cepas nativas de *Trichoderma* presentaron efecto sobre los cuatro hongos fitopatógenos (84% a 74%). Pero *T. harzianum* fue la que presentó mayor porcentaje de inhibición de los fitopatógenos (88-74%). Todos los aislados de *Trichoderma* mostraron alta actividad antagónica *in vitro*, para *Fusarium solani* y *Mycosphaerella melonis* que fue de 90%, para *Pythium aphanidermatum* fue de 65 % y para los

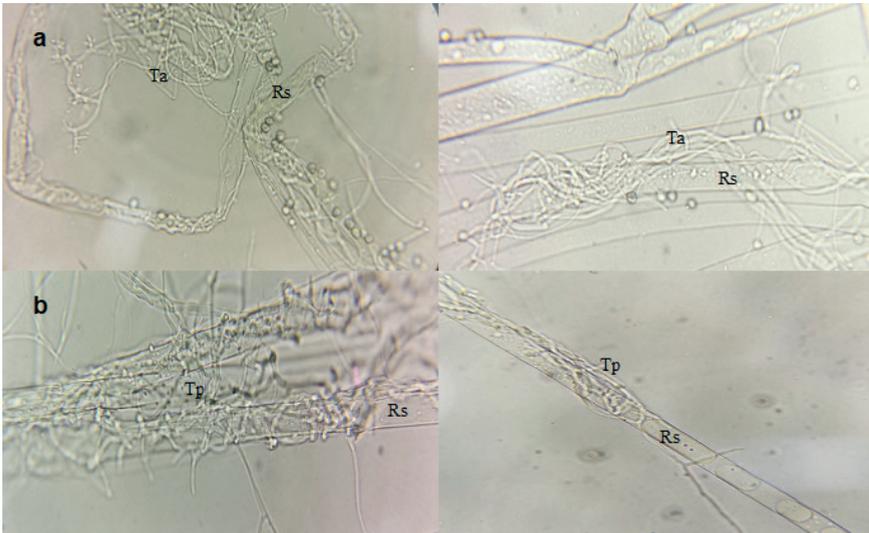


demás fitopatógenos la inhibición osciló entre 70 y 90 % (Sánchez Montesinos *et al.*, 2021).

En la Figura 4 se observa que el micelio de las cepas de *Trichoderma* creció endosado y enrolló el micelio de *R. stolonifer*, lo que podría indicar que *Trichoderma* presentó micoparasitismo para controlar a Rs, como lo reporta Sánchez Montesinos *et al.* (2021) que observaron el proceso de micoparasitismo de *Trichoderma* con hifas enrolladas alrededor de los fitopatógenos.

Figura 4

Microcultivo de *Trichoderma* y *R. stolonifer*. a) Ta-Rs y b) Tp-Rs.



Fuente: Elaboración propia.

Se ha reportado efecto antagónico de *Trichoderma* sobre *Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizotocnia solani*, *Sclerotinia* spp., *Botrytis* spp., *Phytophthora* spp., *Alternaria* spp., la acción está determinada por la competencia de nutrientes, espacio, parasitismo y antibiosis, protegiendo el área radicular, también ayuda en la absorción de micronutrientes estimulando el crecimiento

de la planta (Sánchez *et al.*, 2015) y ayuda mejorar los mecanismos de defensa de la planta (Vinale *et al.*, 2008).

Guédez *et al.* (2009) identificaron a *Rhizopus stolonifer*, *Mucor* spp., *Penicillium digitatum*, *Rhizoctonia solani*, *Aspergillus niger* y *Pythium* spp. y realizaron pruebas de antagonismo con *T. harzianum*, la Vc fue mayor que el crecimiento de los hongos postcosecha y a las 96 h de incubación la placa de Petri estaba completamente cubierta y en la zona de encuentro se observó que el mecanismo de acción del biocontrolador fue de tipo micoparasítico, *T. harzianum* fue un excelente controlador *in vitro* de hongos postcosecha de la fresa.

El hiperparasitismo está relacionado con el contacto directo de un antagonista con un patógeno y se compone de etapas tales como reconocimiento del patógeno, ataque, penetración gradual de las células del patógeno y muerte (Vinale *et al.*, 2008), en este proceso las enzimas líticas son de gran importancia, *Trichoderma* sintetiza dichas enzimas (quitinasas, celulasa, xilanasas, pectinasas, glucanasas, lipasa, amilasa, arabinasa y proteasa), lo que facilita la degradación de la pared celular de los patógenos, la cual está compuesta por polisacáridos de quitina y glucano (Ghazanfar *et al.*, 2018). Desde 1977 se ha indicado que *Trichoderma* cubre al fitopatógeno, ataca y penetra en las células del fitopatógeno, dañando la pared celular, causa retracción de la membrana plasmática y desorganiza el citoplasma (Tronsmo y Raa 1977). También se ha reportado que *Trichoderma* excreta una variedad de metabolitos secundarios con la finalidad de inducir la comunicación molecular mediante la inducción de las señalizaciones químicas, contribuyendo al establecimiento de interacciones con otros microorganismos en diversas vías para el control de los patógenos (Keswani *et al.*, 2014). Algunos de los metabolitos secundarios de importancia agrícola sintetizados por especies de *Trichoderma* se relacionan con compuestos volátiles y no volátiles con actividad antimicrobiana y defensa



vegetal, destacando diterpenos tetracíclicos (harziandiona), sesquiterpenos (tricotecenos y tricodermina) y el triterpeno viridin (Zeilinger *et al.*, 2016), por todo lo anterior es utilizado como biocontrol hacia fitopatógenos y se ha convertido en una alternativa para la agricultura sostenible (Poveda, 2021).

Conclusión

Existen pocos estudios sobre el uso de patógenos derivados de hongos cultivados, pero dichos trabajos, y éste, muestran que podrían ser una alternativa para ser utilizados en el control de hongos fitopatógenos.

Referencias bibliográficas

- Abhiram, P. & Masih, H. (2018). *In vitro* antagonism of *Trichoderma viride* against *Fusarium oxysporum* strains. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7 (2), 2816-2819.
- Acosta Urdapilleta, Ma. de L., Téllez Téllez, M., Villegas, E., Estrada, A. & Díaz Godínez, G. (2016). Caracterización de cinco especies de *Pleurotus* crecidas en cuatro medios de cultivo. *Mexican Journal of Biotechnology* 1(1), 1-11.
- Alfiky, A. & Weisskopf, L. (2021). Deciphering *Trichoderma*–plant–pathogen interactions for better development of biocontrol applications. *Journal of Fungi* 7(1), 61. <https://doi.org/10.3390/jof7010061>.
- Bell, D. K., Wells, H. D. & Markham. C. R. (1982). *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology* 72, 379-382.
- Bonaterra, A., Mari, M., Casalini, L. & Montesinos, E. (2003). Biological control of *Monilinia laxa* and *Rhizopus stolonifer* in postharvest of stone fruit by *Pantoea agglomerans* EPS125 and putative mechanisms of antagonism. *International Journal of*

- Food Microbiology* 84(1), 93-104. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00403-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00403-8).
- Charoenrak, P. & Chamswarng, C. (2016). Efficacies of wettable pellet and fresh culture of *Trichoderma asperellum* biocontrol products in growth promoting and reducing dirty panicles of rice. *Agriculture and Natural Resources* 50(4), 243-249. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.04.001>.
- Ezziyyani, M., Sánchez, C. P., Ahmed, A. S., Requena, M. E. & Castillo M. E. C. (2004). *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el biocontrol de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Anales de Biología* 26, 35-45. <https://revistas.um.es/analesbio/article/view/30441>.
- Fernández Larrea, O. V. (2001). Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. *Manejo Integrado de Plagas*. Pp. 96-100. Costa Rica. ISSN 1016-0469.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). <https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-UNEP-agriculture-environment-food-loss-waste-day-2022>
- Ghazanfar, M. U., Raza, M., Raza, W. & Qamar, M. I. (2018). *Trichoderma* as potential biocontrol agent, its exploitation in agriculture: a review. *Plant Protection* 2(3), 109-135.
- Guédez, C., Cañizález, L., Castillo, C. & Olivar, R. (2009). Efecto antagónico de *Trichoderma harzianum* sobre algunos hongos patógenos postcosecha de la fresa (*Fragaria* spp). *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 29(1), 34-38.
- Harman, G. E. (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 96, 190-194. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0190>.
- Hernández Melchor, D. J., Ferrera Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). *Trichoderma*: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean Journal of Agricultural & Animal*



- Sciences* 35(1), 98-112. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>.
- Hua, L., Yong, C., 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* 2(3), 111–119. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy016>.
- Jahan, N., Sultana, S., Adhikary, S. K., Rahman, S., & Yasmin, S. (2013). Evaluation of the growth performance of *Trichoderma harzianum* (Rifai.) on different culture media. *Journal of Agriculture and Veterinary Science* 3, 44-50.
- Keswani, C., Mishra, S., Sarma, B. K., Singh, S. P. & Singh, H. B. (2014). Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. *Applied Microbiology and Biotechnology* 98, 533-544. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5344-5>.
- Kumar, S. (2013). *Trichoderma*: A biological weapon for managing plant diseases and promoting sustainability. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine* 1(3), 106-121. <http://www.ijasvm.com/currentissue.php>.
- López López, M. E., Del Toro-Sánchez, C. L., Ochoa Ascencio, S., Aguilar López, J. A., Cruz, M. O., Madrigal Pulido, J. A., Robles García M. A., Bernal Mercado, A. T., Ávila Novoa, M. G. & Gutiérrez Lomelí, M. (2023). Antagonismo de cepas de *Trichoderma* spp. aisladas en Tanaxuri, Michoacán, México contra patógenos del aguacate (*Persea americana* Mill). *Biotecnia* 25(1), 24-33. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1726>.
- Mari, M., Di Francesco, A. & Bertolini, P. (2014). Control of fruit postharvest diseases: old issues and innovative approaches. *Stewart Postharvest Review* 10, 1-4. DOI:10.2212/spr.2014.1.1.
- Michel Aceves, A. C., Hernández Morales, J., Toledo Aguilar, R., Sabino López, J. E., & Romero Rosales, T. (2019). Capacidad antagonica de *Trichoderma* spp. nativa contra *Phytophthora pa-*

- rasitica* y *Fusarium oxysporum* aislados de cultivos de jamaica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(3), 235-241.
- Nwankiti, A. & Gwa, V. (2018). Evaluation of antagonistic effect of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium oxysporum* causal agent of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.) tuber rot. *Trends in Technical & Scientific Research* 1(1), 0012-0018.
- Oliveira, J., Parisi, M. C. M., Baggio, J. S., Silva, P. P. M., Paviani, B., Spoto, M. H. F. & Gloria, E. M. (2019). Control of *Rhizopus stolonifer* in strawberries by the combination of essential oil with carboxymethylcellulose. *International Journal of Food Microbiology* 292, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.014>
- Poveda, J. (2021). *Trichoderma* as biocontrol agent against pests: new uses for a mycoparasite. *Biological Control* 159, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>.
- Riddell, R. W. (1950). Permanent stained mycological preparations obtained by slide culture. *Mycologia* 42, 265-270.
- Sánchez Montesinos, B., Santos, M., Moreno Gavira, A., Marín Rodulfo, T., Gea, F. J., & Dianeze, F. (2021). Biological control of fungal diseases by *Trichoderma aggressivum* f. *europaeum* and its compatibility with fungicides. *Journal of Fungi* 7(8), 598. <https://doi.org/10.3390/jof7080598>.
- Sánchez, A., Barrera, V., Reybet, G. & Sosa, M. C. (2015). Biocontrol con *Trichoderma* spp. de *Fusarium oxysporum* causal del “mal de almácigos” en pre y post emergencia en cebolla. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 2015; 114(1): 61-70.
- Sánchez, J. E. & Royle, D. (2001). *La biología y el cultivo de Pleurotus spp.* ECOSUR, Noriega Editores Press, México.
- Talavera Ortiz, A., Chaverri, P., Díaz Godínez, G., Acosta Urdapilleta, Ma. de L., Villegas E. & Téllez Téllez, M. (2020). Mycelial inhibition of *Trichoderma* spp. (Hypocreaceae) isolated from the cultivation of *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) with an extract of *Pycnoporus* sp. (Polyporaceae). *Acta Botanica Mexicana* 127, e1537, DOI: 10.21829/abm127.2020.1537.



- Tronsmo, A. & Raa, J. (1977). Antagonistic action of *Trichoderma pseudokoningii* against the apple pathogen *Botrytis cinerea*. *Journal of Phytopathology* 89(3), 216-220.
- Uc Arguelles, A. K., Pérez Moreno, J., Ayala Escobar, V. & Zavaleta Mejía, E. (2017). Antagonism of *Saccharicola* sp. against phytopathogens of the root of jalapeno pepper (*Capsicum annuum*). *Revista Mexicana de Fitopatología* 35(2), 263-283. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1611-6>
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L. & Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry* 40(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>.
- Yang, X. & Jiang, X. (2015). Antifungal activity and mechanism of tea polyphenols against *Rhizopus stolonifer*. *Biotechnology Letters* 37(7), 1463-1472. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-1820-6>.
- Yassin, M. T., Mostafa, A. A. F., Al-Askar, A. A., Sayed, S. R. & Rady, A. M. (2021). Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro. *Journal of King Saud University-Science* 33(3), 101363. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101363>.
- Zeilinger, S., Gruber, S., Bansal, R. & Mukherjee, P. K. (2016). Secondary metabolism in *Trichoderma*–chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews* 30(2), 74-90. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.05.001>.
- Zhang, J., Chen, G. Y., Li, X. Z., Hu, M., Wang, B. Y., Ruan, B. H., Zhou, H., Zhao, L. X., Zhou, J., Ding, Z. T. & Yang Y B. (2017). Phytotoxic, antibacterial, and antioxidant activities of mycotoxins and other metabolites from *Trichoderma* sp. *Natural Product Research* 31(23), 2745–2752. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1295235>.

CAPÍTULO VIII

Hongos con potencial bioherbicida en el control de la maleza acuática *Salvinia natans* L.

Citlally Avalos de Dios¹; Itzel Antonio Fuentes¹; Ana Morales
Rodríguez¹; Sergio Gómez Cornelio¹; Susana De la Rosa-
García²

¹Ingeniería en Biotecnología. Universidad Politécnica del Centro. Carr. Villahermosa-Teapa Km. 22.5. Tumbulushal, 86290, Centro, Tabasco (sagomezcornelio@gmail.com)

²Laboratorio de Microbiología Aplicada. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carr. Villahermosa-Teapa kM. 0.5. R/a Emiliano Zapata, 86150, Centro, Tabasco.





CAPÍTULO VIII

Hongos con potencial bioherbicida en el control de la maleza acuática *Salvinia natans* L.

Citlally Avalos de Dios; Itzel Antonio Fuentes; Ana Morales Rodríguez; Sergio Gómez Cornelio; Susana De la Rosa-García

Resumen

La acuicultura enfrenta múltiples desafíos que arriesgan la producción e inocuidad de los cultivos de peces en sistemas naturales y artificiales. El crecimiento incontrolable de las malezas acuáticas es uno de ellos, ya que disminuye la fauna bentónica, el flujo y la turbulencia de agua, modificando la estructura y el funcionamiento del ecosistema, afectando con esto la pesca y la economía de los pescadores de la región. Por ello, se evaluó el control biológico de la maleza acuática *Salvinia natans* L., utilizando los metabolitos secundarios de hongos fitopatógenos para minimizar su crecimiento. Para tal efecto, los hongos se aislaron de lesiones foliares y se cultivaron en fermentación líquida separando el sobrenadante libre de células (SLC) que se aplicó a muestras de *S. natans* a diferentes concentraciones para

evaluar el daño a la planta. Además, se determinó la toxicidad de los SLC. Los resultados muestran que los hongos fitopatógenos *Nigrospora oryzae*, *Colletotrichum gloeosporioides* y *Pestalotiopsis maculans* causan daño foliar a *S. natans*, destacando el SLC de *Pestalotiopsis maculans* al 50 % causando lesiones foliares de entre 75 a 88 % de la planta. Los ensayos de toxicidad muestran que los SLC de los fitopatógenos tiene un bajo efecto en la germinación en semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) que no supera al 20 %. Estos resultados son promisorios y pueden ofrecer una solución más segura y sostenible para el control de malezas acuáticas y proporcionar una alternativa para los pescadores de la región.

Introducción

El creciente desarrollo de la acuicultura en los sistemas naturales y artificiales son un reto constante para los pescadores, quienes dependen de ambientes idóneos para la pesca, sin embargo, el desarrollo de malezas acuáticas amenaza a este sector. Tal es el caso de *Salvinia molesta*, que al invadir los sistemas acuáticos interviene en la disminución de la fauna bentónica, lo que reduce el flujo y la turbulencia de agua, modifica la estructura y el funcionamiento del sistema, favoreciendo la colonización por parte de otros invasores no nativos sobre los macrófitos, que conduce a condiciones ambientales anóxicas que afectan gravemente a las peces y su fuente alimenticia (Motitsoe *et al.*, 2020), repercutiendo en las actividades de los pescadores y como consecuencia conlleva un impacto negativo en el sector alimentario y económico (Acosta Arce, 2006).

El control de las malezas acuáticas resulta complicado por los diversos usos que tiene los cuerpos de agua y la presencia de plantas y animales nativos que habitan en el ecosistema. La aplicación de técnicas o métodos no biológicos para el control de macrófitos pueden incurrir en acciones desfavorables para

las especies que no resultan ser objeto de control, tales como peces nativos y organismos que no presentan relaciones específicas con las malezas, así como las características fisicoquímicas del agua (Madsen y Wersal, 2017).

En cuanto al control químico, es considerado como una solución inmediata, pero ha acumulado un gran número de objeciones. En los mantos acuáticos se acumulan las sustancias tóxicas de los pesticidas que representan una amenaza para la salud humana y para la reproducción animal. Entre estos productos se destacan los xenobióticos y algunos químicos naturales que actúan como disruptores endócrinos (xenoestrógenos) los cuales, como consecuencia, ocasionan la alteración en el metabolismo hormonal, la disminución de la fertilidad, así como también la alteración en la morfología de los peces, complicando la maduración de los huevos y, en algunos casos, ocasionando la muerte de los organismos. Además, estos productos, al entrar en contacto con los peces, ponen en riesgo la salud de los humanos al momento de su consumo (Taborda *et al.*, 2012).

Entre algunos de los disruptores endócrinos persistentes y poco biodegradables, se encuentran los pesticidas organoclorados, bifenilos policlorinados, (PCBs), alquifenoles y glifosato. Dentro de los cuales destacan dicuat, carfentrazona-etilo, glifosato y 2,4-D amina para el control de *Salvinia natans*, *S. molesta* y *S. mínima* (Gettys *et al.*, 2009).

En contraste, el control biológico es una alternativa eficiente y ecológica, que permite sustituir a los herbicidas químicos. Se define como el proceso controlador, utilizando organismos vivos capaces de reducir el vigor, la capacidad reproductiva o la densidad de las malezas acuáticas, lo cual hace referencia a que existen diversos agentes que logran causar un estrés biótico suficiente para efectuar el control y con baja posibilidad de nuevas generaciones de maleza. Una de las características que distingue al control biológico de los antes mencionados, es el



uso de patógenos de plantas, entre ellos se encuentran los hongos fitopatógenos de algunas especies de *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Nigrospora*, entre otros (Kordali *et al.*, 2016).

Existen organismos fúngicos que tienen la capacidad de producir metabolitos que funcionan como fitotóxicos que interfieren con el metabolismo básico de las plantas y las lleva a la muerte. Algunos hongos como *Colletotrichum*, *Aeschynomene*, *Fusarium* y *Exserohilum* han sido utilizados por su potencial bioherbicida para el control biológico de malezas, pero no sin antes realizar diversos análisis de riesgo para entender los posibles mecanismos de acción, lo que propiciaría un mejor manejo de estos para su aplicación (Sindhu *et al.*, 2018). Los metabolitos que excretan los hongos fitopatógenos dependen de su proceso de infección; ciertos hongos tienen la capacidad de degradar la cutícula y la pared celular con la finalidad de penetrar a la planta, otros desarrollan estructuras específicas para penetrar la epidermis, mientras que otros más ingresan a la planta por medio de heridas o aberturas naturales (Hill y Ray, 2013), por lo que podrían ser una excelente propuesta para ser utilizados contra la maleza acuática que prolifera en la región.

Por lo que el objetivo de este estudio fue determinar el potencial herbicida de metabolitos secundarios extracelulares en el medio de cultivo, aplicando los sobrenadantes libres de células como alternativas de control para la maleza acuática *Salvinia natans*. Asimismo, se teoriza como posible resultado el hallazgo de especies fitopatógenas que generan metabolitos capaces de infectar a la planta con un alto grado de toxicidad y en el menor tiempo posible, realizando una aplicación sistémica sobre la planta control sin poner en riesgo plantas aledañas al cuerpo lagunar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento e identificación fúngica

Los hongos fitopatógenos se aislaron de lesiones foliares en las plantas de *Citrus × limon*, *Carica papaya* y *Salvinia natans* (Figura 1). Los tejidos con lesiones típicas de daño se cortaron en fragmentos de aproximadamente 0.5 mm, desinfectados por pases seriados en etanol al 70%, hipoclorito de sodio al 1% y tres pases de agua destilada estéril. Se eliminó el exceso de humedad y los fragmentos se depositaron en cajas Petri con medio agar papa dextrosa (APD). Las cajas se incubaron a temperatura ambiente, y revisaron diariamente hasta observar crecimiento fúngico. Los hongos que emergieron de los fragmentos de hojas se pasaron a cajas de APD, hasta lograr cultivos axénicos.

Figura 1

Lesiones foliares en hojas de a) *Salvinia natans*, b) *Carica papaya*, y c) *citrus × limon*.



Fuente: Itzel Antonio Fuentes.

Los hongos aislados se identificaron de acuerdo con sus características macroscópicas como forma, textura, color, producción de pigmentos, apariencia del margen, entre otros y microscópicas para determinar el tamaño, color, forma de conidios, conidiogénesis, conidióforos, entre otros (Gómez Cornelio *et al.*, 2016). La identificación se realizó con la ayuda de claves taxonómicas (Sutton, 1980; Domsch *et al.*, 2007; Seifert *et al.*, 2011).



Extracción de metabolitos secundarios por fermentación líquida

Para la obtención de los metabolitos secundarios, se realizó la fermentación líquida de los tres hongos fitopatógenos y el hongo no fitopatógeno aislado de material pétreo. Los hongos se sembraron en la caja con agar papa dextrosa (APD) y después de siete días de incubación y de que se observara la presencia de esporas, se perforaron discos de 0.9 mm y se transfirieron a matraces de 500 ml que contenían 250 ml de caldo dextrosa papa (CPD). Los cultivos se incubaron a temperatura ambiente en agitación constante a 120 rpm por siete días (Castro de Souza *et al.*, 2015). Transcurrido el tiempo se separó la biomasa fúngica por filtración al vacío con papel filtro (Moreira *et al.*, 2018). El filtrado se centrifugó a 4500 rpm por 5 min y se realizó un segundo filtrado con papel filtro Whatman. El sobrenadante libre de células fue conservado en refrigeración hasta su uso en las pruebas contra *S. natans*.

Prueba de patogenicidad

Las macrófitas acuáticas fueron recolectadas de la laguna del conocimiento de la Universidad Politécnica del Centro y se colocaron en contenedores de plástico de capacidad de 800 ml, durante 5 días a temperatura ambientales para su aclimatación. El SLC se asperjó de forma manual sobre las muestras extraídas, colocados en los respectivos tratamientos individuales. Los SLC se aplicaron en diferentes concentraciones (50, 75 y 100 %) y previamente se les adicionó Tween 80, con una concentración final del 2% para favorecer la dispersión de los SLC sobre la planta, debido a la alta hidrofobicidad que presentan las hojas (frondes). Los diferentes tratamientos fueron asperjados con 5 ml de cada concentración de los diferentes SLC y se mantuvieron a temperatura ambiente con ciclos de luz natural. El monitoreo de la aparición de los síntomas y lesiones en las plantas se rea-

lizó a los 3, 7, 10, 14 y 17 días de la aplicación. Como controles negativos se utilizaron agua destilada y Tween 80 y como positivos los herbicidas Agramina 480 (2,4-D Amina- Velsimex®) y Glifosato (N-fosfometilglicina-Bayer®).

Para determinar el efecto tóxico de los metabolitos fúngicos contenidos en el SLC sobre *S. natans*, se realizó la inspección visualmente de la apariencia de la macrófitas usando el método de Horsfall & Barrett (Moreira *et al.*, 2018), que consiste en la estimación visual de una escala de la severidad de la lesión provocada en las plantas por hongos fitopatógenos, dicha escala va de 1 a 11, donde 1 es un porcentaje de daño foliar de 0 y 11 es un porcentaje de daño foliar visual de 97 a 100 % (Moreira *et al.*, 2018; Soto Rojas, 2017).

Pruebas de toxicidad

La toxicidad de los SLC se evaluó con el ensayo de germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*). En cajas cuadradas de 10 x 10 cm se colocó un papel adsorbente, se depositaron nueve semillas y se aplicó por aspersion 5 ml de los SLC al 50 % y 100 %. Las placas se incubaron a temperatura ambiente. El porcentaje de germinación de semillas fue calculado contando el número de semillas germinadas respecto al total de cada placa (Bo *et al.*, 2019).

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{Semillas germinadas}}{\text{Semillas totales}} \times 100$$

Resultados y Discusión

Los hongos aislados de las diferentes lesiones fueron *Nigrospora oryzae* proveniente de lesiones foliares de *Salvinia natans*, *Pestalotiopsis maculans* aislado de *Citrus × limón*, y de las lesiones de hojas de *Carica papaya* se aisló el hongo *Colletotrichum*



gloeosporioides y fitopatógenos *Nodulisporium* sp aislados de material pétreo. Los hongos fitopatógenos tienen gran relevancia por su gran impacto en la agricultura, ya que producen efectos deteriorantes en cosechas de interés alimentario, entre las que destacan arroz, trigo, papa, mango, papaya, aguacate, entre otros. Los géneros de hongos fitopatógenos más reportados están *Fusarium*, *Nigrospora*, *Pestalotiopsis*, y *Colletotrichum* este último de especial interés debido a las pérdidas económicas generadas en los frutos tropicales en México (Carreras *et al.*, 2013; Rojo, 2017; Suwannarach *et al.*, 2013), mientras que en el control biológico de *Salvinia molesta* se ha reportado en la India el potencial bioherbicida de *Nigrospora sphaerica* (Kumar, 2005).

En las evaluaciones contra *S. natans* se observó que todos los SLC al 100 % no muestran el mejor efecto bioherbicida. Cuando los SLC están al 50 % se observan áreas foliares con mayor daño y por tanto un mayor puntaje de gravedad. Como es el caso del SLC-50% de *P. maculans* que presentó un puntaje de severidad de 8, con una área foliar dañada del 88 %-94 % (Tabla 1 y 2), siendo el más alto de los SLC evaluados, mientras que el SLC-50 % de *N. oryzae* (50 %) y el SLC-75 de *C. gloeosporioides* presentaron lesiones foliares de acuerdo con Horsfall y Barrett de entre 50-75 %. Los mejores resultados fueron encontrados cuando los SLC estaban diluidos al 50%, esto puede deberse que en esta concentración los metabolitos secundarios como las fitotoxinas pueden penetrar la superficie foliar de manera más eficiente.

Tabla 1

Lesión de los SLC de los hongos evaluados a diferentes concentraciones contra *S. natans* de acuerdo con el método de Horsfall & Barrett.

Hongo fitopatógeno	SLC (%)	Puntaje de gravedad	Área foliar (% de planta lesionada)
<i>Nigrospora oryzae</i>	100	6	25-50
<i>Nigrospora oryzae</i>	75	6	25-50

Hongo fitopatógeno	SLC (%)	Puntaje de gravedad	Área foliar (% de planta lesionada)
<i>Nigrospora oryzae</i>	50	7	50-75
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	100	6	25-50
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	75	7	50-75
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	50	6	25-50
<i>Pestalotiopsis maculans</i>	100	7	50-75
<i>Pestalotiopsis maculans</i>	75	7	50-75
<i>Pestalotiopsis maculans</i>	50	9	88-94
<i>Nodulisporium sp.</i>	100	5	12-25
<i>Nodulisporium sp.</i>	75	6	25-50
<i>Nodulisporium sp.</i>	50	6	25-50
Agramina (2,4-D Amina)		11	97-100
Glifosato (N-fosfometilglicina)		11	97-100
Tween 80	2	1	0
Testigo	-	1	0

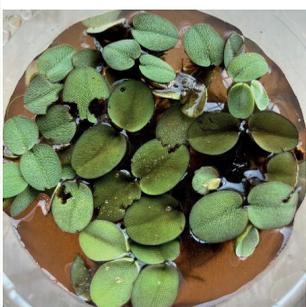
Fuente: Elaborado por Itzel Antonio Fuentes.

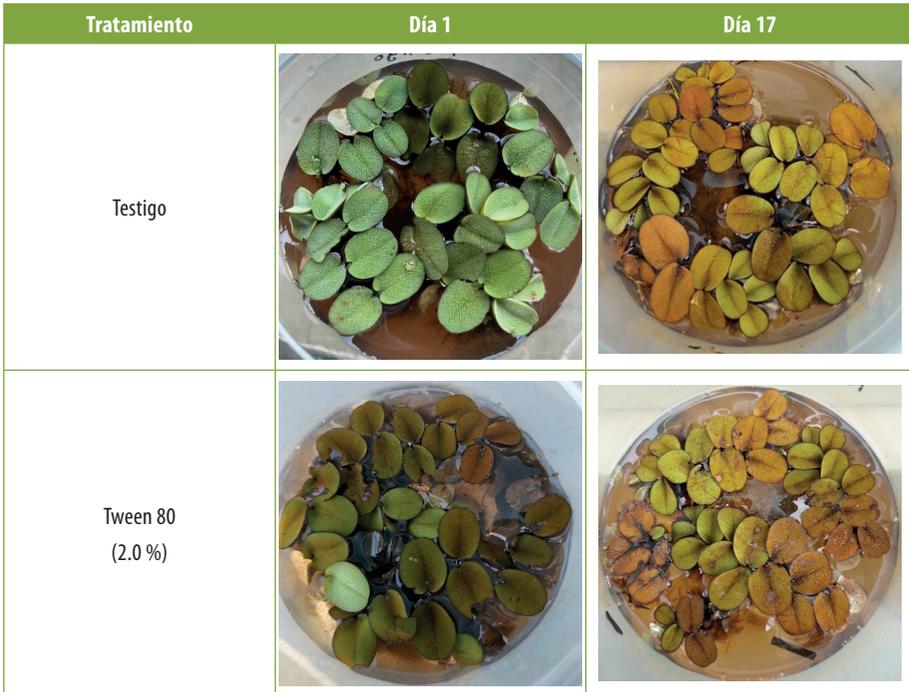
En el caso del *Nodulisporium sp.* aislado del material pétreo, afectó el 50% o menos las hojas de *S. natans*. En cuanto a los herbicidas sintéticos comerciales, su aplicación provocó lesiones en la planta al nivel más alto, donde se observó una mayor ocurrencia de necrosis en la superficie foliar que fue en aumento hasta el último día de observación con un puntaje de severidad de las lesiones ocasionadas en las hojas de la macrófita de 11 para ambos herbicidas sintéticos Agramina y Glifosato; en contraste, en el control negativo de lesiones en las plantas observadas fueron a un nivel bajo o nulo, o sea una severidad de solo 1 (Tabla 1 y 2).



Tabla 2

Efecto sobre el daño foliar de *S. natans* por los SLC de *P. maculans* al 50%, *C. gloeosporioides* al 75%, herbicidas sintéticos y el control de Tween 80.

Tratamiento	Día 1	Día 17
<i>Pestalotiopsis maculans</i> CLS-50%		
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> SLC-75%		
Control (<i>Glifosato</i>) Concentración usada		
Control (<i>Agramina</i>) Concentración usada		



Fuente: Elaborado por Itzel Antonio Fuentes.

El efecto de los SLC sobre la planta (Tabla 2), son similares a los síntomas reportados en estudios anteriores, donde evaluaron el efecto bioherbicida de hongos fitopatógenos como algunas especies del género *Diaporthe*, un fitopatógeno de diversas plantas hospedadas (Castro de Souza *et al.*, 2015; Pes *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2018), principalmente se han reportado lesiones foliares y en algunos casos el amarillamiento y decadencia de las plantas presentando necrosis en gran parte del tejido foliar causados por la acción de los compuestos metabólicos (Castro de Souza *et al.*, 2017; Pes *et al.*, 2016).

Algunos microorganismos fúngicos tienen la capacidad de producir metabolitos que funcionan como fitotóxicos, estas toxinas interfieren con el metabolismo de las plantas y llegan a causar la muerte. Algunos hongos como *Colletotrichum*, *Fusarium* y *Exserohilum* se utilizan como bioherbicidas, debido a la capacidad de producir esas toxinas (Sindhu *et al.*, 2018). Estos



hongos han sido probados como potenciales bioherbicidas para el control biológico de malezas, pero no sin antes realizar diversos análisis de riesgo para, así, entender de mejor manera los mecanismos de acción, lo que da como consecuencia un mejor manejo de estos para su uso.

Los metabolitos que excretan los hongos fitopatógenos dependen del proceso particular de infección; ciertos hongos tienen la capacidad de degradar la cutícula y la pared celular con la finalidad de incorporarse a la planta, otros desarrollan estructuras específicas para penetrar la epidermis, mientras que otros ingresan a la planta por medio de heridas o aberturas naturales (Hill y Ray, 2013). Los metabolitos con actividad fitopatógena para *Colletotrichum gloeosporioides*, como la gloeosporona, micosporina alanina, 5-dicetopiperazinas y sideróforo ferricrocina han sido reportados (García Pajón y Collado, 2003), mientras que para *Nigrospora* comprenden pirrocidinas A y B, aloesaponarin, isozyganeina, rheoemodina, cerebrosida B (Huang *et al.*, 2016). Por lo que, se deduce, la actividad fitopatógena contra *S. natans* puede deberse a las toxinas producidas por los fitopatógenos que causan lesiones foliares que inducen a la muerte de la planta.

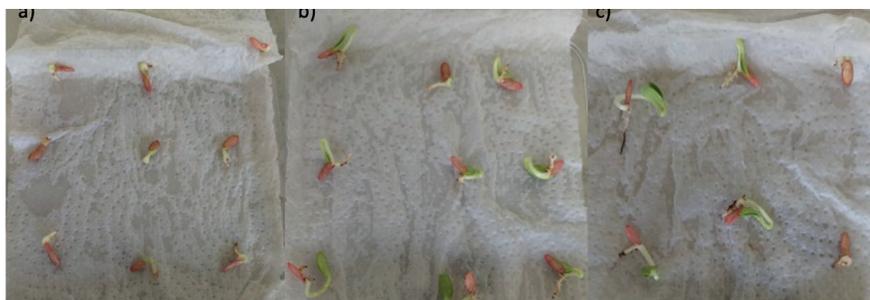
Es importante tener en cuenta que un bioherbicida puede no necesariamente causar el mismo efecto en las plantas que un herbicida químico. Los bioherbicidas tienen el potencial de proporcionar una ventaja competitiva para las plántulas en crecimiento a través de la infección y el retraso del crecimiento de las plántulas de malas hierbas (Hetherington, 2002). Además, muchas plantas han desarrollado resistencia al control químico, mientras que tenemos muy pocos ejemplos de resistencia evolucionada al control biológico (Strong, 2003).

Aunque los cuatro hongos evaluados ocasionaron lesiones contra *S. natans*, dada la trascendencia que podría presentar la aplicación en ambientes acuáticos abiertos, se evaluó la toxicidad de los SLC. Se encontró que solo el SLC al 100 % de *Nodulisporium*

sp. tiene un efecto en la germinación de semillas del pepino *Cucumis sativus*, mientras que con el resto de SLC de los tres hongos fitopatógenos al 50 y 100% de concentración presentaron porcentajes de germinación mayor al 88 % (Figura. 2; Tabla 3).

Figura 2

Ensayo de germinación de *C. sativus* con a) el SLC de *Colletotrichum gloeosporioides* al 100 %, b) *Pestalotiopsis maculans* al 50 %, c) crecimiento del extracto de *Nigrospora oryzae* al 50 %.



Fuente: Elaborado por Itzel Antonio Fuentes.

El bioensayo de fitotoxicidad sugiere que los SLC de estos hongos pueden ser efectivos contra la maleza, sin afectar la germinación de las plantas y el rendimiento de los cultivos, ya que los extractos no producen efectos inhibidores de la germinación (Tabla 3).

Tabla 3

Porcentaje de germinación de las semillas con SLC a dos concentraciones de los hongos evaluados.

SLC	Porcentaje de germinación (%)
SLC al 100%	
<i>Nodulisporium</i> sp.	44.44
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	100
<i>Pestalotiopsis maculans</i>	100
<i>Nigrospora oryzae</i>	88.88



SLC	Porcentaje de germinación (%)
SLC al 50%	
<i>Nodulisporium</i> sp.	100
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	100
<i>Pestalotiopsis maculans</i>	100
<i>Nigrospora oryzae</i>	88.88

Fuente: Elaborado por Itzel Antonio Fuentes.

Estos resultados indican que la aspersión del SLC de los hongos en cuestión, principalmente el SLC-50% de *P. maculans*, en ambientes objetivos podrían no afectar la flora circundante, ya que la obtención de un producto libre de células únicamente actuaría sobre el punto aplicado, sin que exista una dispersión de células vegetativas que puedan infectar otras plantas.

Conclusión

En este estudio se evaluó el potencial herbicida de tres especies fitopatógenas conocidas como, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Nigrospora oryzae* y *Pestalotiopsis maculans*. En las pruebas realizadas *P. maculans*, mostraron resultados relevantes en comparación de los hongos restantes, ya que causó un daño foliar entre 88 % y 94 %, con capacidad de control biológico sobre *S. natans*. Además, se demostró que los SLC de los hongos fitopatógenos aislados no son tóxicos en el ensayo de germinación de semillas de pepino (*C. sativus*). Aunque en años recientes, el control biológico ha tenido auge entre los investigadores, ya que es considerada una alternativa ecológica para el desarrollo de la agricultura sostenible, estudiando la selección de factores biológicos y la inclusión de la tecnología para la producción de metabolitos biológicamente activos, es necesario realizar estudios posteriores para determinar los metabolitos responsables de la actividad bioherbicida y los respectivos análisis del efecto *in situ* de los SLC para el rescate de los cuerpos lagunares y de

las zonas dedicadas a la pesca en la región, ya que la invasión de *S. natans* puede ocurrir en meses.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Carlos Andrés Baizabal Bocanegra, por su apoyo técnico.

Referencias bibliográficas

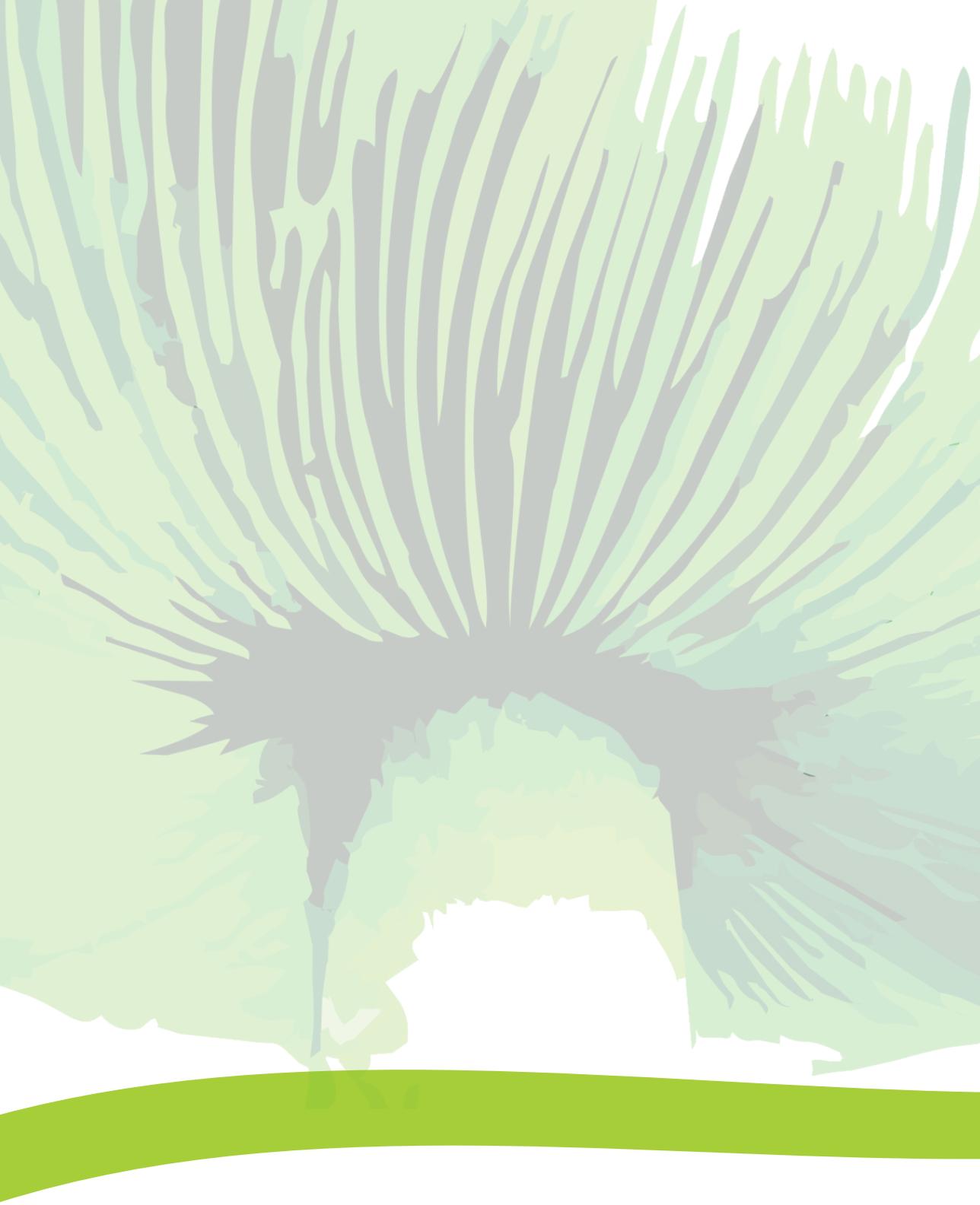
- Acosta Arce, L., & Agüero Alvarado, R. (2006). Malezas acuáticas como componentes del ecosistema. *Agronomía mesoamericana*, 17(2), 213-218.
- Bo, A. B., Kim, J. D., Kim, Y. S., Sin, H. T., Kim H. J., Khaitov, B., *et al.* (2019). Isolation, identification and characterization of *Streptomyces* metabolites as a potential bioherbicide. *PLoS ONE* 14(9): 1-18.
- Carreras, N., Hernández, E., Sánchez, D. (2013). Conociendo a los hongos fitopatógenos. *Ciencia Hoy*. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013->
- Castro de Souza, A. R., Baldoni, D. B., Lima, J., Porto, V., Marcuz, C., Machado, C., ... & Mazutti, M. A. (2017). Selection, isolation, and identification of fungi for bioherbicide production. *Brazilian journal of microbiology*, 48, 101-108.
- Castro de Souza, A. R., Baldoni, D. B., Lima, J., Porto, V., Marcuz, C., Ferraz, R. C., ... & Mazutti, M. A. (2015). Bioherbicide production by *Diaporthe* sp. isolated from the Brazilian Pampa biome. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(4), 575-578.
- Domsch K. H., Gams W, Anderson T. H., (2007). *Compendium of soil fungi*, 2nd edn. Academic press, England.
- García Pajón, C., & Collado, I. (2003). Secondary metabolites isolated from *Colletotrichum* species. *Natural Products Reports*. 20: 426-431.



- Gettys, L., Haller, W., & Bellaud, M. (2009). *Biology and Control of Aquatic Plants: A Best Management Practices Handbook* (1ed.). Aquatic Ecosystem Restoration Foundation.
- Gómez Cornelio, S., Ortega Morales, O., Morón Ríos, A., Reyes Estebanez, M., & Rosa García, S. D. L. (2016). Changes in fungal community composition of biofilms on limestone across a chronosequence in Campeche, Mexico. *Acta Botanica Mexicana*, (117), 59-77.
- Hetherington S. D., Smith H. E., Scanes M. G., *et al.* (2002). Effects of some environmental conditions on the effectiveness of *Drechslera avenacea* (Curtis ex Cooke) Shoem.: a potential bioherbicide for *Avena fatua* L. *Biol Control*, 24:103–109.
- Hill, M., & Ray, P. (2013). Microbial agents for control of aquatic weeds and their role in integrated management. *CAB Reviews*. 8(14).
- Huang, R., Wang, T., Xie, X., Ma, K., Fang, X., & Wu, S. (2016). Secondary Metabolites from an Endophytic Fungus *Nigrospora* sp. *Chemistry of Natural Compounds*, 52(4), 697–699.
- Kordali, S., Usanmaz, A., Cakir, A., Komaki, A., & Ercisli, S. (2016). Antifungal and herbicidal effects of fruit essential oils of four *Myrtus communis* genotypes. *Chemistry & biodiversity*, 13(1), 77-84.
- Kumar, S. (2015). *History, progress and prospects of classical biological control in India*.
- Madsen, J. D., & Wersal, R. M. (2017). A review of aquatic plant monitoring and assessment methods. *Journal of Aquatic Plant Management*, 55(1), 1-12.
- Moreira, C. D., Scapini, T., Muller, S., Amroginski, J., Golunski, S., Pandolfi, L., Treichel, H. (2018). Production of compounds by phytopathogenic fungi for biological control of aquatic macrophytes. *Bioresource Technology Reports*, 3, 22-26.
- Motitsoe, N., Coetzee, J., Hill, J., & Hill, M. (2020). Biological Control of *Salvinia molesta* (D.S. Mitchell) Drives Aquatic Ecosystem Recovery. *Diversity*, 12(5), 204.

- Pes, M. P., Mazutti, M. A., Almeida, T. C., Curioletti, L. E., Melo, A. A., Guedes, J. V., Kuhn, R. C. (2016). Bioherbicide based on *Diaporthe* sp. secondary metabolites in the control of three tough weeds. *Afr J Agric Res* 11:4242–4249.
- Rojo Báez, I., Álvarez Rodríguez, B., García Estrada, R. S., León Félix, J., Sañudo Barajas, A., Allende Molar, R. (2017). Situación actual de *Colletotrichums* spp. en México: Taxonomía, caracterización, patogénesis y control. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(3), 549-570.
- Seifert, K., Morgan Jones, G., Gams, W., Kendrick, B., (2011). The Genera of Hyphomycetes. *CBS-KNAW Fungal Biodiversity Center*. USA.
- Sindhu, S. S., Khandelwal, A., Phour, M., & Sehrawat, A. (2018). *Bioherbicidal potential of rhizosphere microorganisms for eco-friendly weed management*. In *Role of rhizospheric microbes in soil* (pp. 331-376). Springer, Singapore.
- Soto Rojas, L. (2017). *Caracterización de los factores que incluyen en la evaluación visual de enfermedades en plantas y su comparación con escalas logarítmicas*. Colegio de Posgraduados 41.
- Strong, D. R. (2003). Evolving weeds and biological control. *Proceedings of the XI International Symposium on Biological Control of Weeds*, 21-27.
- Sutton, B. C. (1980). *The Coelomycetes*. CABI Publishied. London UK.
- Suwannarach, N., Kumla, J., Bussaban, B., Nuangmek, W., Matsui, K., & Lumyong, S. (2013). *Biofumigation with the endophytic fungus Nodulisporium spp. CMU-UPE34 to control postharvest decay of citrus fruit*. *Crop protection*, 45, 63-70.
- Taborda, D. A. A., de J. Rodríguez, B., & Agudelo, B. A. D. (2012). Disrupción endócrina en peces. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(2), 312-323





CAPÍTULO IX

Impacto de la temperatura en la diversidad de los hongos comestibles silvestres del ecosistema Nevado de Toluca

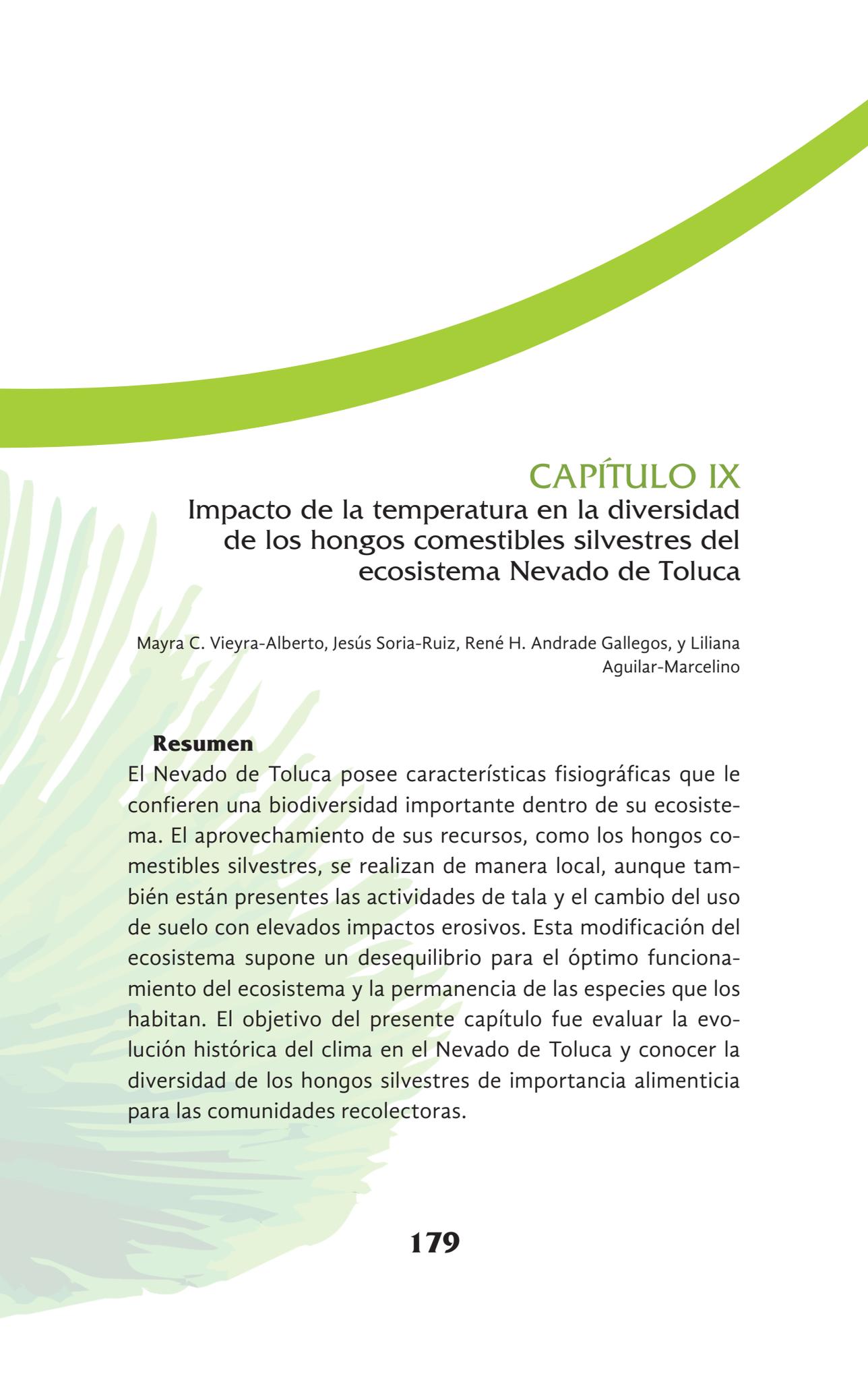
Mayra C. Vieyra-Alberto¹, Jesús Soria-Ruiz¹, René H. Andrade Gallegos², y Liliana Aguilar-Marcelino^{3*}

¹Sitio Experimental Metepec – Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km. 4.5 Carr. Toluca-Zitácuaro. Zinacantepec 52107, Estado de México. (aguilar.liliana@inifap.gob.mx)

²El Colegio de la Frontera Sur, Apdo. Postal 36, C.P. 30700 Tapachula, Chiapas, Mexico.

³CENID-SAI, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Carretera Federal Cuernavaca-Cuatla No. 8534, Col. Progreso, C.P. 62550; Jiutepec, Morelos.





CAPÍTULO IX

Impacto de la temperatura en la diversidad de los hongos comestibles silvestres del ecosistema Nevado de Toluca

Mayra C. Vieyra-Alberto, Jesús Soria-Ruiz, René H. Andrade Gallegos, y Liliana Aguilar-Marcelino

Resumen

El Nevado de Toluca posee características fisiográficas que le confieren una biodiversidad importante dentro de su ecosistema. El aprovechamiento de sus recursos, como los hongos comestibles silvestres, se realizan de manera local, aunque también están presentes las actividades de tala y el cambio del uso de suelo con elevados impactos erosivos. Esta modificación del ecosistema supone un desequilibrio para el óptimo funcionamiento del ecosistema y la permanencia de las especies que los habitan. El objetivo del presente capítulo fue evaluar la evolución histórica del clima en el Nevado de Toluca y conocer la diversidad de los hongos silvestres de importancia alimenticia para las comunidades recolectoras.

Introducción

El clima es un componente indispensable que participa en la conformación de la estructura de los paisajes, ecosistemas, diversidad y distribución de las especies en la superficie terrestre de nuestro planeta en un determinado espacio geográfico, mismo que debe mantener un equilibrio entre todos los factores que lo componen (Olcina, 2020).

El cambio climático es un proceso que ocurre de forma natural, sin embargo, cuando estas modificaciones del clima ocurren por alteraciones producidas por las actividades humanas, es un proceso que se acelera, reduciendo el tiempo de ocurrencia con efectos notorios y de mayor incidencia sobre la superficie terrestre (Camilloni, 2008). Entre los componentes, propiciados por efecto antropogénico que intervienen en el cambio climático, se encuentran las altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) con alta permeabilidad de la radiación solar hacia la tierra, pero impermeables hacia el espacio, lo que ocasiona el aumento de la temperatura (Caballero *et al.*, 2007).

Las fuentes emisoras de los GEI son variadas, como la combustión de hidrocarburos fósiles, actividades agrícolas y pecuarias, la utilización de agroquímicos, el cambio de uso de suelo la fragmentación y la reducción de espacios forestales y la deforestación (Caballero *et al.*, 2007). Las consecuencias impactan directamente en los ecosistemas e indirectamente sobre su funcionamiento y la diversidad presente en cada uno de ellos, especialmente sobre aquellos organismos altamente dependientes de las condiciones climáticas para sobrevivir, como los hongos silvestres (Alvarado *et al.*, 2015).

Los hongos son un grupo muy diverso de organismos que se distinguen por sus formas, colores y tamaños. Poseen estructuras definidas como sombrero y tallo, que se forman y diferencian

a partir de estructuras denominadas *hifas*. La reproducción es sexual y asexual por medio de esporas que se producen en la estructura reproductora del hongo. Son heterótrofos, pues dependen de materia orgánica en descomposición o de otros organismos para su supervivencia (Boa, 2005; Ceballos *et al.*, 2009).

De acuerdo con su hábito de crecimiento, se clasifican en saprobios, simbióticos y parásitos, en orden de mención, son aquellos que crecen sobre materia orgánica muerta, aquellos que establecen asociaciones benéficas y los que crecen parasitando o dañando a otros organismos (Abud *et al.*, 2008). Una de las asociaciones simbióticas más amplias a nivel mundial son las micorrizas con alrededor del 95% de las plantas existentes en la tierra. Esta interacción permite el intercambio y absorción de nutrientes, la protección contra patógenos y una mayor tolerancia de las plantas a factores de estrés (Boa, 2005; Ángeles Argáiz *et al.*, 2019). Autores como Pérez-Moreno *et al.* (2021), retoman la importancia de los hongos micorrízicos comestibles en el aspecto ecológico y señalan que es un recurso genético sumamente importante que debe tomar mayor relevancia en las estrategias de desarrollo sostenible a nivel mundial para el mantenimiento de los ecosistemas.

En México, la importancia del estudio de los hongos radica en que es un país con alta diversidad de especies silvestres, ya que se ubica entre los primeros lugares a nivel mundial en el aprovechamiento de hongos para consumo y venta. En segunda instancia, está el hecho de que existe, desde tiempos prehispánicos, un conocimiento tradicional fuertemente arraigado entre los diferentes grupos étnicos que cohabitan con este recurso en las zonas montañosas de climas templados-húmedos y subhúmedos que propician el aprovechamiento, el cuidado y la conservación de los hongos y de los espacios forestales (Burrola *et al.*, 2012; Ruan-Soto, 2018). Tomando como fundamento lo anterior, el objetivo de este capítulo es evaluar los cambios del



comportamiento de la temperatura ocurridos a través del tiempo y su repercusión sobre el ecosistema del Nevado de Toluca.

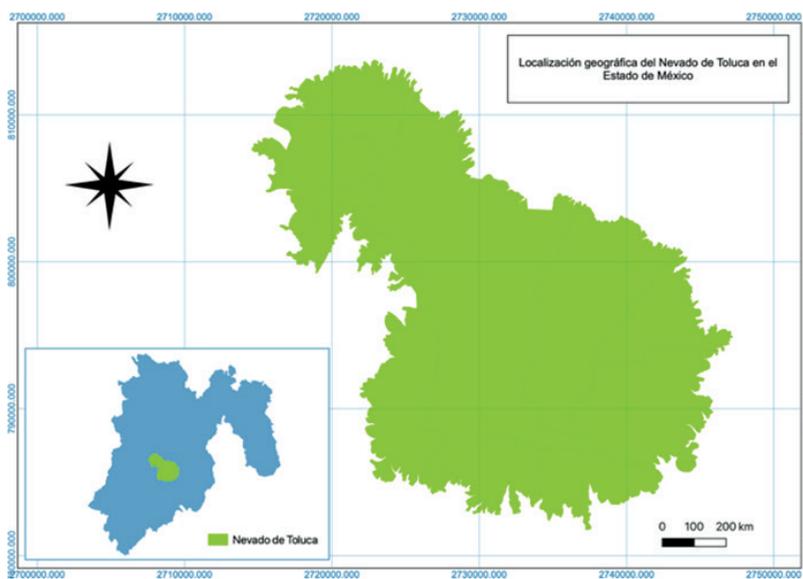
MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio

El Nevado de Toluca ($18^{\circ}52'$ y $19^{\circ}23'$ latitud Norte y $99^{\circ}33'$ y $99^{\circ}52'$ longitud Oeste) es la cuarta montaña más alta de México con una elevación de 4,680 msnm. Se localiza en la parte centro-sur del Estado de México y ocupa una superficie de 53,590.67 hectáreas (Figura 1). Los tipos climáticos según García (1973) son clima frío E(T)H con temperatura media anual de -2°C a -5°C y de 0°C , el clima semifrío subhúmedo C(E)(w2)(w)b(i)g con temperatura de -2°C a 7°C y el clima templado subhúmedo C(w2)(w)b(i)g, como se puede ver en la figura 2 (CONANP, 2016).

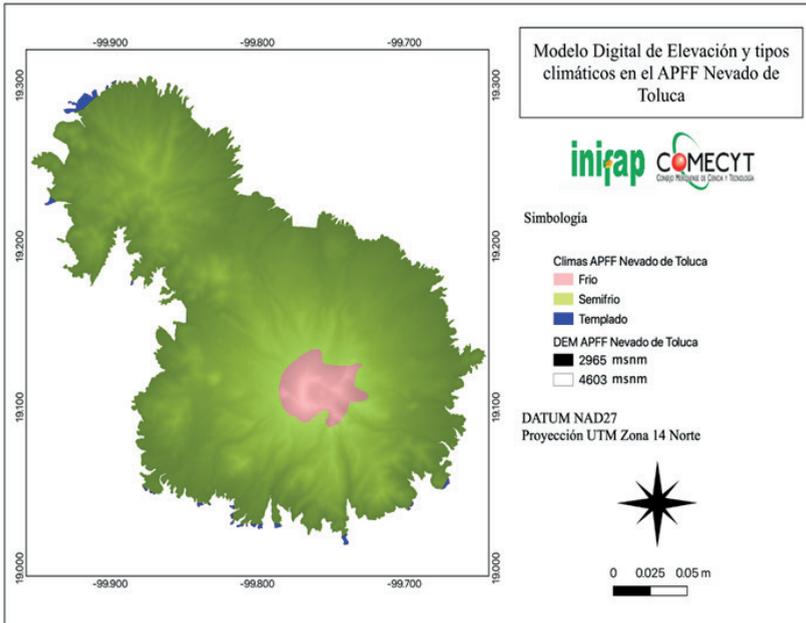
Figura 1

Ubicación geográfica del Nevado de Toluca como área de estudio.



Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Figura 2
Distribución de los tipos climáticos del Nevado de Toluca.



Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Análisis de la temperatura en el área de influencia Nevado de Toluca

a) Capas de información

La información climática se obtuvo en la serie histórica de 1981-2010 y 2018-2021, gestionadas a través del portal de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020) de tres estaciones climáticas ubicadas en el área de influencia del Nevado de Toluca. La información utilizada comprende los registros de temperatura y precipitación. Con los datos obtenidos, fueron generados los mapas de temperatura, a partir del método de interpolación de *Kriging* (Maglione *et al.*, 2019) con el software *Qgis*® versión 3.14; así como la elaboración de climogramas para observar la tendencia de esta variable en las últimas cuatro décadas en el Nevado de Toluca.



b) Análisis del comportamiento histórico de la temperatura

Para el periodo 1981-2010, los datos analizados corresponden a las estaciones climatológicas Nevado de Toluca, localidad San José del Contadero y Loma Alta.

Para el periodo 2018-2021, los datos utilizados corresponden a las estaciones Nevado de Toluca, San Juan de las Huertas y Texcaltitlán. Se obtuvieron los valores máximos, medios y mínimos de la temperatura mensual de los periodos indicados. Además, se realizaron comparaciones entre los datos de las tres estaciones climatológicas para observar si hubo modificaciones en el clima con información actual respecto de la serie histórica 1981-2010.

Distribución espacial de los hongos comestibles silvestres (HCS)

Esta información se obtuvo mediante recorridos de campo entre junio y agosto del 2021 con habitantes de la zona; conocedores de HCS en los espacios forestales de la localidad “Loma Alta”, municipio de Zinacantepec.

Se registraron los nombres comunes de las especies comestibles colectadas, se tomaron fotografías como evidencia de campo y se georreferenciaron los sitios de cada especie colectada con equipos GPS. Los ejemplares recolectados se sometieron a procesos de deshidratación para su preservación. Para la identificación de las especies, se utilizaron a personas de la zona como guías de campo, conocedores de las especies de hongos silvestres que se producen en el Nevado de Toluca (Franco-Maass y Burrola, 2010; Maass *et al.*, 2012) y se complementó el trabajo con literatura especializada (Laessoe, 2005; Farfán, 2011).

Resultados

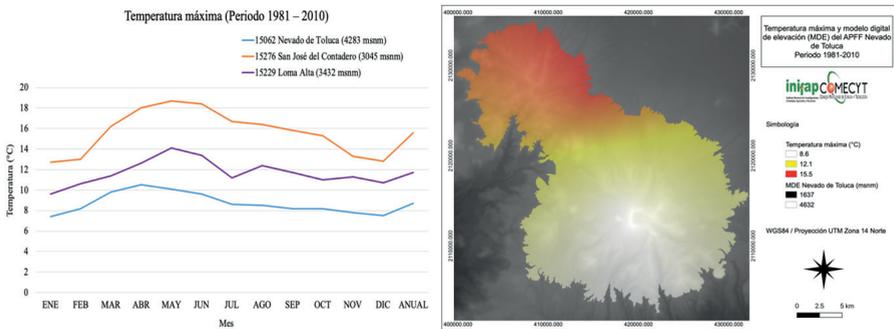
a) Evolución de la temperatura en el Nevado de Toluca del periodo 1981-2010

Temperatura máxima

De los datos de clima analizados de la serie 1981-2010; las temperaturas menos frías con respecto a la temperatura máxima (Figura 3) se registran en los extremos del polígono del Nevado de Toluca registrados por la estación climática San José del Contadero con una altitud de 3045 msnm. Los meses más cálidos para las tres estaciones son de marzo a junio.

Figura 3

Temperatura máxima mensual en el Nevado de Toluca. Promedio del periodo 1981-2010.



Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Temperatura media

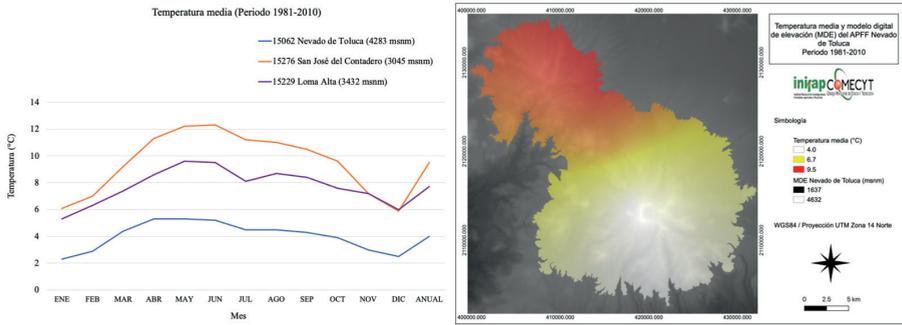
Los valores de temperatura media mensual (Figura 4) de las estaciones climatológicas analizadas, varían en función de la altitud. En las estaciones de San José del Contadero y Loma Alta con altitudes de 3,045 y 3,432 msnm respectivamente, se registran temperaturas medias con valores más bajos que los registrados para el Nevado de Toluca, esto, debido a que las zonas montañosas por su condición topográfica, geoforma, gradiente altitudinal



y exposición poseen características climáticas variadas, ya que a mayor altitud, la temperatura del aire disminuye (Dobler, 2010).

Figura 4

Temperatura media mensual en el Nevado de Toluca. Promedio del periodo 1981-2010.



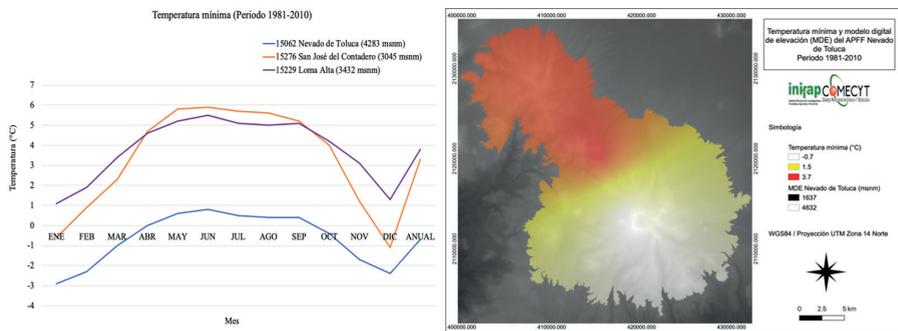
Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Temperatura mínima

Las temperaturas mínimas más bajas de la serie 1981-2010 (Figura 5) corresponden a las registradas por la estación climatológica Nevado de Toluca que se encuentra a una altitud de 3,432 msnm. Los meses de diciembre y enero son los más fríos para las tres estaciones climáticas.

Figura 5

Temperatura mínima mensual en el Nevado de Toluca. Promedio del periodo 1981-2010.

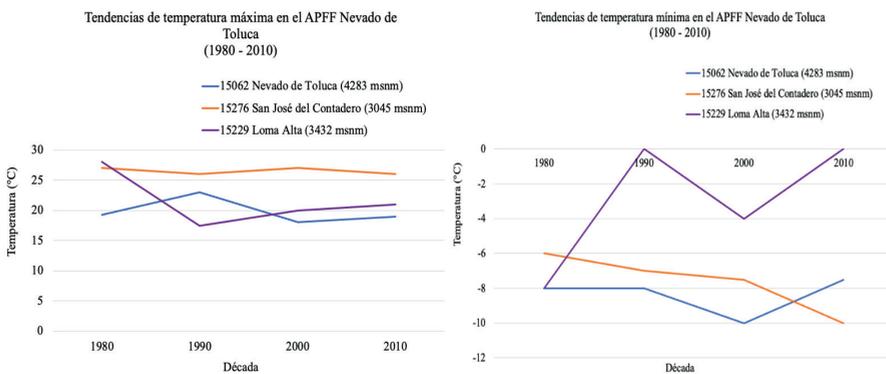


Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

La tendencia de la temperatura mínima y máxima en cada diez años, indica que los valores de temperatura mínima son menos extremos y fríos, es decir; que conforme pasa el tiempo hace menos frío y la temperatura cálida tiende a aumentar a través del tiempo (Figura 6). La temperatura se comporta en función de la altitud, y la distribución espacial de las especies vegetales es dependiente de la temperatura. Pérez *et al.* (2013), señalan que con el aumento de la temperatura habrá un desplazamiento de bosques a mayores altitudes y una disminución en los espacios de distribución actuales.

Figura 6

Comportamiento de la temperatura máxima y mínima (°C) de tres estaciones climatológicas.



Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Evolución de la temperatura en el Nevado de Toluca del periodo 2018-2021

Para este periodo, se obtuvieron datos diarios de tres estaciones climáticas: Nevado de Toluca, San Juan de las Huertas y Texcaltitlán (Figura 7).

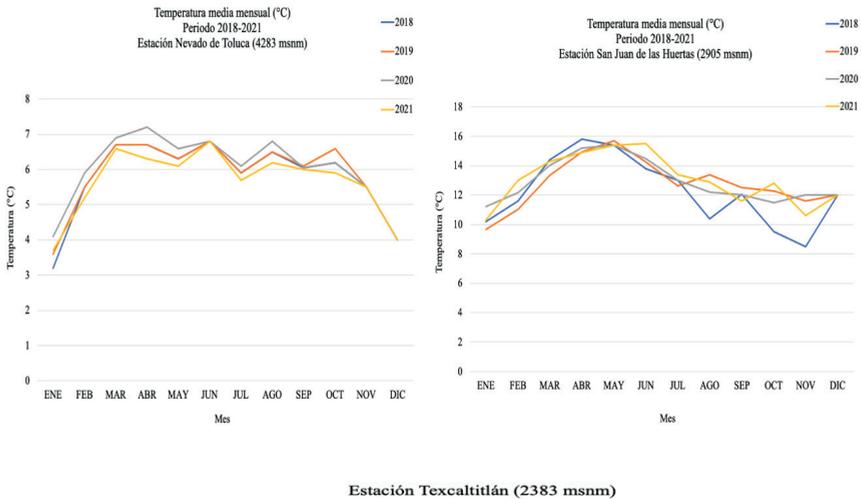


Temperatura media mensual

En las gráficas de la Figura 7 se observa que el año más cálido para dos estaciones climatológicas fue el 2020. Por su parte, el año que más variaciones climáticas presentó, fue el 2018. Los datos registrados reportan que este año presentó las temperaturas más elevadas para los meses cálidos y más bajas para los meses fríos.

Figura 7

Temperatura media mensual de tres estaciones meteorológicas del periodo 2018-2021.



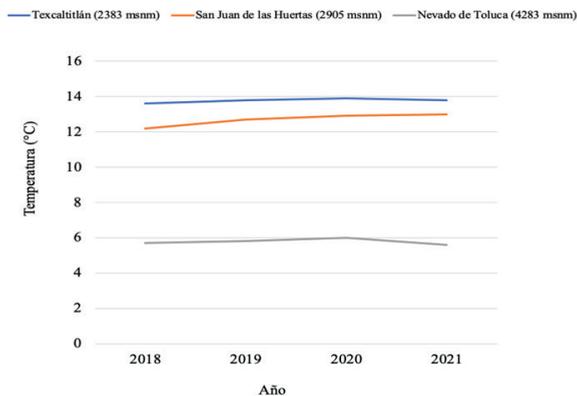
Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Temperatura media anual

En la Figura 8 se observa la tendencia de la temperatura en los últimos cuatro años desde 2018. Los registros muestran un incremento de temperatura anual, la cual coincide con lo reportado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2021) sobre los últimos años con registros de mayor temperatura en la historia.

Figura 8

Tendencia de la temperatura media anual periodo 2018-2021 en tres estaciones climatológicas del Nevado de Toluca.



Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Impactos del clima sobre la diversidad y abundancia de los HCS

La situación actual del cambio climático es un tema de preocupación mundial, ya que aspectos como el aumento poblacional, la extensión de zonas urbanas, la reducción de áreas forestales, el incremento de las actividades industriales, las altas emisiones de GEI y una mayor demanda de los recursos naturales aceleran el proceso de deterioro ambiental de los recursos y compromete la seguridad alimentaria de las comunidades y de la población en general (Ruan Soto, 2018; Tauseef *et al.*, 2021).



México posee uno de los primeros lugares de bosques nativos a nivel mundial (Pérez Moreno *et al.* 2020), sin embargo, las prácticas de deforestación son alarmantes y las razones de ello van desde el aprovechamiento de la madera hasta la implementación de actividades de producción agrícola y de pastoreo, la extracción desmedida y no monitoreada de recursos forestales y la extensión de las zonas urbanas. Toledo *et al.* (2014), señalan que el desarrollo de los hongos comestibles silvestres y su fructificación está fuertemente condicionada por la presencia de especies arbóreas y su cobertura, así como por la composición de la vegetación, la presencia de materia orgánica y otros factores como la temperatura y la humedad del suelo donde crecen.

La recategorización del Nevado de Toluca como Área de Protección de Flora y Fauna a partir del 2013 permitió a la población local implementar y desarrollar actividades productivas de gestión comunitaria con el objetivo de mantener los recursos mediante el aprovechamiento forestal, sin embargo, los impactos generados a partir de esta recategorización son cada vez más evidentes en el ecosistema y alejados de los objetivos iniciales planteados en el plan de manejo.

Para fundamentar lo anterior Franco *et al.* (2006), realizaron un estudio comparativo de los procesos de cambio de cobertura forestal en el Nevado de Toluca entre los años 1972 y 2000 mediante el uso de imágenes satelitales y los resultados obtenidos fueron una tasa de cambio del 8.4 por ciento para ese periodo, con más de 2, 000 ha transformadas y una pérdida de superficie forestal anual de 156 ha, donde los principales factores que propician esta transformación son el cambio de uso de suelo y el aprovechamiento desmedido de los recursos forestales.

Por su parte, Agramont y Tapia (2016), señalan que la extracción intensiva de madera para su comercialización es un factor que impacta directamente en el ecosistema del Nevado

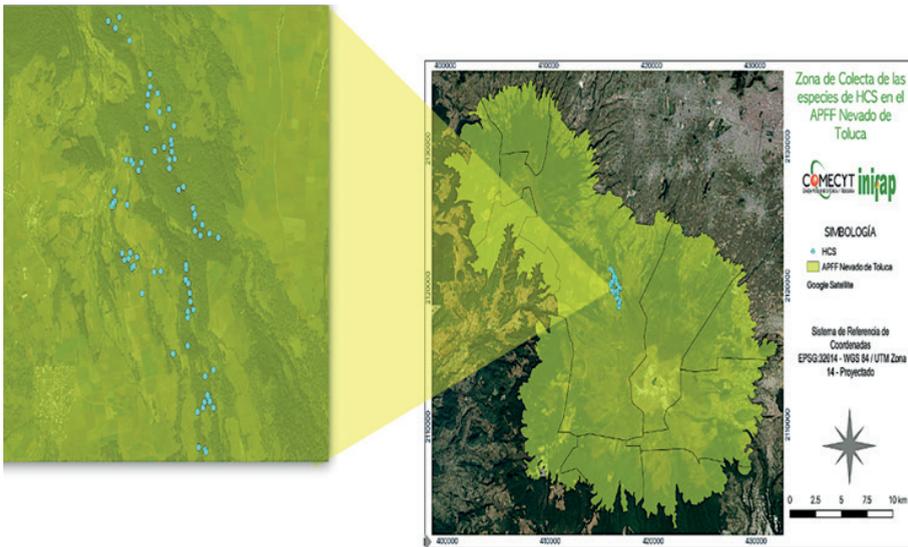
de Toluca, pues se talan los árboles con las mejores características fenotípicas y se deja la población menos apta que, a su vez, funge como el soporte semillero para las futuras masas forestales. Además, señalan una pérdida que sobrepasa el 40 por ciento de los bosques de pino densos en el Nevado de Toluca.

Diversidad y distribución espacial de los hongos comestibles silvestres del Nevado de Toluca

En la Figura 9 se muestra el mapa de la zona donde se realizaron los recorridos para el registro de los HCS. En la Tabla 1 se enlistan las especies de HCS previamente identificadas para el Nevado de Toluca en trabajos anteriores como los de Franco-Maass y Burrola (2010) y Maass *et al.* (2012).

Figura 9

Zona de colecta de los HCS en el Nevado de Toluca en la localidad de Loma Alta, municipio de Zinacantepec.



Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.



Tabla 1

Listado de especies de hongos comestibles silvestres del Nevado de Toluca

Nombre científico	Nombre común	Hábitat	Mes de recolección (2022)
<i>Agaricus campestris</i>	Juanito	Crece en espacios abiertos con pastos pequeños	Mayo a junio
<i>Amanita rubescens</i>	Manteco	Bosque de pino (<i>Pinus hartwegii</i>) y espacios abiertos donde hay pastizal (<i>Vulpia myuros</i> , <i>Nassella mucronata</i> , <i>Muhlenbergia</i> sp.) (Martínez-Hernández et al., 2018).	Julio a agosto
<i>Bovista graveolens</i>	Bombones	Disperso en grupos en espacios abiertos y pastos pequeños	Junio a agosto
<i>Boletus edulis</i>	Panza, pambazo	Bosque de pino (<i>Pinus hartwegii</i>), oyamel (<i>Abies religiosa</i>) y pastizal (<i>V. myuros</i> , <i>N. mucronata</i> , <i>Muhlenbergia</i> sp.). Se encuentra entre el ocoxal y próximo al tronco de los árboles	Julio a agosto
<i>Clytocybe gibba</i>	Tejamanil	Crece en grupos donde hay musgo (<i>Bryoerythrophyllum jamesonii</i>) y del género <i>Polytrychum</i> .	Julio a agosto
<i>Flammulina mexicana</i>	Hongo de jara	Crece en racimos en la base del tronco de jara (<i>Senecio cinerarioides</i>).	Junio
<i>Gyromitra infula</i>	Pantalon	Asociado a árboles de pino (<i>Pinus hartwegii</i>), escobetilla y musgo (<i>B. jamesonii</i>) y del género <i>Polytrychum</i> .	Agosto
<i>Helvella lacunosa</i>	Gachupín	Crece disperso camuflado con la sombra de la vegetación de oyamel (<i>A. religiosa</i>) y musgo (<i>B. jamesonii</i>) y del género <i>Polytrychum</i> .	Agosto
<i>Laccaria laccata</i>	Xocoyol	Crece en espacios donde predomina el pastizal (<i>V. myuros</i> , <i>N. mucronata</i> , <i>Muhlenbergia</i> sp.) y pastos pequeños y bajo la copa de pino (<i>Pinus hartwegii</i>)	Junio a julio
<i>Lactarius salmonicolor</i>	Enchilado	Crece en grupos en espacios con humedad elevada y musgo (<i>B. jamesonii</i>) y del género <i>Polytrychum</i> .	Julio a agosto
<i>Lactarius deliciosus</i>	Enchilado de llano	Crece en grupos donde hay pastos pequeños y espacios abiertos.	Julio
<i>Lycoperdon perlatum</i>	Ternerita	Disperso en grupo sobre espacios abiertos y pastos pequeños	Julio
<i>Ramaria</i> sp.	Pata de pájaro	Asociado a árboles de pino (<i>Pinus hartwegii</i>), encino (<i>Quercus laurina</i>) y pastizal (<i>V. myuros</i> , <i>N. mucronata</i> , <i>Muhlenbergia</i> sp.)	Agosto

Nombre científico	Nombre común	Hábitat	Mes de recolección (2022)
<i>Russula brevipes</i>	Hongo oreja	En bosques de pino (<i>Pinus hartwegii</i>) y oyamel (<i>A. religiosa</i>), entre la vegetación del sotobosque con alta humedad. Crece enterrado	Agosto
<i>Suillus</i> sp.	Panza de coyote	Crece en espacios donde predomina el pastizal (<i>V. myuros</i> , <i>N. mucronata</i> , <i>Muhlenbergia</i> sp.)	Junio a agosto
<i>Turbinellus floccosus</i>	Trompeta	Crece generalmente en grupo sobre musgo y en la sombra de la vegetación, asociado a árboles de pino (<i>Pinus hartwegii</i>) y oyamel (<i>A. religiosa</i>).	Agosto
<i>Tricholoma</i> sp.	Hongo de oyamel	Asociado a árboles de oyamel (<i>A. religiosa</i>)	Junio a julio

		
<i>Agaricus campestris</i>	<i>Amanita rubescens</i>	<i>Bovista graveolens</i>
		
<i>Boletus</i> sp.	<i>Clytocibe gibba</i>	<i>Flammulina mexicana</i>





Gyromitra infula



Helvella lacunosa



Laccaria laccata



Lactarius salmonicolor



Lactarius deliciosus



Lycoperdon perlatum



Rammaria sp.



Russula brevipes



Suillus sp.

		
<i>Turbinellus floccosus</i>	<i>Tricholoma sp.</i>	

Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Comercialización de los hongos comestibles silvestres en mercados locales

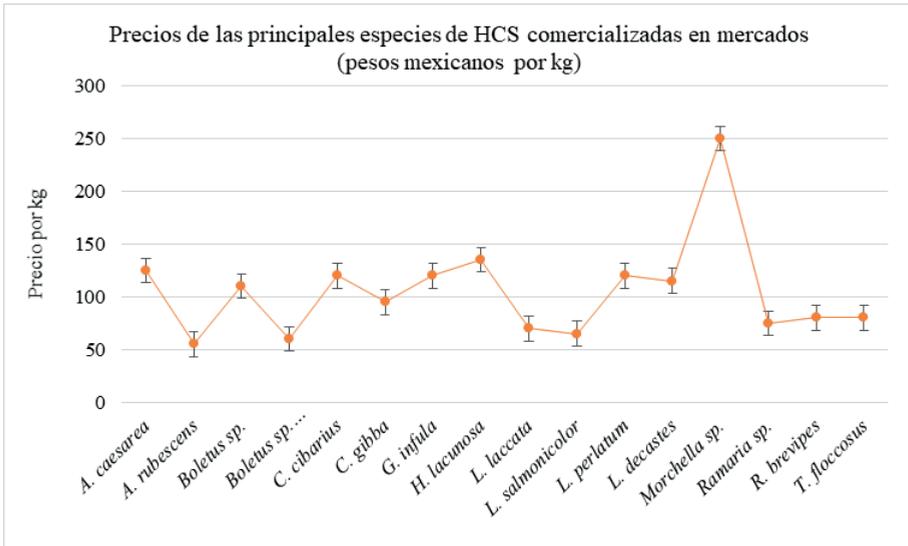
La comercialización de los HCS es una actividad temporal que complementa, en primera instancia, la canasta alimentaria de las familias rurales y, en segundo término pero no menos importante, la economía familiar de la población recolectora.

El proceso de comercialización se da con el traslado de las personas a los mercados más próximos a su lugar de origen para la venta de hongos. Los precios, van desde \$40. 00 M/N hasta \$250. 00 M/N por kilogramo (Figura 10), son variados y están en función de la abundancia de cada especie de hongo comestible silvestre, así como del mes en que se puede encontrar. Hay casos en que los precios se mantienen por la demanda de los consumidores, aunque haya abundancia de la especie como *Lyophyllum decastes*, *Boletus edulis*, *Amanita caesarea*, *Helvella sp.* y *Morchella sp.*



Figura 10

Precio, en pesos mexicanos, por kilogramo de hongos comercializados en los mercados locales.



Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Los precios varían según la disponibilidad de los HCS en los mercados, los meses en que se comercializan, la preferencia de especies por los consumidores y los volúmenes de hongos recolectados para venderlos, ya que los hongos silvestres tienen diferentes tiempos de proliferación en la temporada de lluvias, según los requerimientos ecológicos particulares de cada especie (Toledo *et al.*, 2014).

La venta de HCS provenientes del Nevado de Toluca se refleja en los mercados del municipio de Zinacantepec y la Ciudad de Toluca, donde los comerciantes son recolectores o sus familiares, que recorren los espacios forestales del Nevado de Toluca para recoger hongos, aunque también se maneja la venta de hongos mediante intermediarios y revendedores. En total se visitaron tres mercados y dos tianguis. El mercado municipal de Zinacantepec es el sitio de venta con mayor abundancia y

diversidad de hongos comercializados. Las especies registradas en los mercados locales durante la temporada de hongos se muestran en el Tabla 2.

Tabla 2

Registro de HCS comercializados en los mercados locales de los municipios que conforman el Nevado de Toluca.

Nombre científico	Nombre común	Temporada
<i>Amanita caesarea</i>	Tecomate	Junio, julio y agosto
<i>Amanita rubescens</i>	Manteco	Junio y julio
<i>Boletus</i> sp.	Panza, pambazo	Junio, julio y agosto
<i>Boletus</i> sp.	Galambo	Junio
<i>Cantharellus cibarius</i>	Calabacita	Junio
<i>Clitocybe gibba</i>	Tejamanil	Junio, julio y agosto
<i>Gyromitra infula</i>	Pantalon	Agosto
<i>Helvella lacunosa</i>	Gachupín	Julio y agosto
<i>Laccaria laccata</i>	Xocoyol	Junio
<i>Lactarius salmonicolor</i>	Enchilado	Julio y agosto
<i>Lycoperdon perlatum</i>	Ternerita	Agosto
<i>Lyophyllum decastes</i>	Clavito	Junio, julio y agosto
<i>Morchella</i> sp.	Mazorquita	Agosto
<i>Ramaria</i> sp.	Pata de pájaro	Julio y agosto
<i>Russula brevipes</i>	Oreja	Julio y agosto
<i>Turbinellus floccosus</i>	Trompeta	Agosto

Fuente: Elaboración Dr. Jesús Soria Ruiz.

Conclusiones

En el Nevado de Toluca, los impactos negativos ocasionados con las alteraciones de la temperatura, que va en aumento, además de los procesos de transformación de los espacios naturales para producción agrícola y pecuaria, se reflejan en una disminución de las áreas con biomasa forestal y una disminución en la proliferación de hongos comestibles silvestres, ya que éstos son un recurso que, en su mayoría, requieren de una asociación simbiótica con diferentes especies de árboles para su crecimiento.



Es importante desarrollar e implementar estrategias de aprovechamiento forestal sostenible como medida para la conservación de las áreas verdes y sus recursos, además de promover el uso de los recursos forestales como los hongos comestibles silvestres para la conservación de los saberes locales y la revalorización de éstos, ya que, además de representar un ingreso económico y un complemento en la alimentación de las comunidades recolectoras, también es una forma indirecta de proteger los ecosistemas.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó a través de la convocatoria “Estancias de Investigación Especializada” mediante el proyecto inicial de investigación “Medidas de mitigación al cambio climático para la preservación de los hongos comestibles silvestres en el Estado de México.” Financiado por el Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) y desarrollado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Estado de México. Número de proyecto otorgado por el COMECyT EESP2021-0043.

Referencias bibliográficas

- Abud, Y. C., Dorantes, N. G. y Trujillo, M. M. (2008). Las micorrizas arbusculares en la protección vegetal. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico-Agropecuarias*, 10(1), 60-70.
- Agramont, A. R. E. y Tapia, F. H. (2016). Deterioro y conservación de los bosques del Nevado de Toluca y el rol de los actores locales. *CIENCIA ergo-sum*, 23(3), 247-254.
- Alvarado, G., Mata, G. y Benítez Badillo, G. (2015). Importancia de la domesticación en la conservación de los hongos silvestres comestibles en México. *Bosque (Valdivia)*, 36(2), 151-161.

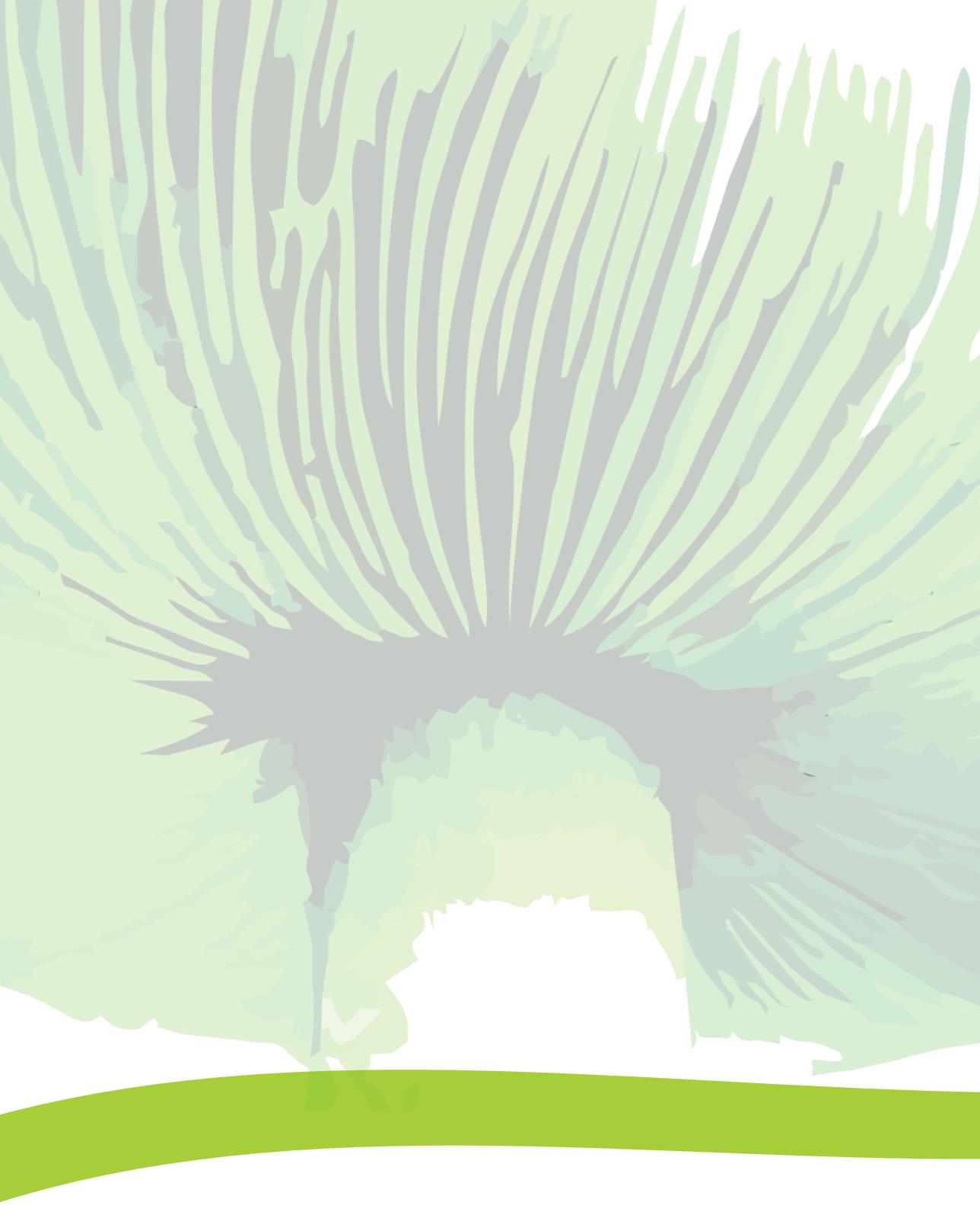
- Ángeles Argáiz, R. y Garibay Orijel, R. (2019). La evolución de la simbiosis ectomicorrízica desde la perspectiva genómica. *Scientia fungorum*, 49.
- Burrola, C., Montiel, O., Garibay Orijel, R. y Zizumbo Villarreal, L. (2012). Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, Estado de México. *Revista mexicana de micología*, 35, 01-16.
- Boa, E. (2005). *Los hongos silvestres: Perspectiva global de su uso e importancia para la población. Serie Productos forestales no madereros No. 17*. Roma. Italia: FAO.
- Caballero, M., Lozano, S. y Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista digital universitaria*, 8(10), 1-12.
- Camilloni, I. (2008). Cambio Climático. *Ciencia Hoy*, 18 (103), pp. 43-49.
- Ceballos, G., List, R., Garduño, G., López Cano, R., Muñozcano Quintanar, M. J., Collado, E., y San Román, J. E. (2009). *La diversidad biológica del Estado de México*. Estudio de Estado. 125-130.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2016). *Programa de Manejo del Nevado de Toluca. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
- Dobler, C., Stötter, J. & Schöberl, F. (2010). Assessment of climate change impacts on the hydrology of the Lech Valley in northern Alps. *Journal of Water and Climate Change*, 1(3), 207-218.
- Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC). (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40*. Gobierno de la República. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/documentos/estrategia-nacional-de-cambio-climatico-vision-10-20-40> Fallas, 2007
- Franco M. S., Regil García, H. H. y Ordóñez Díaz, J. A. B. (2006). Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera bosques*, 17-28.



- Farfán, B. (2011). *Guía didáctica para la identificación de los hongos silvestres del oriente de Michoacán*. Morelia: Morevallado Editores.
- Franco-Maass, S. y Burrola, C. (2010). *Los hongos comestibles del Nevado de Toluca*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- García, M. E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)* (No. QC 981. G37 1973).
- Laessle, T. (2005). *Hongos. Manual de identificación*. Barcelona: Ediciones Omega S. A.
- Maass S. F., Burrola Aguilar, C. y Arana, G. Y. (2012). *Hongos silvestres comestibles: un recurso forestal no maderable del Nevado de Toluca*. México, Ediciones Eón.
- Olcina, J. (2020). Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 66 (1), 159-182.
- Organización Meteorológica Mundial (WMO). (octubre de 2021). *Estado del clima en 2021: Los fenómenos extremos y sus principales repercusiones*. Recuperado de: <http://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/estado-del-clima-en-2021-los-fenomenos-extremos-y-sus-principales>
- Pérez, R. M., F. Moreno S., A. González H. y V. Arreola P. (2013) Escenarios de distribución potencial de *Pinus patula* Schtdl. et Cham. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. con modelos de Cambio Climático en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(15), 73-86.
- Pérez-Moreno, J., Guerin Laguette, A., Flores Arzú, R., & Yu, F. Q. (Eds.). (2020). *Mushrooms, Humans and Nature in a Changing World*. doi:10.1007/978-3-030-37378-8
- Pérez-Moreno, J., Guerin Laguette, A., Rinaldi, A. C., Yu, F., Verbeken, A., Hernández-Santiago, F., & Martínez-Reyes, M. (2021). Edible mycorrhizal fungi of the world: What is their role in forest sustainability, food security, biocultural conservation and climate change? *Plants, People, Planet*, 3(5). 471-490

- Ruan-Soto, F. (2018). Recolección de hongos comestibles silvestres y estrategias para el reconocimiento de especies tóxicas entre los tsotsiles de Chamula, Chiapas, México. *Scientia fungorum*, 48, 1-13.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2020). Series históricas del clima. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Tauseef Hassan, S., Xia, E., y Lee, C. C. (2021). Mitigation pathways impact of climate change and improving sustainable development: The roles of natural resources, income, and CO2 emission. *Energy & Environment*, 32(2), 338-363.
- Toledo, C. V., Barroetaveña, C. y Rajchenberg, M. (2014). Fenología y variables ambientales asociadas a la fructificación de hongos silvestres comestibles de los bosques andino-patagónicos en Argentina. *Revista mexicana de biodiversidad*. 85(4), 1093-1103.





CAPÍTULO X

Diversidad de hongos lignícolas en ambientes perturbados: Implicaciones agropecuarias

Aymer Adrián Hernández Hernández¹, Abisag Antonieta
Ávalos Lázaro^{1*}, Victorio Moreno Jiménez¹, Santa Dolores
Carreño Ruiz¹ y Candelario Rodríguez Pérez²

¹ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios.
Carretera Catazajá-Palenque Km. 4 Chiapas. C.P. 29980. Cel: 916 1000 736
(abisag.avalos@unach.mx).

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica Multidisciplinaria
de Jalpa de Méndez, Carretera Estatal Libre Villahermosa-Comalcalco Km.
27+000 s/n Ranchería Ribera Alta, C.P. 86205. Tel: (01 993) 358 15 00 Ext.
5201, 5203. Jalpa de Méndez, Tabasco, México.



CAPÍTULO X

Diversidad de hongos lignícolas en ambientes perturbados: Implicaciones agropecuarias

Aymer Adrián Hernández Hernández, Abisag Antonieta Ávalos Lázaro, Victorio Moreno Jiménez, Santa Dolores Carreño Ruiz y Candelario Rodríguez Pérez

Resumen

En las zonas tropicales, los hongos más abundantes y diversos son aquellos que tienen la capacidad de degradar sustratos con alto contenido de lignina y de ser altamente tolerantes a condiciones ambientales asociadas a la perturbación. Su capacidad metabólica y su habilidad para degradar compuestos complejos aseguran su distribución en presencia de sus hospederos. Y son estos mismos metabolitos los que les confieren una amplia variedad de aplicaciones en diversas áreas de la producción agropecuaria.

En este contexto, los hongos lignocelulolíticos se han utilizado como: biorremediadores de suelo y agua, así como para mejorar la digestibilidad de los forrajes y la producción de dietas alternativas para bovinos, ovinos, caprinos y aves de corral. Además, pueden emplearse en la producción de biocombustibles y

energías limpias a partir de residuos lignocelulósicos agrícolas o agroindustriales, contribuyendo así a una mayor sostenibilidad energética. En este sentido, estos hongos se han estudiado por sus propiedades metabólicas para producir o mejorar los fertilizantes orgánicos o proponer fertilizantes vivos. Lo anterior representa una alternativa ecológica a los agroquímicos convencionales.

Es por ello, se hace evidente que el conocimiento de la diversidad de hongos lignícolas presentes en un área determinada visibiliza sus oportunidades de aplicación, lo que los coloca como organismos de importancia para migrar a sistemas de producción sustentable, tanto en las ciencias agropecuarias y energéticas, así como en las tecnologías de biorremediación de los ecosistemas.

Por lo anterior, este capítulo representa una fuente de divulgación para la diversidad de hongos lignícolas de Catazajá, Chiapas y sus usos potenciales en las ciencias agropecuarias, por lo que se espera sirva para incentivar el aprovechamiento del potencial biotecnológico de este recurso como estrategia para fortalecer y promover actividades agropecuarias sustentables en la región.

Introducción

Los hongos desempeñan un papel clave en los ecosistemas, contribuyendo principalmente con el reciclaje de nutrientes, que se realiza a través de la descomposición de residuos lignocelulósicos derivados de la madera y hojarasca, así como de las excretas de animales, otorgando un mantenimiento en la fertilidad del suelo (Savoie y Largeteau, 2011; Alvarado Castillo *et al.*, 2015).

La desintegración de las hojas, ramas y madera es una actividad en la que, junto con los hongos, participan organismos como ciempiés, cochinillas, escarabajos y bacterias, sin embargo, son

las enzimas de los hongos las que hacen posible la degradación de complejas moléculas de la madera y las ramas. Además, en áreas con alto contenido de materia orgánica, los micelios forman agregados de partículas que confieren al suelo aireación, estabilidad y una mayor resistencia a la erosión (Heredia Abarca, 2007).

Así mismo, los hongos forman parte de la cadena trófica y mantienen interacciones con la flora y fauna, contribuyendo a la estabilidad del sistema forestal (Alvarado Castillo *et al.*, 2015), puesto que en los cuerpos fructíferos de los macrohongos en formas de repisas, sombrillas y copas, habita una importante diversidad de nemátodos, lombrices, babosas y artrópodos (Heredia Abarca, 2007).

Dentro de los hongos lignocelulósicos también se encuentran especies micorrízicas (hongos mutualistas que viven asociados a las raíces de las plantas), las cuales mejoran la nutrición de los árboles, contribuyendo en la asimilación de los elementos poco móviles como nitrógeno, fósforo, cobre y zinc (Martínez Peña *et al.*, 2012). Del mismo modo, le otorgan mayor resistencia al estrés ambiental, nutricional y a factores externos, como el ataque de patógenos o insectos y pueden ser utilizados como bioinoculantes para micorrización artificial (Jiménez *et al.*, 2013). Además de lo antes señalado, estos hongos sirven de alimento a la fauna, la cual a su vez contribuye a su dispersión y a la regeneración vegetal en zonas perturbadas debido a que las excretas se consideran una óptima fuente de inóculo micorrizógeno (Castillo Guevara *et al.*, 2012). Todo lo anterior favorece al equilibrio de los ciclos biogeoquímicos, fomenta la productividad y contribuye a la resiliencia de los bosques (Alvarado Castillo *et al.*, 2015).

Por otra parte, las especies simbiotas y saprobias están íntimamente ligadas a los servicios ecosistémicos o servicios ambientales. Estos servicios han sido definidos como los be-



neficios que el ser humano obtiene de la naturaleza y que, al mismo tiempo, proveen un balance ecológico a ésta (Heredia Abarca, 2007).

Sin embargo, a pesar de su importancia, en Chiapas no existen trabajos enfocados en la descripción de la diversidad de hongos lignícolas. Su mención se ha realizado a través de estudios generales de macromicetos y de etnomicología, tales como los de López Guzmán *et al.* (2017); Ruan Soto (2018); Chanona Gómez *et al.* (2019); Bautista Gálvez *et al.* (2020) y Ruan Soto *et al.* (2021a), quienes describen la diversidad en general de los sitios muestreados, destacando los estudios realizados en la zona Tseltal- Chol, de Salto de agua y Palenque, por su cercanía con la zona de estudio. En este sentido, Chanona Gómez *et al.* (2019) reporta que entre los hongos macroscópicos tropicales, los más abundantes son los que crecen sobre madera en descomposición, debido a la abundancia de este sustrato en estos ambientes.

Por lo anterior, este trabajo pretende ser el primer compendio dedicado a la divulgación de especies lignícolas tropicales presentes en la zona Norte de Chiapas, concretamente en el municipio de Catazajá.

MATERIALES Y MÉTODOS

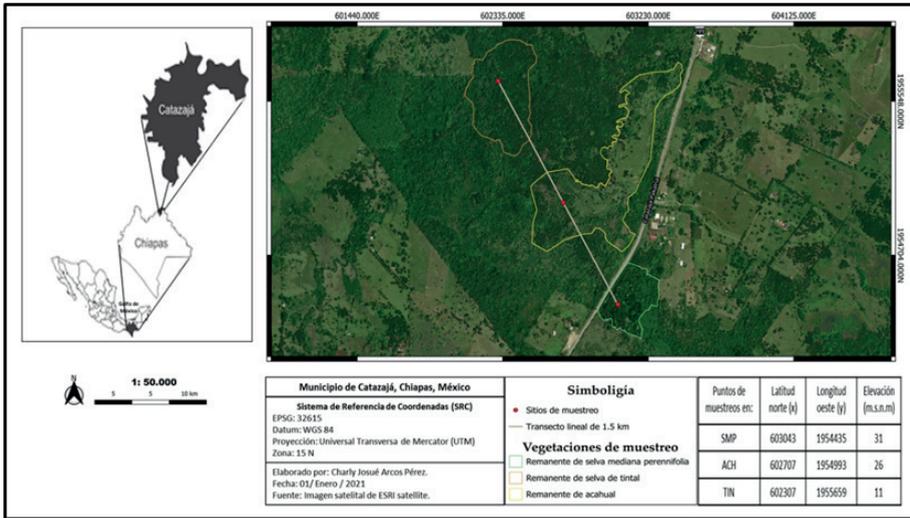
Área de estudio

Para el presente trabajo se seleccionaron tres parcelas de estudio que comprenden a tres tipos de vegetación con diversos niveles de perturbación. La primera corresponde a vegetación de acahual (ACH) y se ubicada entre latitud N 602307 y longitud W 1954993. La segunda se caracteriza por un remanente de selva mediana perennifolia (SMP) con coordenadas latitud N 603043 longitud W 195443 y por último un área con vegetación inundable de tintal (TIN) entre la latitud N 602307 y

longitud W 1955659. Estas se ubican a una distancia de 280 m, 280 m y 1,200 m respectivamente de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios (Figura 1).

Figura 1

Ubicación de las áreas de estudio, Fuente: Arcos Pérez, (2023).



Fuente: Arcos Pérez, 2023.

Dichas áreas se ubican en la región fisiográfica de la Planicie Costera del Golfo entre los 10-60 msnm (metros sobre el nivel del mar), al sur de la subprovincia sierra, en la Región económica VI Selva (INEGI, 2017), que pertenece al municipio de Catazajá. Éstas se ubican al norte del estado de Chiapas entre las coordenadas UTM 17.67833 latitud norte y -92.02618 longitud oeste (Figura 1).

El municipio se ubica dentro de las subcuencas R. Chacamax y R. Usumacinta que forman parte de la cuenca del río Grijalva–Villahermosa (CEIEG, 2007). La cobertura vegetal y el aprovechamiento del suelo se distribuye de la siguiente manera: pastizal cultivado (52.18%), pastizal inducido (4.13%), selva mediana



subperennifolia (secundaria) (1.76%), selva alta perennifolia (secundaria) (1.58%), agricultura de temporal (8.99%), sabana (0.22%), tular (16.46%), no aplicable (14.69%) (CEIEG, 2007).

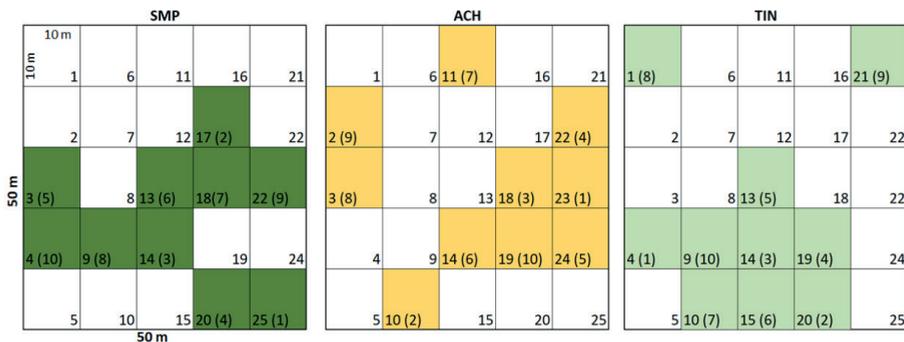
En la zona el clima es cálido húmedo con abundantes lluvias de verano Am (f). La precipitación media alcanza valores que oscilan entre los 1600 a los 2000 mm anuales. Por su parte la temperatura media va de los 22 a 26°C (INEGI, 2017). Por otra parte, la geología de la zona se compone de roca como: arenisca (roca sedimentaria) (45.9%), aluvial (16.86%), palustre, (26.96%) y lacustre (1.44%) (CEIEG, 2007). El relieve es plano con algunas áreas ocupadas por lagunas y pantanos.

Diseño experimental

Para la realización del muestreo se delimitó una parcela de 50 m x 50 m (2,500 m²) en cada unidad de muestreo y se subdividieron en 25 subparcelas de 10 m x 10 m. de las cuales se seleccionaron 10 subparcelas por el método de muestreo aleatorio simple, para un total de superficie de muestreo de 1000 m², para cumplir con lo propuesto por Lodge *et al.* (2004) como superficie mínima para la colecta de ejemplares fúngicos (Figura 2).

Figura 2

Selección de áreas de colecta mediante el método de muestreo aleatorio simple en tres remanentes de vegetación en Catuzajá, Chiapas.



Fuente: Elaboración propia.

Colecta y determinación de especímenes

Para la obtención de ejemplares, los sitios se visitaron durante los meses de julio a octubre de 2022. En cada parcela se realizaron tres visitas, es decir, una por mes, resultando un total de nueve visitas entre todos los sitios. En cada visita se muestrearon las 10 subparcelas seleccionadas.

En cuanto a la colecta de esporomas, se emplearon las técnicas convencionales de micología propuestas por Largent y Stunz (1986), que consisten en retirar con ayuda de una navaja los hongos del sustrato en el que se desarrollan. Antes de ser colectadas las fructificaciones, fueron fotografiadas con una cámara digital. Los especímenes colectados se depositaron en contenedores especiales de plástico con compartimentos de diversas capacidades. Al finalizar la colecta, los ejemplares se trasladaron a la Unidad Experimental de Plantas y Hongos de Importancia Agroindustrial de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios (FMEA) de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) para la descripción de sus características morfológicas, proceso de curación y posterior resguardo en la Colección de Hongos FMEA-UNACH.

La determinación de los hongos colectados se realizó a través de la revisión de sus caracteres macroscópicos y microscópicos. Posteriormente, fueron analizados con ayuda de claves taxonómicas, manuales, libros y literaturas especializadas tales como las de Deninson (1963 y 1967); Guzmán y Herrera (1969); Singer (1976); Chacón y Guzmán (1983); Sierra y Cifuentes (1993); Petersen (1999); Ratkowsky y Gates (2002) y Guzmán (1970, 1977 y 2004). Los ejemplares colectados se clasificaron en función del sustrato colonizado: rama, tronco, hojas y fruto. Por su parte, la elaboración del listado de especies se realizó



siguiendo el criterio de clasificación propuesto por el Index Fungorum Partnership (2023).

Resultados y discusión

Derivado de las nueve salidas generadas en las tres áreas de muestreo SMP, TIN y ACH se colectaron 130 ejemplares, de los cuales se determinaron 65 especies pertenecientes a 24 familias y 37 géneros.

En el caso particular de la SMP se colectaron 79 ejemplares que se distribuyen en 16 familias, 24 géneros y 43 especies. Por su parte, el número total de individuos colectados para TIN asciende a 27 individuos, de los cuales se determinaron 20 especies, 10 familias y 12 géneros. Finalmente, para ACH de obtuvieron 24 colectas, que corresponden a 18 especies, 13 familias y 14 géneros. Lo anterior se muestra en la Tabla 1, con concordancia a la clasificación propuesta por el Index Fungorum Partnership (2023).

Tabla 1

Listado taxonómico de las comunidades fúngicas y sus usos potenciales.

Clasificación taxonómica	Parcelas			Usos	Clasificación taxonómica	Parcelas			Usos
	SMP	TIN	ACH			SMP	TIN	ACH	
Filo: Ascomycota					Familia: Pleurotaceae				
Orden: Pezizomycetes					<i>Pleurotus albidus</i> (Berk.) Pegler 1983		x	x	Cuajo para queso
Clase: Pezizales					<i>Pleurotus djamor</i> (Rumph. ex Fr.) Boedijn 1959		x		Aprovechamiento de residuos
Familia: Pyronemataceae					Familia: Pluteaceae				
<i>Geopora</i> sp1			x	Micorriza, biofertilizante	<i>Volvariella volvacea</i> (Bull.) Singer 1951	x			Comestible
Familia: Sarcoscyphaceae					Familia: Schizophyllaceae				
<i>Cookeina speciosa</i> (Fr.) Dennis 1994	x			Comestible	<i>Schizophyllum commune</i> Fr. 1815			x	Medicinal, cosmética

Clasificación taxonómica	Parcelas			Usos	Clasificación taxonómica	Parcelas			Usos
	SMP	TIN	ACH			SMP	TIN	ACH	
<i>Cookeina tricoloma</i> (Mont.) Kuntze 1891	x			Medicinal	Clase: Auriculariales				
<i>Phillipsia domingensis</i> (Berk.) Berk. ex Denison 1969	x			Comestible	Familia: Auriculariaceae				
					<i>Auricularia mesenterica</i> (Dicks.) Pers. 1822	x		x	Biorremediación
Orden: Sordariomycetes									
Clase: Xylariales					Clase: Gomphales				
Familia: Hypoxylaceae					Familia: Gomphaceae				
<i>Daldinia concentrica</i> (Bolton) Ces. y De Not. 1863	x			Biorremediación	<i>Phaeoclavulina zippelii</i> (Lév.) Overeem 1923		x		Sin uso reportado
<i>Hypoxylon</i> sp1	x				Familia: Lentariaceae				
<i>Hypoxylon</i> sp2	x	x	x		<i>Lentaria</i> sp 1		x		
<i>Hypoxylon</i> sp3	x	x	x		Clase: Hymenochaetales				
+ <i>Hypoxylon</i> sp4	x	x			Familia: Hymenochaetaceae				
<i>Hypoxylon</i> sp5	x				<i>Fuscoporia gilva</i> (Schwein.) T. Wagner y M. Fisch. 2002			x	Biocombustibles
<i>Hypoxylon</i> sp6	x	x			Clase: Polyporales				
<i>Hypoxylon</i> sp7	x				Familia: Incertae sedis				
<i>Hypoxylon</i> sp8		x	x		<i>Aquascypha</i> sp 1	x			
<i>Hypoxylon</i> sp9		x			<i>Phanerodontia chryso sporium</i> (Burds.) Hjortstam y Ryvarden 2010			x	Bioremedación
<i>Hypoxylon</i> sp10		x							
<i>Phylacia bomba</i> (Mont.) Pat. 1903	x			Sin uso reportado	Familia: Irpicaceae				
<i>Phylacia poculiformis</i> (Mont.) Mont. 1855	x			Sin uso reportado	<i>Byssomerulius corium</i> (Pers.) Parmasto 1967			x	Sin uso reportado
<i>Phylacia sagrana</i> Mont. 1856	x			Sin uso reportado	Familia: Meruliaceae				
					<i>Phlebia</i> sp1	x		x	
<i>Xylaria cubensis</i> (Mont.) Fr. 1851	x			Biocontrol	Familia: Panaceae				
<i>Xylaria polymorpha</i> (Pers.) Grev. 1824	x			Biocontrol, biorremediación	<i>Lentinus crinitus</i> (L.) Fr. 1825	x	x		Biocontrol, nutracéutico



Clasificación taxonómica	Parcelas			Usos	Clasificación taxonómica	Parcelas			Usos
	SMP	TIN	ACH			SMP	TIN	ACH	
<i>Xylaria</i> sp1	x				<i>Panus rudis</i> Fr. 1838		x		Biorremediación
<i>Xylaria</i> sp2	x				Familia: Phanerochaetaceae				
<i>Xylaria</i> sp3	x				<i>Phanerochaete</i> sp 1			x	
<i>Xylaria</i> sp4	x				<i>Phanerochaete</i> sp 2			x	
<i>Xylaria</i> sp5		x			Familia: Polyporaceae				
Filo: Basidiomycota					<i>Cerrena hydnoides</i> (Sw.) Zmitr. 2001		x		Fermentación
Orden: Agaricomycetes <i>Favolus tenuiculus</i> P. Beauv. 1806 x					<i>Earliella scabrosa</i> (Pers.) Gilb. y Ryvarden 1985	x			Medicinal, tintóreo
Clase agaricales					Comestible y farmacéutica				
Clase agaricales					<i>Hexagonia</i> sp 1			x	
Familia: Agaricaceae					<i>Polyporus tricholoma</i> Mont. 1837	x			Aprovechamiento de residuos agroindustriales
<i>Coprinus</i> sp1	x				<i>Polyporus</i> sp 1		x		
Familia: Marasmiaceae					Clase: Russulales				
<i>Crinipellis</i> sp 1	x				Familia: Peniophoraceae				
<i>Crinipellis</i> sp 2	x				<i>Peniophora lycii</i> (Pers.) Höhn. y Litsch. 1907			x	Biorremediación y alimentación animal
<i>Marasmius cladophyllus</i> Berk. 1856	x			Biorremediación	<i>Peniophora</i> sp 1			x	
<i>Marasmius</i> sp1	x	x			Familia: Stereaceae				
<i>Marasmius</i> sp2		x			<i>Aleurodiscus amorphus</i> (Pers.) J. Schröt. 1888	x	x	x	Aprovechamiento de residuos agroindustriales
<i>Marasmius</i> sp3	x				<i>Stereum</i> sp 1	x		x	
<i>Marasmius</i> sp4	x				Clase: Thelephorales				
<i>Marasmius</i> sp5	x				Familia: Thelephoraceae				
Familia: Mycenaceae					<i>Thelephora</i> sp 1	x			
<i>Favolaschia dybowskyana</i> (Singer) Singer 1974	x			Sin uso reportado	Clase: Tremellales				
<i>Mycena</i> sp1	x				Familia: Tremellaceae				
Familia: Omphalotaceae					<i>Tremella fuciformis</i> Berk. 1856	x	x		Medicinal y nutraceútica
<i>Marasmiellus</i> sp 1	x	x							

SMP: Selva Mediana Perennifolia, TIN: Tintal, ACH: Acahual.

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, la SMP mostró mayor riqueza en comparación con las otras áreas. Lo que puede estar relacionado con la heterogeneidad del hábitat, variedad de sustratos y variables microclimáticas. Por el contrario, ACH obtuvo la menor riqueza de las tres zonas muestreadas. Con esto, se puede inferir que esta baja riqueza se deba a que la zona es de uso agropecuario, generando claros para facilitar el libre pastoreo y favorecer la crianza de animales, lo que resulta en una reducción de la diversidad de plantas, cobertura vegetal y de la cantidad de sustrato presente para su colonización.

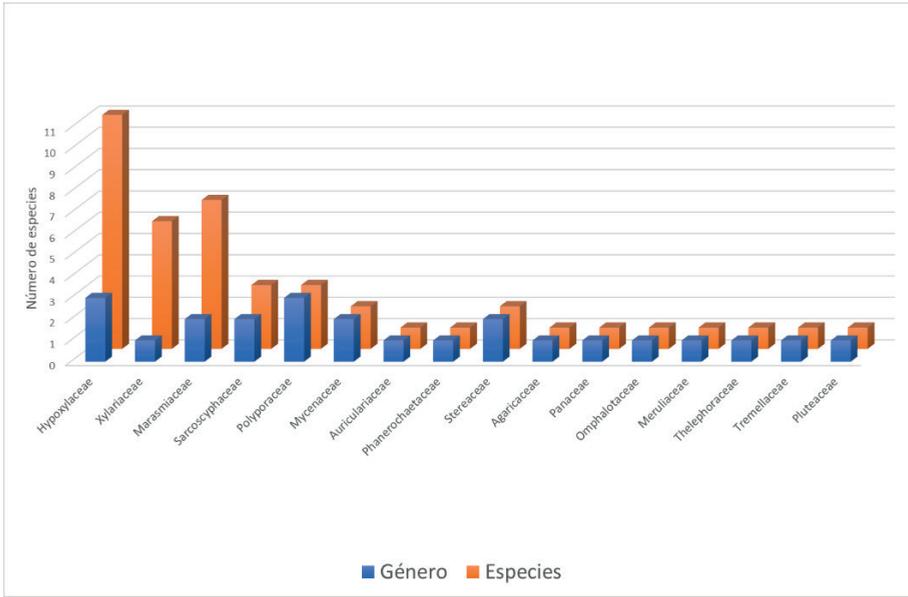
Estudios como los de Brown *et al.* (2006); Crowther *et al.* (2014); Santos Silva *et al.* 2011 y Simmel *et al.* (2017), concuerdan con dichos resultados al señalar que la disminución de hospederos, la perturbación ambiental y las variables microclimáticas desempeñan roles fundamentales en el establecimiento y fructificación de especies fúngicas. Por lo que éstas influyen directamente en la riqueza, diversidad y abundancia de dichas especies.

En cuanto a los resultados obtenidos por familias y géneros, se describen a continuación para cada zona de muestreo: en la SMP, la familia mejor representada fue Hypoxylaceae con tres géneros y 11 especies. Mientras que, las familias menos representadas (9) cuentan con un género y una especie, como se observa en la Figura 3.



Figura 3

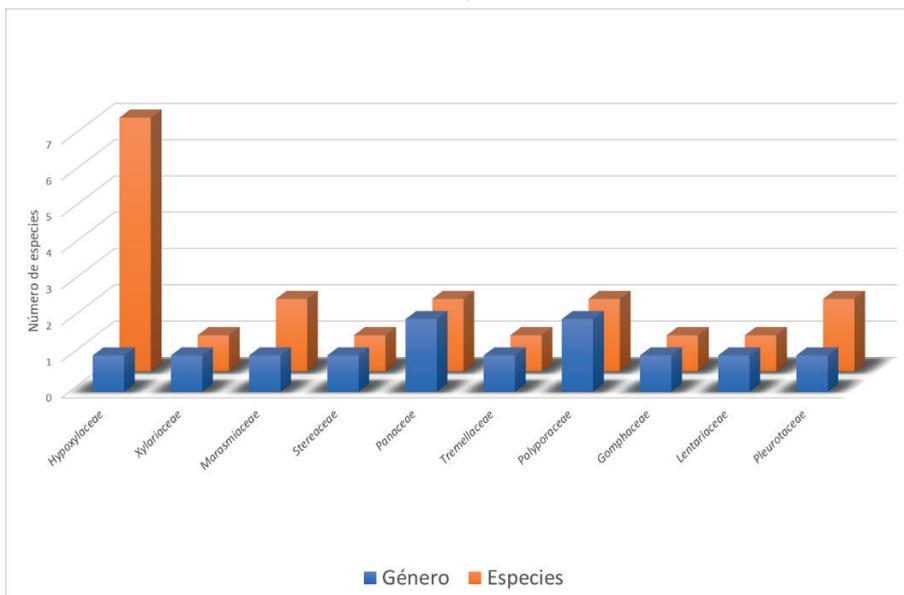
Familias fúngicas presentes en la selva mediana perennifolia.



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte en el TIN se muestra una distribución similar en cuanto a las familias teniendo a Hypoxylaceae con un género y siete especies como las más abundantes y un grupo de familias con baja abundancia, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4
Diversidad de familias presentes en el tintal.



Fuente: Elaboración propia.

Mismo caso que se presenta en ACH donde, por tercera vez, la familia más abundante es Hypoxylaceae con un género y tres especies y, a su vez, existiendo un grupo mayoritario de familias con bajas abundancias, presentando solamente un género y una especie (Figura 5).

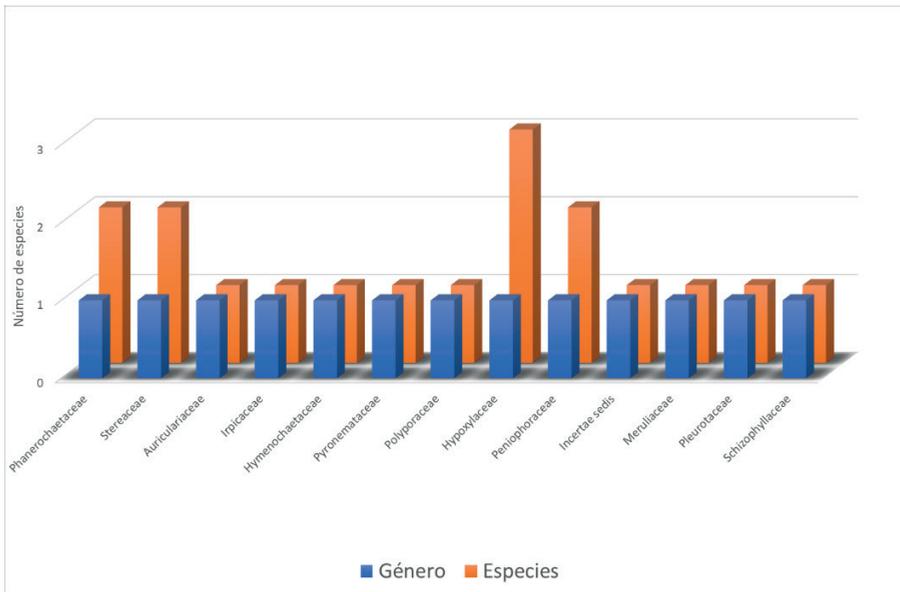
Lo anteriormente descrito refleja un comportamiento esperado para la distribución de abundancias en vegetaciones tropicales, donde las familias del orden Xylariales son las más



abundantes y diversas en dichas regiones. Esto ha sido demostrado por variadas investigaciones, en las que destaca lo reportado por Reyes *et al.* (2020). Estos autores señalan que la familia Hypoxylaceae (115 especies descritas alrededor del mundo), se encuentran entre las más abundantes en zonas tropicales junto con la familia Xylariaceae.

En este sentido, existen varios reportes que permiten estimar que aproximadamente el 75% de las especies que pertenecen al orden Xylariales se distribuyen en zonas tropicales, lo que explica su alta dominancia, diversidad y riqueza en estudios taxonómicos realizados en los trópicos (Whalley, 1993; Guzmán, 2008 y Ávalos Lázaro, 2018). Así también influye el alto conocimiento de este grupo de organismos a nivel mundial (Carranza Velázquez *et al.*, 2014).

Figura 5
Diversidad de familias presentes en el acahual.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo que respecta a la abundancia de géneros, en las tres comunidades varían sustancialmente entre ellas. Sin embargo, el género *Hypoxylon* mostró las mayores abundancias en las tres parcelas muestreadas (SMP y TIN con siete especies y ACH tres especies). Mientras en SMP los dos géneros con mayor abundancia después de *Hypoxylon*, son *Xylaria* y *Marasmius* y así mismo en TIN y ACH se tiene a *Pleurotus* y *Marasmius* como los géneros siguientes en abundancias.

En este sentido, estudios como los de Ávalos Lázaro, *et al.* (2018), Chanona Gómez *et al.* (2007) y Gómez (2022), reportaron que al género *Xylaria* se le considera como el más abundante dentro de los estudios de diversidad, para el orden Xylariales, lo que dista de lo encontrado en el presente estudio. Sin embargo, esto puede explicarse con lo reportado por el mismo Chanona Gómez *et al.* (2007), quienes observaron que el género *Xylaria* requiere de humedad y de vegetación densa para poder distribuirse en ciertas zonas; mientras que las especies del género *Hypoxylon* son más generalistas, por lo cual se distribuyen fácilmente en zonas secas. Por otra parte, en TIN y ACH la cantidad de sustrato (ramas, troncos, etc.) disponible en suelo es reducido por lo que, en ocasiones, colonizan organismos vivos, coincidiendo con los reportes de este género como patógeno oportunista.

Por su parte, los usos potenciales de los hongos en las ciencias agropecuarias son bastos. Se han reportado aplicaciones en agroindustria, farmacéutica, nutraceutica, biorremediación, producción de energías limpias, entre otras (Sileshi *et al.*, 2023). Lo anterior concuerda con un amplio grupo de investigadores que se han concentrado en describir las utilidades biotecnológicas de estos organismos, ejemplo de ello, Abd Razak *et al.* (2024) y dos Santos Filho *et al.* (2023), quienes mencionan la importancia de las especies *Schizophyllum commune* y *Lentinus*



crinitus para las industrias farmacéuticas, alimentarias, nutracéuticas y cosméticas.

Por su parte, Carrillo Saucedo *et al.* (2022) describen la efectividad de las asociaciones simbióticas de tipo micorrizas para el mejoramiento del crecimiento y establecimiento de plantas de interés forestal o agrícola, lo anterior sugiere su alto potencial como biofertilizantes y coadyuvantes en programas de regeneración ambiental.

En relación con las aplicaciones ambientales, los hongos poseen un amplio potencial para el tratamiento de suelos y aguas mediante la degradación de metales pesados y sustancias contaminantes. En este sentido, Bakole *et al.* (2018), Ngui Sing *et al.* (2017) y Zhang *et al.* (2006) reportan los efectos de las especies *Daldinia concéntrica*, *Xylaria polimorfa*, *Panus rudis* y *Marasmius cladophyllus* en la degradación de tintes de la industria textil presente en suelos o medios acuáticos a partir de las casas, peroxidasas de lignina y magnesio, lo que comprueba su alto potencial como biorremediadores.

Por otra parte, este grupo de organismos representa una alternativa para la producción agrícola sustentable mediante el aprovechamiento de fertilizantes y herbicidas orgánicos. Esto se fundamenta en los estudios de Macías Rubalcava y Sánchez Fernández (2017), donde se describen los metabolitos secundarios del género *Xylaria*. Mismos que se encuentran presentes en los más populares herbicidas, pesticidas, fungicidas, entre otros, por lo cual el potencial para la elaboración de productos para el biocontrol de plagas y herbáceas, es sumamente alto para las especies de este género, sobre todo en las zonas tropicales donde es más abundante, como en el presente estudio.

Además de lo anteriormente expuesto, los organismos fúngicos tienen la capacidad de coadyuvar en la producción de energías limpias. En este caso los hongos *Fuscoporia gilva*, *Favolus*

tenuiculus han demostrado efectividad para la degradación de aceites mediante la fermentación, lo que puede apoyar a la producción de biocombustibles de bajo costo, extracción de aceites esenciales y sugiere que pueden usarse en la biorremediación de suelos y cuerpos de agua contaminados por aceites (Omari-ni, *et al.*, 2016; Isikhuemhen, *et al.*, 2014).

Por otra parte, en las agroindustrias, los hongos pueden aportar en la generación de una producción sustentable en las industrias textil, cosmética, farmacéutica y alimentaria. En la actualidad es necesario reemplazar las sustancias químicas por productos orgánicos. En este sentido los hongos poseen un potencial tintóreo amplio para fibras textiles y alimentos, dentro de los cuales se han reportado varias especies, entre ellas *Earliella scabrosa* que se presenta en este estudio (Carreño-Ruiz *et al.*, 2021).

Así también, dentro de la industria alimentara, tienen amplio potencial de usos como los que reportan Rocha Martim *et al.* (2021) para *Pleurotus albidus*, viable para la producción de cuajo natural (proteasas coagulantes) como alternativa para la producción de quesos frescos, por lo que estas proteasas coagulantes son de utilidad en la industria láctea.

Aunado a esto, los hongos son excelentes recicladores de materia orgánica, por lo que existe un vasto campo de aplicación para el aprovechamiento de subproductos agroindustriales. Ejemplo de ello es la especie *Pleurotus djamor* que se reporta en el presente estudio. Autores como Vega *et al.* (2022) probaron la eficiencia de esta especie para la reutilización de subproductos agroindustriales, obteniendo que estos residuos aportan valor nutricional y nutracéutico a los hongos producidos, además de tener una elevada capacidad de ser degradados.

Finalmente, en la producción animal, los hongos han sido empleados para mejorar la digestibilidad de los forrajes, generación de dietas alternativas y control de enfermedades. En este



sentido, la especie *Peniophora lycii* ha sido estudiada por Pontoppidan *et al.* (2007), como estimuladora de la digestión gastrointestinal en cerdos, con la que se prueba la alta efectividad para degradar el fitato disuelto e insoluble, lo que les permite a dichos animales tener una mejor absorción de minerales presentes en dietas a base de forrajes. Lo que prueba la efectividad para mejorar la nutrición en los sistemas de producción animal y mejorar las tasas de rendimiento.

Conclusiones

Los hongos lignocelulósicos son los más abundantes en los trópicos, se ven afectados por la ausencia de hospederos, por lo que la perturbación de su hábitat limita la diversidad y abundancia de las especies presentes. Lo anterior promueve un alto recambio en la composición de las comunidades muestreadas, siendo la familia más abundante la Xylariaceae en las tres parcelas, lo que se debe a su alta abundancia y diversidad en el trópico. Así mismo, incita a una baja diversidad en ACH y alta en SMP, lo que sugiere una alta dependencia a la presencia de sustratos para su crecimiento.

Por otra parte, la obtención de listados de especies promueve el reconocimiento de las aplicaciones de éstas, lo que puede incentivar el manejo biotecnológico de las mismas para fortalecer los sistemas de producción agrícola, pecuaria, forestal y agroindustrias, a fin de promover la sustentabilidad en sus prácticas, así como innovar en la producción de energías limpias.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas, por los apoyos recibidos mediante el Programa Especial de Estímulo a la Investigación (PEEI), mismos que permitieron la realización y conclusión de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Abd Razak, D. L., Abd Ghani A., Mohd Lazim, M. I., Asfamawi Khulidin, K., Shahidi, F & Ismail, A. (2024). Schizophyllum commune (Fries) mushroom: a review on its nutritional components, antioxidative, and anti-inflammatory properties. *Current Opinion in Food Science*. 26, 101129, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101129>.
- Alvarado Castillo, G., Mata, G. y Benítez Badillo, G., (2015). Importancia de la domesticación en la conservación de los hongos silvestres comestibles en México. *Bosque*, 36(2), 151-161.
- Arcos Pérez C. J. (2023). *Diversidad de especies leñosas en tres remanentes DE vegetación para proponer especies maderables en la zona Maya, Catazajá, Chiapas*. [Tesis Pregrado, Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios].
- Ávalos Lázaro, A. A., Rosique Gil, J. E., Cappello García, S., y Villarruel Ordaz, J. L. (2018). Ascomicetes (Fungi: Ascomycota) del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco, México. *Acta Botánica Mexicana*, (122), 141-154. <https://doi.org/10.21829/abm122.2018.1261>
- Bankole, P. O., Adekunle, A. A & Govindwar, S. P. (2018). Biodegradation of a monochlorotriazine dye, cibacron brilliant red 3B-A in solid state fermentation by wood-rot fungal consortium, *Daldinia concentrica* and *Xylaria polymorpha*: Co-biomass decolorization of cibacron brilliant red 3B-A dye. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.068>.
- Bautista Gálvez, A., Chacón Zapata, S. y González Cortés, N. (2020). *Catálogo actualizado de hongos de la región Tuliija, Tselal Ch'ol del estado de Chiapas*. Universidad Autónoma de Chiapas
- Brown, N., Bhagwat, S. y Watkinson, S. (2006). Macrofungal diversity in the fragmented and disturbed forest of the Western Ghats of India. *Journal of Applied Ecology*, 43, 11-17.
- Carranza Velázquez, J., Marín Méndez, W., Ruiz-Boyer, A. y Di Stéfano Gandolfi, J. F. (2014). Riqueza de macrohongos en la Esta-



- ción La Leona, Parque Nacional Corcovado, Puntarenas, Costa Rica. *Brenesia*, 81(82), 37-51
- Carrillo Saucedo, S. M., Puente Rivera, J., Montes Recinas S y Cruz Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mexicana*, 129: e1932. <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Castillo Guevara, C., Lara, C. y Pérez, G. (2012). Micofagia por roedores en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 772-777
- Chanona Gómez, F., Álvarez Gutiérrez P. E., Pérez-Luna Y. C. (2019). Macromycetes of the San José educational park, municipality of Zinacantan, Chiapas, Mexico. *Acta universitaria*, 29, e2127
- Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica (CEIEG). (2007). *Programa de Desarrollo Urbano de Palenque, Chiapas. 2007-2030. Perfiles Municipales*. <https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/Inicio>
- Chacón, S. y Guzmán, G. (1983). Ascomycetes poco conocidos en México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología*, 18, 183-218.
- Crowther, T. W., Maynard, D. S., Crowther. T. R., Peccia. J., Smith, J. R. y Bradford, M. A. (2014). Untangling the fungal niche: the trait-based approach. *Frontiers in Microbiology*, 5, 1-12
- Denison, W. C. (1963). A preliminary study of the operculate cup-fungi Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 11, 99-129.
- Denison, W. C. (1967). Central American Pezizales I. I. The genus *Cookeina*. *Mycological*.
- Dos Santos Filho, J. R., da Silva Santos, E., Linde, G. A., Barros Colauto, N., Correia Gonçalves, R. A & Braz de Oliveira, A. J. (2023). *Lentinus crinitus*: Traditional use, phytochemical and pharmacological activities, and industrial and biotechnological applications, *Food Research International*, 172, 113179. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113179>.

- Gómez, I. N. (2022). Biodiversidad de macrohongos en el sendero de Loma Bonita, La Gloria, Bocas del Toro. *Revista Científica Universitaria*, 11(1), 15-28
- Guzmán, G. y Herrera, T. (1969). Macromicetos de las zonas áridas de México. II. Gasteromicetos. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica*, 40, 1-92.
- Guzmán, G. (1970). *Nuevas claves para identificar algunos Macromicetos mexicanos*. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Departamento de Botánica. Laboratorio de Micología.
- Guzmán, G. (1977). *Identificación de los hongos comestibles, venenosos, alucinantes y destructores de la madera*. Limusa
- Guzmán, G., Torres, M. G., Ramírez, G. F. y Ríos, H. A. (2004). Introducción al conocimiento de los macromicetos de Choco Colombia. *Revista Mexicana de Micología*, 19, 33-47.
- Guzmán, G. (2008). Análisis de los estudios sobre los macromycetes de México. *Revista Mexicana de Micología*, 28, 7-15.
- Heredia-Abarca, G. (2007). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrocencias*, 13(2), 98-108.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Chiapas 2017*. INEGI.
- Index Fungorum Partnership. (2023). *Index Fungorum*. www.indexfungorum.org
- Isikhuemhen, O. S., Mikiashvili, N. A., Senwo, Z. N. & Ohimain, E. I. (2014). Biodegradation and Sugar Release from Canola Plant Biomass by Selected White Rot Fungi. *Advances in Biological Chemistry*, 4, 395-406. <http://dx.doi.org/10.4236/abc.2014.46045>
- Jiménez, R. M., Pérez-Moreno, J., Almaraz-Suárez, J. y Torres Aquino, M. (2013). Hongos silvestres con potencial nutricional, medicinal y biotecnológico comercializados en Valles Centrales, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(2), 199-213.



- Largent, D. y Stunz D. (1986). *How to identify mushrooms to genus I: macroscopic features*. Mad River
- Lodge, D. J., Ammirati, J. F., O'Dell, T. E., Mueller, G. M., Huhndorf, S. M., Wang, C. J., Stokland, J. N., Schmit, J.P., Ryvarden, L., Leacock, P. R., Mata, M., Umaña, L., Wu, Q y Czederplitz, D. L. (2004). Terrestrial and Lignicolous Macrofungi. In: Mueller, G. M., Bills, G. F., (Eds.). *Foster. Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods*. Amsterdam; Boston: Elsevier Academic Press.
- López Guzmán, L. M., Chacón, S. y Bautista Gálvez, A. (2017). Adiciones al conocimiento sobre la diversidad de los hongos (macromicetes) de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Micología*, 45, 27-35.
- Macías Rubalcava, M. L & Sánchez Fernández, R. E. (2017). Secondary metabolites of endophytic Xylaria species with potential applications in medicine and agriculture. *World J Microbiol Biotechnol* 33, (15). <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2174-5>
- Martínez Peña, F., de-Miguel, S., Pukkala, T., Bonet, J. A., Ortega Martínez, P., Aldea, J., y Martínez de Aragón, J. (2012). Yield models for ectomycorrhizal mushrooms in *Pinus sylvestris* forests with a special focus on *Boletus edulis* and *Lactarius group deliciosus*. *Forest Ecology and Management*, 282, 63-69.
- Ngui Sing, N., Husaini, A., Zulkharnain, A & Azman Roslan, H. (2017). Decolourisation Capabilities of Ligninolytic Enzymes Produced by *Marasmius cladophyllus* UMAS MS8 on Remazol Brilliant Blue R and Other Azo Dyes. *BioMed Research International*, 2017, 1325745. <https://doi.org/10.1155/2017/1325754>.
- Omarini, A., Dambolena, J. S., Lucini, E. Jaramillo Mejía, S., Albertó E & Zygadlo, J. A. (2016). Biotransformation of 1,8-cineole by solid-state fermentation of Eucalyptus waste from the essential oil industry using *Pleurotus ostreatus* and *Favolus tenuiculus*. *Folia Microbiol* 61, 149–157. <https://doi.org/10.1007/s12223-015-0422-y>.

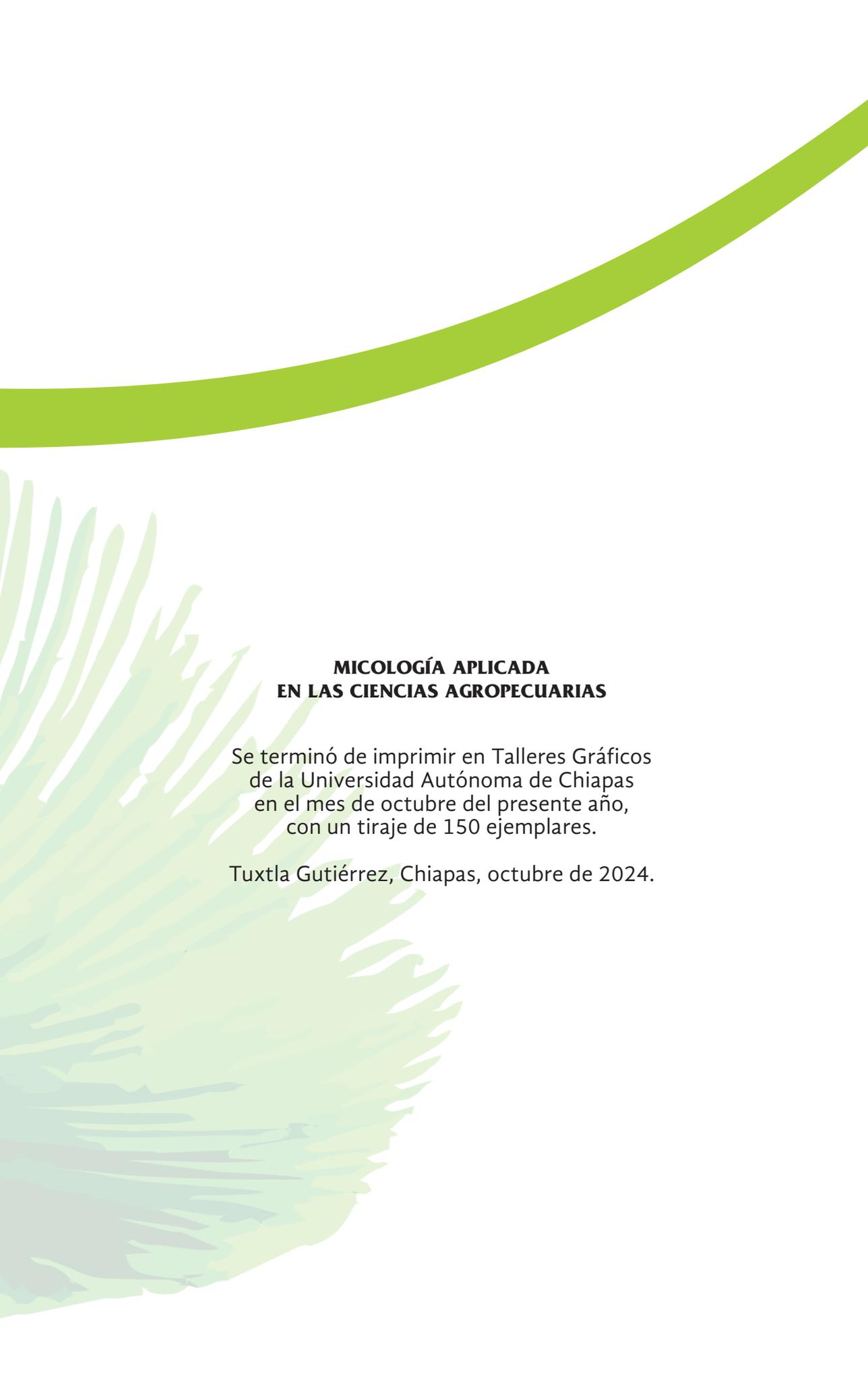
- Petersen, J. H. (1999). *Key to genera of clavarioid fungi (Basidiomycota) in northern Europe*. University of Aarhus, Institute of Systematic Botany. Disponible. www.mycokoey.com
- Pontoppidan, K., Pettersson, D. & Sandberg, A. S. (2007). *Peniophora lycii* phytase is stabile and degrades phytate and solubilises minerals in vitro during simulation of gastrointestinal digestion in the pig. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87 (14), 2700-2708. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3033>
- Ratkowsky, D. y Gates G. (2002). Keys the Tasmanian families and genera of gilled fungi. *The Tasmanian Naturalist*, 124, 2-24.
- Reyes, P. E., Valenzuela, R. y Raymundo, T. (2020). El género *Hypoxylon* (Xylariales, Ascomycota) en el bosque tropical caducifolio de cuatro Áreas Naturales Protegidas de México. *Acta botánica mexicana*, (127), e1680. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1680>
- Rocha Martim, S., Cavalcante Silva, L. S., Marialva Alecrim, M., Simas Teixeira, L., Simas Teixeira, M. F. (2021). Milk-clotting proteases from *Pleurotus albidus*: an innovative alternative for the production of Minas frescal cheese. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*. 43, e57275. Doi: 10.4025/actascibiolsci.v43i1.57275
- Ruan Soto, F. (2018). Recolección de hongos comestibles silvestres y estrategias para el reconocimiento de especies tóxicas entre los tsotsiles de Chamula, Chiapas. *Scientia Fungorum*, 48, 1-13. <https://doi.org/10.33885/sf.2018.48.1179>
- Ruan Soto, F., Cifuentes, J., Pérez Ramírez, L., Ordaz Velázquez, M. y Caballero, J. (2021a). Hongos macroscópicos de interés cultural en los Altos de Chiapas y la selva Lacandona, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92, e923525. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3525>
- Santos Silva, C., Gonçalves, A y Louro, R., (2011). Canopy cover influence on macrofungal richness and sporocarp production in Montado ecosystems. *Agroforestry Systems*, 82, 149-159.



- Savoie, J. M. y Largeveau, M. L. (2011). Production of edible mushrooms in forests: trends in the development of a mycosilviculture. *Applied Microbiology and Biotechnology* 89, 971-979.
- Sierra, S. y Cifuentes J. (1993). Contribución al conocimiento de los hongos tremeloides (Heterobasidiomycetes) de México. *Revista Mexicana de Micología*, 9, 119-138.
- Sileshi, G. W., Tibuhwa, D. D. & Mlambo, A. (2023). Underutilized wild edible fungi and their undervalued ecosystem services in Africa. *CABI Agric Biosci*, 4, (3). <https://doi.org/10.1186/s43170-023-00145-7>
- Simmel, J., Bässler, C. y Poschlod P. (2017). Ellenberg indicator values for macromycetes a methodological approach and first applications. *Fungal Ecology*, 27, 202-212.
- Singer, R. (1976). *Flora Neotropica. Monograph No.17: Marasmiaceae (Basidiomycetes-Tricholomataceae)*. New York Botanical Garden: Bronx. United State.
- Vega, A., De León, J. A., Miranda, S. y Reyes S. M. (2022). Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*, *Cleaner Waste Systems*, 2, 100018, <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018>.
- Whalley, A. J. S. (1993). Tropical Xylariaceae. Their distribution and ecological characteristics. In: Isaac, S., J. C. Frankland, R. Watling y A. J. S. Whalley (eds.). *Aspects of tropical mycology*. Cambridge University Press. Cambridge, USA. Pp. 103-120.
- Zhang, M., Wu, F., Wei, Z., Xiao, Y & Gong, W. (2006). Characterization and decolorization ability of a laccase from *Panus rudis*, *Enzyme and Microbial Technology*, 39 (1), 92-97 <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.09.012>.







**MICOLOGÍA APLICADA
EN LAS CIENCIAS AGROPECUARIAS**

Se terminó de imprimir en Talleres Gráficos
de la Universidad Autónoma de Chiapas
en el mes de octubre del presente año,
con un tiraje de 150 ejemplares.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, octubre de 2024.

ANIVERSARIO **152**
Facultad Maya de
Estudios Agropecuarios

