



La biodiversidad en

TAMAULIPAS

Estudio de Estado
Volumen 2



La biodiversidad en

TAMAULIPAS

Estudio de Estado
Volumen 2

Primera edición, 2024

OBRA COMPLETA: ISBN 978-607-8570-78-2

VOLUMEN II: ISBN 978-607-8570-80-5

Coordinación y seguimiento general:

CONABIO

Andrea Cruz Angón¹

Diana López Higareda¹

Erika Daniela Melgarejo¹

CPBT

Erick Rubén Rodríguez Ruiz²

Cuidado de la edición:

Claudia Verónica Gómez Hernández

Diana López Higareda¹

Erika Daniela Melgarejo¹

Corrección de estilo:

Vector Diseño

Diana López Higareda¹

Diseño y formación:

Claudia Verónica Gómez Hernández

Cartografía:

César Puentes García³

Diana López Higareda¹

D.R.©2024 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)

Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Colonia Parques del Pedregal, Demarcación Territorial Tlalpan, Código Postal 14010, Ciudad de México.

www.gob.mx/conabio

D.R.©2024 Nacional Financiera S.N.C., en su carácter de Fiduciaria del Fideicomiso Fondo para la Biodiversidad

Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Colonia Parques del Pedregal, Demarcación Territorial Tlalpan, Código Postal 14010, Ciudad de México.

D.R.©2024 Comisión de Parques y Biodiversidad de Tamaulipas

Centro de Oficinas Gubernamentales, Piso 16, Parque Bicentenario Libramiento Naciones Unidas con Prolongación Blvd. Práxedes Balboa S/N C.P. 87083, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

www.tamaulipas.gob.mx/parquesybiodiversidad

¹Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

²Comisión de Parques y Biodiversidad de Tamaulipas

³Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Tamaulipas

Salvo en aquellas contribuciones que reflejan el trabajo y quehacer de las instituciones y organizaciones participantes, el contenido de las contribuciones es de exclusiva responsabilidad de los autores.

Impreso en México/Printed in Mexico

Índice

9	Presentación
11	Mensaje
15	Introducción
5	Diversidad de especies
23	Resumen ejecutivo. Diversidad de especies
25	Caracterización de bacterias benéficas del género <i>Bacillus</i>
31	Hongos
51	Hongos patógenos y benéficos
63	Paleobiodiversidad: invertebrados
73	Paleobiodiversidad: plantas y vertebrados
6	Flora
87	Resumen ejecutivo. Flora
91	Macroalgas marinas
101	Musgos (Bryophyta)
107	Plantas vasculares
121	Orquídeas (Orchidaceae)
127	Cactáceas (Cactaceae)
139	Agaváceas
149	Encinos (robles) y hayas (Fagaceae)
163	Chías, mirtos, oréganos, poleos y toronjiles (Lamiaceae)
171	Euforbiáceas (Euphorbiaceae)
184	EC. Análisis poblacional de la palma endémica <i>Brahea berlandieri</i>
7	Fauna / Invertebrados
193	Resumen ejecutivo. Invertebrados
197	Helminetos de vertebrados
203	Cefalópodos (Mollusca)
209	Gasterópodos marinos en la costa tamaulipeca
219	Gasterópodos terrestres
230	EC. Anfípodos en la laguna Madre
239	Ácaros (Arachnida: Acari)
250	EC. Arañas en los municipios de Gómez Farías, Miquihuana y Victoria
259	Orthoptera (Caelifera y Ensifera)
267	Mosquitas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae)

- 273 Escarabajos estafilinoideos (Coleoptera: Staphylinoidea)
- 281 Escarabajos click (Coleoptera: Elateridae)
- 288 EC. Escarabajos pulga (Coleoptera: Chrysomelidae) como bioindicadores en la sucesión vegetal: el caso de *Centralaphthona diversa*
- 297 Gorgojos (Bruchidae: Coleoptera)
- 309 Picudos (superfamilia Curculionoidea)
- 319 Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea)
- 325 Ichneumonidae (Hymenoptera)
- 333 Aphelinidae (Hymenoptera)
- 339 Abejas nativas (Hymenoptera: Apoidea)
- 355 Hormigas (Formicidae)
- 367 Mariposas (Lepidoptera: Papilionoidea)
- 378 EC. Mariposas diurnas en el cerro del Diente, municipio de San Carlos
- 384 EC. Control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)
- 393 Moscas taquínidas (Diptera: Tachinidae)

8 Fauna / vertebrados

- 403 Resumen ejecutivo. Vertebrados
- 407 Peces cartilaginosos
- 415 Peces
- 428 EC. Bagre de canal: diversidad genética e importancia comercial
- 437 Anfibios
- 447 Reptiles
- 458 EC. Tortuga lora, una historia extraordinaria de conservación
- 465 Aves
- 477 Aves de la Reserva de la Biosfera El Cielo
- 483 Rapaces: cazadoras del día y la noche
- 496 EC. Aves asociadas al disturbio capitalino
- 506 EC. Hurto de alimento por aves a hormigas en la Reserva de la Biosfera El Cielo
- 516 EC. Tecolote tamaulipeco (*Glaucidium sanchezi*) una especie poco conocida
- 522 EC. Monitoreo y conservación de la guacamaya verde
- 535 Mamíferos
- 546 EC. Murciélagos
- 558 EC. Efecto de las fases lunares sobre la actividad del ocelote y el margay en la Reserva de la Biosfera El Cielo
- 564 EC. Estimación del ámbito hogareño del puma (*Puma concolor*) en la Reserva de la Biosfera El Cielo
- 568 EC. Percepción social de pescadores hacia la nutria neotropical en el río Guayalejo

574 Autores

Hongos

Jesús García Jiménez, Juan Francisco Hernández Del Valle, Ricardo Valenzuela Garza, Tania Raymundo Ojeda, Alejandro Huereca Delgado, Silvia Bautista Hernández, Gonzalo Guevara Guerrero, Fortunato Garza Ocañas, Leccinum Jesús García Morales, Marcos Sánchez Flores, Jorge Guzmán Guillermo y Javier Issac de la Fuente López

Introducción

Los hongos son microorganismos que habitan prácticamente en cualquier lugar de los ecosistemas terrestres y acuáticos del planeta. Son organismos eucariontes,¹ aclorofílicos (carecen de clorofila) y por lo tanto heterotróficos (no producen su propio alimento), con capacidad de reproducción sexual y asexual a través de esporas. Sus estructuras somáticas son típicamente filamentosas, en las cuáles su pared celular la constituye quitina y celulosa. Son capaces de sintetizar la lisina (a través de la vía del ácido aminoacético; Moore *et al.* 2011, Naranjo-Ortiz y Gabaldón 2019) y liberan exoenzimas que desintegran los diferentes sustratos en los que crecen, mediante una nutrición de tipo absorptiva.

Estos organismos constituyen el reino Fungi (Whittaker 1969), Nucletmycea (Brown *et al.* 2009) u Holomycota (Adl *et al.* 2012, Tedersoo *et al.* 2018). Son uno de los grupos con mayor diversidad en la Tierra, su origen se remonta al período Mesoproterozoico (hace más de 1 241 millones de años; Wegener *et al.* 2011, Samarakoon *et al.* 2016). Al principio se desarrollaron como organismos acuáticos unicelulares, que

conforme surgieron las áreas emergidas del planeta, invadieron también el medio terrestre.

Los hongos exhiben formas de vida muy complejas, estos pueden ser: biótrofos con requerimientos nutricionales que son proporcionados solamente por otros organismos vivos, como en el caso de los hongos parásitos o los simbioses (p.e. líquenes y hongos micorrízicos; Carris *et al.* 2012, De Silva *et al.* 2016); o saprobios que se alimentan de materia orgánica muerta proveniente de diferentes tipos de organismos (Carris *et al.* 2012). La morfología de los hongos es muy diversa tanto en sus estructuras de reproducción sexual como asexual y pueden constituir colonias como los mohos, o cuerpos reproductivos macroscópicos como los ascomas o basidiomas de los ascomicetos y basidiomicetos, que llegan a medir desde milímetros hasta metros.

Los *phyla* o tipos de hongos más conocidos incluyen a los Cryptomycota, Microsporidia, Blastocladiomycota, Chytridiomycota, Zoopagomycota, Mucormycota, Ascomycota y Basidiomycota (Willis 2018). Actualmente se reconocen 16 *phyla*, algunos más aún no han sido descritos, todos se ubican en 8 subreinos del reino Holomycota (Tedersoo *et al.* 2018).

¹ Formados por células con núcleo.

Aspectos ecológicos

Tamaulipas se distingue por presentar una interesante diversidad de ecosistemas terrestres bosques tropical caducifolios (selvas bajas caducifolias), o subcaducifolios, encinares tropicales, bosques mesófilos de montaña, bosques de templados de *Quercus*, bosques mixtos de *Pinus* y *Quercus*, bosques de *Pinus* y otras coníferas, entre otros (véase *Ecosistemas y vegetación*, en esta obra).

Muchas especies de hongos se asocian a estos ecosistemas, en donde se desarrollan bajo diferentes hábitos o formas de vida. Estos van desde los hongos saprofitos que viven de los diferentes tipos de sustratos vegetales abundantes en los bosques, participando en el proceso de descomposición de la materia orgánica de origen vegetal (madera de troncos muertos, ramas, ramillas, hojas, frutos, estiércol de herbívoros y humus). La madera se compone principalmente de holocelulosa, lignina y extraíbles. Específicamente, la holocelulosa se compone de celulosa y hemicelulosa; estos compuestos son desintegrados por los hongos con alta capacidad enzimática para producir pudriciones blancas y cafés o marrones. En la pudrición café o marrón intervienen hongos celulolíticos que utilizan enzimas que desintegran solo la celulosa (endoglucanas, exoglucanas y β -glucosidasas), quedando en la madera el componente de lignina, por lo cual permanece de un color café.

Por otra parte, la pudrición blanca implica desintegración de la lignina, en este proceso intervienen otras enzimas (peroxidadas o ligninasas, fenoloxidasas, quinona-oxidoreductasas); en este caso los dos componentes principales de la madera son desintegrados y provocan una pudrición de color blanco. Otro tipo de descomposición es la pudrición blanda, la cual la llevan a cabo algunos grupos de Ascomycetes y Deuteromycetes, en este proceso se presenta la desintegración de la lámina media de las células vegetales produciendo una consistencia blanda (Cullen y Kersten 2004).

Otros hongos participan en relaciones simbióticas que pueden ser de varios tipos. Una de ellas es la mutualista donde se forman ectomicorrizas con algunas especies de árboles, modificando la forma de las raíces mediante las hifas de los hongos en los espacios

intercelulares de la corteza radicular; la planta recibe de una forma más eficiente elementos nutricionales del suelo (p.e. agua, sales minerales como fósforo, potasio, nitrógeno), mientras que los hongos reciben de la planta productos de la fotosíntesis (p.e. compuestos de carbono como la glucosa y algunas vitaminas; Brundrett y Tedersoo 2018). Algunas especies viven en el interior de las plantas como los hongos endófitos, éstos se asocian al interior de plantas, sin producir síntomas de enfermedad, se considera una relación mutualista, debido a que el hongo produce sustancias tóxicas para los insectos fitófagos y el hongo se alimenta de las reservas nutricionales de la planta (Hyde y Soyong 2008).

Algunos hongos participan en simbiosis endomicorrizógenas, en éstas las hifas penetran al interior de las células de la corteza radicular (Malloch *et al.* 1980, Malloch 1987); estos hongos han sido poco estudiados en el estado. Por otra parte, los hongos liquenizados también son una relación simbiótica mutualista, la cual se lleva a cabo por especies de hongos con grupos de algas o cianobacterias, y pueden llegar a constituirse por dos o tres organismos. El hongo es el organismo dominante o micobionte (parte heterótrofa de la simbiosis), que generalmente en más de 90% de las ocasiones, son del grupo de los ascomicetos y en menor frecuencia basidiomicetos (Hawksworth 1988, Lücking *et al.* 2016); el otro componente de la interacción líquénica son organismos autótrofos fotosintéticos, pertenecientes a dos reinos distintos: eucariotes (clorofíceas), o procariontes (cianobacterias; Hawksworth 1988). En específico, los líquenes poseen un papel esencial en los ciclos biogeoquímicos de elementos y moléculas íntimamente relacionadas con en el mantenimiento de la vida como el agua, el carbono y el nitrógeno (Cornelissen *et al.* 2007, Porada *et al.* 2014). Además, son parte de las cadenas tróficas de los animales desde insectos hasta grandes mamíferos (Crittenden 1999).

Por su parte, las especies parásitas se alimentan de las células de organismos vivos (biótrofos) en una relación parásito-hospedero, desarrollándose sobre diferentes organismos como plantas, insectos, vertebrados y otros hongos, incluyendo algunos liquenícolas (Lawrey y Diederich 2003, Díaz-Franco y Montes-García 2008, Sun *et al.* 2019).

Antecedentes

En las últimas décadas diferentes autores han estimado la diversidad de hongos en el planeta en 1.5 millones de especies. Lo anterior se basa principalmente en la proporción de hongos asociados a las especies de plantas en zonas templadas y tropicales de planeta, y a los estudios micológicos de las islas británicas (como algunas de las áreas mejor estudiadas) y la frecuencia de la simbiosis que los hongos tienen con otros grupos de organismos (Hawksworth 2001). Por otra parte, otros autores consideraron solamente la existencia de alrededor de 700 mil (Mueller y Schmit 2007). Sin embargo, como resultado de estudios moleculares por pirosecuenciación² y múltiples muestras ambientales en las que se obtuvieron secuencias de ácidos nucleicos de hongos, se estima una posible diversidad fúngica de la Tierra entre 3.5 y 5.1 millones de especies (O'Brien *et al.* 2005, Blackwell 2011). Estimaciones más recientes ajustan las cifras de diversidad fúngica entre 2.2 y 3.8 millones de especies (Hawksworth y Lücking 2017). Wu y colaboradores (2019) consideran la existencia de 12 millones de especies.

Respecto a la biodiversidad de hongos en México, se considera la posible existencia de alrededor de 200 mil especies, de las cuales solo 3.5% han sido estudiadas (Guzmán 1998a, b). Con base en la revisión de documentos publicados y la revisión de los herbarios nacionales más representativos, se reconoce que existen 6 500 especies de hongos en México, de las cuales 4 500 son macrohongos y 2 mil son microhongos. Por otra parte, en un inventario validado, se reconocieron solamente 2 135 especies, de los cuales 1 486 son Basidiomycota, 646 Ascomycota, 2 Zygomycota y 1 Oomycota (Cifuentes 2008). Una estimación más actual de los hongos con base en la propuesta de Mueller y colaboradores (2007) sobre la diversidad de macrohongos, considera la posibilidad de que en el país exista entre 9 mil y 11 mil macrohongos, con el total de especies de hongos entre 90 mil y 110 mil especies (Aguirre-Acosta *et al.* 2014).

Sobre los hongos en Tamaulipas, se tienen diversos estudios. El primer estudio conocido es el de Hernández-X. y colaboradores (1951), quienes registraron 12 especies de hongos poliporoides del Rancho El Cielo. En la década de los ochenta, se realizaron en la entidad descripciones de algunas especies de *Lactarius* (Guevara *et al.* 1987) y de Xylariales (San Martín y Rogers 1989). Posteriormente, en la década de los noventa, se describieron y citaron algunas especies para el estado del suborden Boletineae (Singer *et al.* 1990, 1991, 1992) y en su estudio sobre los hongos de la familia Boletaceae en el noreste de México se citaron 83 taxones para la entidad (García 1993). En el siglo XXI se continuaron los trabajos de este grupo, en específico se realizó un inventario de macrohongos para todo el territorio tamaulipeco, citando 563 especies de macrohongos (García-Jiménez y Guevara-Guerrero 2005), el cual se actualizó y se llegó a la cifra de 1 036 taxones (García 2013). García y colaboradores (2014) en relación con los macrohongos de los encinares registraron 370 especies; y respecto a los líquenes en Tamaulipas, Herrera-Campos y colaboradores (2014) enlistaron 110 especies.

Cabe mencionar que, la mayoría de los trabajos se concentran en la Reserva de la Biosfera El Cielo. En un estudio sobre los macrohongos se registraron 126 taxones (Heredia 1989), y años más tarde se realizó un estudio sobre los hongos saprobios de la hojarasca del bosque mesófilo de montaña (Heredia 2005). Por su parte, San Martín y Rogers (2005) citaron 83 especies de la familia Xylariaceae; mientras que Sánchez-Peña (2005) citó 8 especies de hongos entomopatógenos. Finalmente, García-Jiménez y Valenzuela (2005) reportaron 434 taxones de macrohongos para la reserva.

Los especímenes estudiados en los trabajos anteriores se encuentran depositados en los herbarios y colecciones del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria (ITCV), la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB), el Instituto de Ecología (XAL) y el Cepario de Patología Forestal de la Universidad Autónoma Chapingo.

² Técnica que permite determinar el orden de una secuencia de DNA mediante una señal de fluorescencia, se usa para la identificación de bases individuales o secuencias cortas de ácidos nucleicos en posiciones concretas; la cantidad de luz emitida es proporcional al número de nucleótidos añadidos (Diz Mellado 2020).

Diversidad

Para Tamaulipas se registran 1 303 especies, que se distribuyen en 184 familias identificadas y 549 géneros (apéndice 5). Del total de las especies, la mayor parte corresponde a Basidiomycota (812), seguido por Ascomycota (487), Glomeromycota (2) y Mucoromycota (2; cuadro 1). En cuanto a las familias con mayor riqueza son Parmeliaceae (85 especies), Boletaceae (81), Xylariaceae (66), Russulaceae (59) y Polyporaceae (57). Para 59 especies no ha sido posible identificar a que familia y categorías superiores pertenecen, por lo que se les considera como *incertae sedis* (cuadro 2, apéndice 5). Estos resultados colocan a la entidad como un importante estado en lo que respecta al conocimiento de su diversidad fúngica. En cuanto a la diversidad de formas de vida registradas para el estado, comprenden a los hongos saprófitos, ectomicorrizógenos, parásitos y liquenizados.

Hongos saprófitos

Se consideran 567 especies (figura 1), que participan en la descomposición de la madera con alta capacidad enzimática, ocasionando pudrición blanca, marrón y blanda. La pudrición blanca (degradación de lignina) es resultado de la actividad de *Desarmillaria tabescens*, *Auricularia polytricha*, *Cyptotrama asprata* (figura 2a), *Cymatoderma caperatum*, *Phlebia tremellosa*, *Pycnoporus sanguineus* y *Trichaptum bifforme*. En el caso de la pudrición marrón (degradación de celulosa) participan activamente *Gloeophyllum sepiarium*, *G. striatum*, *Heliocybe sulcata* (figura 2b). Por último, la pudrición blanda (desintegración de la lámina media de las células vegetales) la llevan a cabo algunos grupos de ascomycetes como *Cookeina tricholoma*, *C. venezuelae*, *Phillipsia domingensis* (figura 2c), *Phylacia poculiformis*, *Xylaria poitei* y *X. quercinophila*.

Muchas especies de hongos saprófitos participan en la descomposición de la hojarasca y pequeñas estructuras o detritos vegetales (p.e. ramillas, frutos secos, entre otras), en el mantillo de los bosques templados y selvas bajas caducifolias o subcaducifolias; en este proceso intervienen *Aseroe rubra* (figura 3a), *Clathrus columnatus*, *Hygrocybe cuspidata* (figura 3b), *Leucoagaricus lilaceus*, *Mutinus bambusinus* (figura 3c) y *Rugosopora pseudorubiginosa*.

Cuadro 1. Especies por división.

División	Especies
Basidiomycota	812
Ascomycota	487
Glomeromycota	2
Mucoromycota	2
Total	1 303

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Familias con mayor diversidad especies.

Familia	Especies
Parmeliaceae	85
Boletaceae	81
Xylariaceae	66
Russulaceae	59
Polyporaceae	57
Agaricaceae	44
Pucciniaceae	38
Hymenochaetaceae	37
Hygrophoraceae	32
Hypoxylaceae	31
Amanitaceae	27
Graphidaceae	21
Tricholomataceae	16
Entolomataceae	15
Cortinariaceae	14
Lycoperdaceae	14
Physalacriaceae	14
Omphalotaceae	13
Mycenaceae	13
Hydnaceae	12
Teloschistaceae	12
Sarcoscyphaceae	12
Strophariaceae	12
Nectriaceae	11
Gomphaceae	10
Hymenogastraceae	10
Lobariaceae	10
Pleurotaceae	9
Otras familias (151)	469
<i>Incertae sedis</i>	59
Total	1 303

Fuente: elaboración propia.

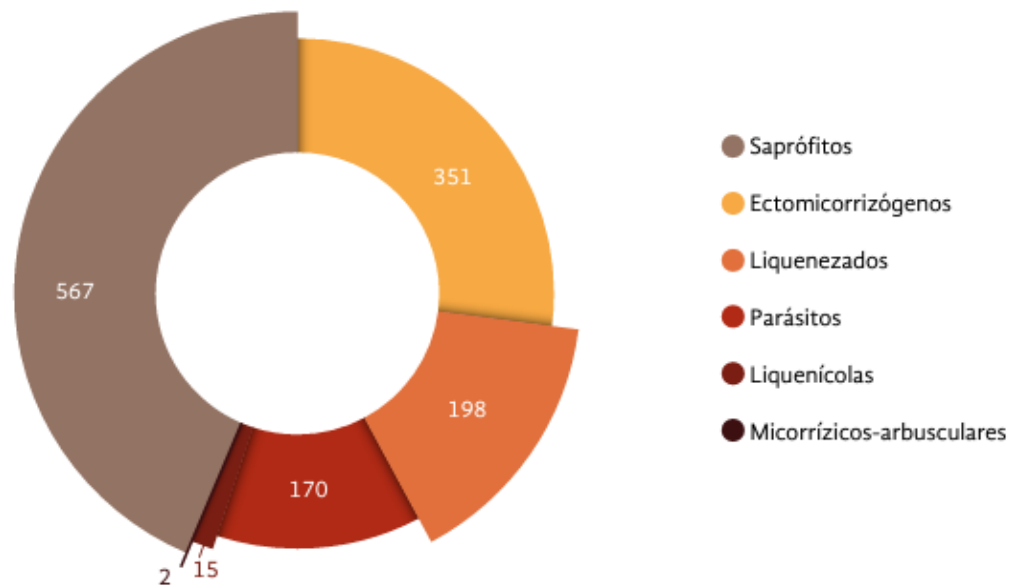


Figura 1. Diversidad por tipo de hábito. Fuente: elaboración propia.

Hongos endófitos

Son aquellos que están asociados al interior de plantas y se comportan como saprófitos una vez que las estructuras vegetales caen al suelo, como *Xylaria guazumae* sobre frutos de guácimo (*Guazuma ulmifolia*); *X. magnoliae* (figura 4) asociado a los frutos de magnolia tamaulipeca (*Magnolia tamaulipana*); y *X. liquidambaris* que crece sobre frutos de liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*).

Hongos ectomicorizógenos

Sobre la interacción ectomicorizógena, las plantas involucradas corresponden a las familias Betulaceae, Fabaceae, Fagaceae, Juglandaceae, Nyctaginaceae, Salicaceae, Sapotaceae, Pinaceae, Polygonaceae, entre otras, ampliamente distribuidas en el país. Los hongos que participan en esta relación simbiótica son miembros de las familias Amanitaceae, Boletaceae, Cantharellaceae, Cortinariaceae, Gomphaceae, Hydnaceae, Rhizopogonaceae, Suillaceae, Pezizaceae, Pyronemataceae, Russulaceae, Tricholomataceae, entre otras, la mayoría de las cuales son frecuentes y abundantes en los bosques tamaulipecos, donde es posible encontrar a: *Amanita polypyramis*, *A. jacksonii* (figura 5a), *Lactarius indigo* (figura 5b), *Boletus aureissimus*,

Exsudoporus frostii, *Chalciporus rubinellus* (figura 5c), *Elaphomyces muricatus* (figura 5d), *Gautieria magnicellaris* (figura 5e), *Lactifluus volemus*, *L. hygrophoroides* (figura 6a), *Pisolithus arhizus*, *Ramaria subbotrytis* (figura 6b), *Rhizopogon vinicolor* (figura 6c), *Russula mariae* (figura 6d), *Suillus lakei*, *Tricholoma aurantium*, *Turbinellus floccosus* (figura 6e), *Tylopilus balloui* y *T. plumbeoviolaceus*, entre otras (apéndice 5).

Asimismo, existe cierto nivel de especificidad simbiótica de tal forma que especies como *Amanita polypyramis*, *Boletus variipes* var. *fagicola*, *Tylopilus balloui* y *T. rubrobrunneus* se asocian principalmente con *Quercus oleoides* en encinares tropicales. Asociados con los encinos *Q. germana*, *Q. rysophylla* y *Q. sartorii* crecen *Amanita arocheae*, *A. jacksonii*, *A. onusta*, *Lactifluus hygrophoroides* y *L. fuscomarginatus*. Y como componentes fúngicos del bosque mesófilo de montaña están *Leccinum longicurvipes*, *Leccinellum quercophilum*, *Tylopilus subcellulosus* y *T. plumbeoviolaceus*.

En el bosque de pino piñonero (*Pinus cembroides*) se encuentran exclusivamente a *Chalciporus pseudorubinellus*, *Lactarius barrowsii* y *Tricholoma terreum*. En los escasos bosques de abeto (*Pseudotsuga menziesii*) están *Chroogomphus vinicolor*, *Gomphidius subroseus*, *Spathularia flavida*, *Suillus lakei* y *Tricholoma aurantium*; y exclusivamente asociado con oyamel (*Abies guatemalensis* y *A. vejarii*) crece *Turbinellus floccosus*.



Figura 2. Ejemplos de hongos degradadores de la madera: a) pudrición blanca (*Cyptotrama asprata*); b) pudrición marrón (*Heliocybe sulcata*); c) pudrición blanda (*Phillipsia domingensis*). Fotos: Jesús García.



Figura 3. Ejemplos de hongos saprófitos: a) *Aseore rubra*; b) *Hygrocybe cuspidata*; c) *Mutinus bambusinus*. Fotos: Jesús García.



Figura 4. Hongo dedos de muerto (*Xylaria magnoliae*), el cual crece sobre frutos de la magnolia tamaulipeca (*Magnolia tamaulipana*). Foto: Jesús García.



Figura 5. Ejemplos de hongos ectomicorrizógenos en el estado: a) *Amanita jacksonii*; b) *Lactarius indigo*; c) *Chalciporus rubinellus*; d) *Elaphomyces muricatus*; e) *Gautieria magnicellaris*. Fotos: Jesús García.



Figura 6. Ejemplos de hongos ectomicorrizogenos en el estado: a) *Lactifluus hygrophoroides*; b) *Ramaria subbotrytis*; c) *Rhizopogon vinicolor*; d) *Russula mariae*; e) *Turbinellus floccosus*. Fotos: Jesús García.

En los pinares de *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote* se asocian *Amanita muscaria*, *Cantharellus tubaeformis*, *Clavariadelphus truncatus*, *Lactarius paradoxus*, *L. aff. deliciosus*, *Rhizopogon vinicolor*, *Russula flavida*, *R. xerampelina*, *Suillus granulatus*, *S. cothurnatus* y *S. pseudobrevipes*. Para el caso de los bosques de ocote colorado (*Pinus patula*) crecen *Amanita laurae*, *Chroogomphus ochraceus*, *Lactarius aff. deliciosus*, *L. paradoxus*, *Russula sanguinea*, *Suillus tomentosus*, *Suillus granulatus* y *Sistotrema confluens*.

La ectomicorriza en los bosques tropicales (selvas bajas caducifolias), es más escasa, sin embargo, se pueden encontrar algunas especies de *Coccoloba*, sapotáceas, leguminosas y escasos individuos de encino (*Quercus oleoides*) asociadas con *Boletellus ananas*, *Lactifluus nebulosus*, *Lactarius glaucescens*, *Leucopaxillus gracillimus*, *L. brasiliensis*, *Phaeoclavulina cyanocephala* y *Phylloboletellus chloephorus*.

Hongos parásitos

En cuanto a éstos se registran en el territorio tamaulipeco 170 especies (figura 1), principalmente hongos fitopatógenos, algunos parásitos de insectos, artrópodos y micoparásitos. Entre estas especies se encuentran *Apiocrea hialina*, *Beauveria bassiana*, *Cordyceps militaris* (figura 7a), *Corynelia oreophila*, *Elaphocordyceps capitata*, *Ganoderma resinaceum*, *Hypomyces lactifluorum*, *Kretzschmaria cetrarioides*, *K. deusta* (figura 7b), *Ophiocordyceps melolonthae*, *Tolypocladium ophioglossoides* y *Tremella lutescens* (figura 7c).

Hongos liquenizados

En cuanto al grupo de los líquenes, se reportaron para el estado 198 especies, las cuales se encuentran dominando con el phylum Ascomycota. La clase con mayor representación es Lecanoromycetes (166 especies); mientras que los géneros con mayor número de especies para las localidades de estudio son *Parmotrema* (26) y *Usnea* (22). Respecto a las vegetaciones en las que las especies de líquenes son más diversas, se encuentran el bosque mesófilo de montaña (125), seguido del matorral tamaulipeco, la selva baja caducifolia, el pastizal inducido y ambientes perturbados (23 especies cada uno).

Los ecosistemas con menos número de especies son el bosque de templado de *Quercus* (19), el bosque mixto de *Pinus-Quercus* (11) y por último el matorral xerófilo (10). Las especies más comunes en las zonas templadas son *Brigantie leucoxantha* (figura 8a), *Cladonia ceratophylla*, *C. didyma*, *Coccocarpia palmicola*, *Herpothallon rubrocinctum* (figura 8b), *Leptogium corticola*, *Parmotrema preperforatum* (figura 8c) y *Peltigera canina*.

Distribución

El inventario actual de los hongos en la entidad proviene de 50 localidades (cuadro 3), la mayor parte de éstas se ubican geográficamente en las inmediaciones de la Sierra Madre Oriental, sierra de Tamaulipas y de San Carlos, y algunas de la Llanura Costera del Golfo Norte y el Altiplano (figura 9).

La extensión territorial estatal se distingue por presentar una interesante diversidad de ecosistemas. De acuerdo con la diversidad de microbiota registrada en este estudio, destacan el bosque mesófilo de montaña (691 especies), el bosque templado de *Quercus* (355), el bosque de *Pinus-Quercus* (257), en el bosque tropical caducifolio (selva baja caducifolia, 246) y bosque tropical subcaducifolio (selva baja subcaducifolia, 235; cuadro 4).

Los hongos en el territorio tamaulipeco presentan afinidades de las regiones Neártica y Neotropical, por lo cual se reconoce que la mayor parte de las especies habitantes de matorrales espinosos, selvas caducifolias y subcaducifolias presentan una afinidad taxonómica con los de otras regiones del Neotrópico mexicano, Sudamérica, Antillas o la parte sur de Florida. Esto se refleja en hongos como: *Aseroe rubra*, *Cookeina tricholoma*, *Crinipellis eggertii*, *Filoboletus gracilis*, *Fomitopsis rosea*, *Gyrodon rompelii*, *Humphreya coffeata*, *Hydropus cilindrosporus*, *Hygrocybe minutula*, *H. atrosquamosa*, *H. prieta*, *Lactarius nebulosus*, *Lepiota erythrostickta*, *Leucocoprinus cepistipes*, *Leucopaxillus gracillimus*, *Macrocybe titans*, *Marasmiellus pilosus*, *Mutinus bambusinus*, *Neopaxillus dominicanus*, *Phallus indusiatus*, *Phillipsia domingensis*, *Phylloboletellus chloephorus*, *Phylloporia chrysa*, *Ramaria cyanocephala*, *Trametes máxima* y *Trogia cantharelloides* (Dennis 1970, Pegler 1983, Lodge y Pegler 1990, Lodge *et al.* 2002, Angelini y Medardi 2012).



Figura 7. Ejemplos de hongos parásitos en Tamaulipas: a) *Cordyceps militaris* creciendo de los restos de un insecto; b) *Kretzschmaria deusta* fitoparásito que se caracteriza por formar costras de apariencia quemada en la madera; c) *Tremella lutescens* fitopatógeno de apariencia gelatinosa que crece en ramas y troncos caídos. Fotos: Jesús García.



Figura 8. Líquenes comunes en las zonas templadas del estado: a) *Brigantia leucoxantha*; b) *Herpothallon rubrocinctum*; c) *Parmotrema perforatum*. Fotos: Jesús García.

Cuadro 3. Localidades de colecta.

Número	Localidad	Municipio	Latitud	Longitud
1	Rancho El Pueblito	Aldama	23.143314	-98.329188
2	Cerro El Yesquero		23.165024	-98.327927
3	Rancho El Lajeadero	Casas	23.559245	-98.518296
4	San Andrés		23.047390	-98.328288
5	1.5 km al SO de Gómez Farías		23.025099	-99.157584
6	Alta Cima		23.061207	-99.199540
7	Camino Julilo-Montecarlo		23.171742	-99.218810
8	Casa de Piedra		23.063167	-99.229551
9	Desviación a Casa de Piedra		23.059737	-99.222671
10	El Elefante		23.028853	-99.283779
11	El Julilo		23.141886	-99.212137
12	El Vivero, San José	Gómez Farías	23.039208	-99.229413
13	Joya de Manantiales		23.013898	-99.282259
14	La Alamillosa		23.055935	-99.211599
15	La Florida		22.992423	-99.143910
16	La Gloria		23.047322	-99.251286
17	Rancho El Cielo		23.099928	-99.194279
18	Valle de las Peras		23.039732	-99.267405
19	Valle del Ovni		23.056840	-99.229310
20	El Tigre		24.004591	-99.342380
21	La Esperanza	Güémez	23.964476	-99.329377
22	Conrado Castillo		23.960007	-99.478203
23	Joya de Galindo	Hidalgo	23.972905	-99.457831
24	La Ascensión	Jaumave	23.742373	-99.334203
25	Aserradero		23.690197	-99.749823
26	Camino Aserradero-Los Walle		23.645548	-99.846360
27	Camino Valle Hermoso-La Marcela		23.673203	-99.805756
28	Cerro El Nacimiento		23.632820	-99.762277
29	km 24 Puerto Álamos		23.677340	-99.728594
30	km 12 La Peña-Aserradero	Miquihuana	23.601436	-99.707456
31	km 18 La Joya Larga		23.650931	-99.711998
32	km 6 La Peña-Aserradero		23.585400	-99.709167
33	La Marcela		23.744605	-99.817226
34	Paso del Oso		23.677894	-99.822634
35	Valle Hermoso		23.647823	-99.757059
36	Colonia Santa María		22.900818	-99.490951
37	Las Enramadas	Ocampo	22.917947	-99.547240
38	Cerro del Diente	San Carlos	24.531963	-98.960639
39	Altas Cumbres		23.602201	-99.206377
40	Cañón del Novillo Las Piedrotas		23.695663	-99.211096
41	Cañón de la Peregrina		23.771745	-99.237742
42	Cañón del Novillo Los Postes		23.724113	-99.266117
43	Cañón del Novillo Quebradora		23.695069	-99.195824
44	El Madroño	Victoria	23.605417	-99.229470
45	Juan Capitán		23.643426	-99.107803
46	Lagunas de Pino Solo		23.632582	-99.245913
47	Las Mulas		23.622499	-99.240613
48	Puerto Arrazolo		23.534665	-99.208545
49	Rancho El Molino		23.767314	-99.324407
50	Santa Ana		23.857289	-99.250882

Fuente: elaboración propia.

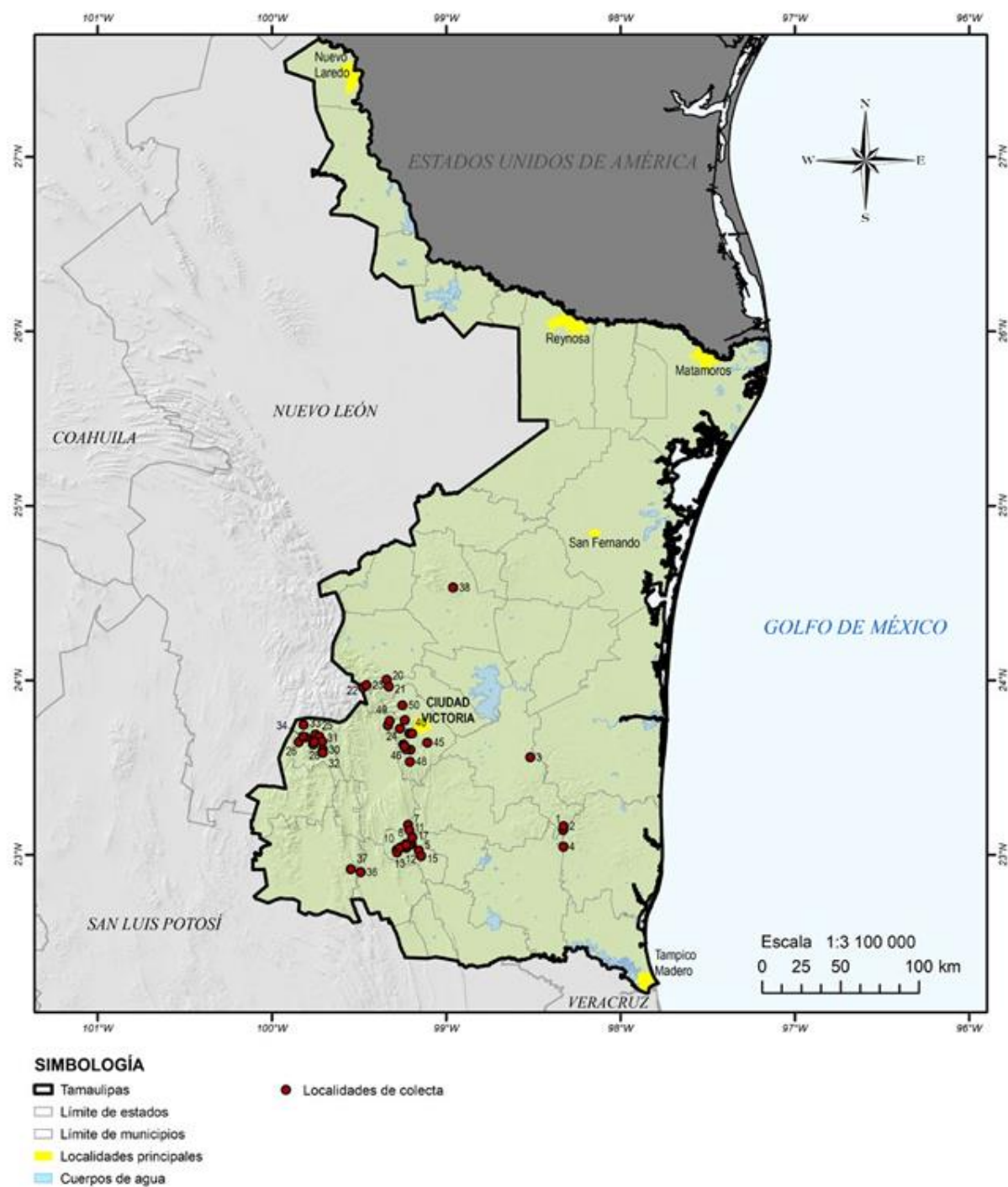


Figura 9. Sitios de colecta (cuadro 3). Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Diversidad por tipo de vegetación.

Vegetación	Especies
Bosque mesófilo de montaña	691
Bosque templado de <i>Quercus</i>	355
Bosque de <i>Pinus-Quercus</i>	257
Selva baja caducifolia	246
Selva baja subcaducifolia	235
Pastizal inducido y ambientes perturbados	145
Bosque tropical de <i>Quercus</i>	134
Bosque de <i>Pinus</i> y coníferas	126
Matorral tamaulipeco	113
Matorral xerófilo	30
Bosque de galería	30
Chaparral de <i>Quercus</i> , rosáceas y <i>Pinus nelsonii</i>	14
Bosque tropical de <i>Pinus</i>	13

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, muchas especies distribuidas en bosques templados de mediana elevación (p.e. bosque mesófilo de montaña y el bosque de *Quercus*), presentan afinidad con los hongos del este de Norteamérica (region Neártica), como *Amanita jacksonii*, *A. onusta*, *A. polypyramis*, *A. flavoconia*, *Boletus variipes*, *B. nobilis*, *Cantharellus minor*, *Hydnum umbilicatum*, *Gliophorus laetus*, *H. cantharellus*, *H. singeri*, *H. miniata*, *H. conica*, *Entoloma murrayi*, *Lactifluus hygrophoroides*, *L. volemus*, *Lactarius indigo*, *L. subpalustris*, *L. piperatus*, *Leccinum longicurvipes*, *Leccinellum quercophilum*, *Megacollybia platyphylla*, *Russula parvovirescens*, *R. mariae*, *R. foetens*, *R. flavida*, *Sarcodon imbricatus*, *Tylopilus plumbeoviolaceus*, *T. rubrobrunneus* y *Xanthoconium affine* (Bessette et al. 1997, 2000).

Especies asociadas a los bosques de pinos y de otras coníferas situados en elevaciones cercanas a 2 000 y hasta 3 200 msnm o más en la región, corresponden a hongos que usualmente se distribuyen en la zona suroeste o noroeste de Norteamérica. Es el caso de *Boletus barrowsii*, *Chalciporus pseudorubinellus*, *Clavariadelphus truncatus*, *Gomphidius subroseus*, *G. smithii*, *Rhizopogon vinicolor*, *Spathularia flavida*, *Suillus lakei*, *Tricholoma aurantium* y *T. terreum* (Trappe 1962).

Cabe señalar que algunos hongos de estos bosques pertenecen a especies endémicas de esta región o es-

tán distribuidas solamente en otras áreas al sur de México o en Centroamérica, como en el caso de *Amanita arocheae*, *Austroboletus neotropicalis*, *Boletus paulae* (figura 10a), *B. singeri*, *Lactifluus fuscomarginatus*, *Phlebopus mexicanus*, *Porphyrellus zaragozae* y *Tylopilus subcellulosus* (figura 10b; García 2013).

Importancia

Alimenticia

En Tamaulipas no existe una tradición sobre el uso de los hongos silvestres como fuente de alimento, pero existen especies como *Amanita lauriae*, *A. jacksonii*, *Boletellus rompelii*, *Boletus variipes*, *Cantharellus* spp., *Hypomyces lactifluorum*, *Lactarius indigo* y *Lepista nuda* que se consumen por algunas personas que visitan las zonas boscosas, particularmente en la Reserva de la Biosfera El Cielo y la Zona Especial Sujeta a Conservación Ecológica Altas Cumbres. Asimismo, solamente se tienen algunos proyectos referentes a la producción de hongos comestibles como el shiitake o *Lentinula edodes* en las zonas serranas del estado (Guevara y García 2005).

Reforestación y control biológico

Por otra parte, aunque existe una gran cantidad de especies de hongos ectomicorrizógenos que podrían utilizarse en trabajos de reforestación, no han sido aplicados aún en la región. En algunas zonas del estado se desarrollan estudios aplicados al control biológico de plagas en diversos cultivos mediante el uso de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* (Barrientos-Lozano et al. 2005, Williams et al. 2013).

Cultural

Migrantes de otros estados del país (p.e. Hidalgo y Tlaxcala) para trabajar en actividades en la industria maderera en zonas de las sierras de la entidad durante las décadas de los cuarenta a sesenta, trajeron consigo y difundieron la tradición del consumo de algunas especies de hongos, mismos que ellos conocían de sus lugares de origen, como en el caso de *Lactarius indigo* y *Cantharellus* spp.



Figura 10. Hongos endémicos a la región: a) *Boletus paulae* (Tamaulipas y Nuevo León); b) pancita rosa (*Tylopilus subcellulosus*, Tamaulipas y Veracruz). Fotos: Jesús García.

Por otra parte, los estudios micológicos en las últimas décadas permitieron reconocer otras especies comestibles para el humano como *Armillaria polymyces*, *Boletinus rompelii*, *Boletus paulae*, *B. variipes*, *Hypomyces lactifluorum*, *Lepista nuda*, *Xerocomus illudens*, entre otros (Moreno-Fuentes y Garibay-Orijel 2014).

Situación y estado de conservación

Como consecuencia de la estrecha relación entre los hongos y las plantas existentes en los diferentes ecosistemas, la subsistencia del recurso fúngico está directamente relacionado a la conservación de los diferentes ecosistemas forestales. En este sentido, los ecosistemas forestales se encuentran gravemente amenazados por el cambio de uso del suelo encaminado hacia actividades agrícolas, pecuarias, minería, industria, asentamientos humanos, obras civiles y otras (Cibrián-Tovar y Cibrián-Tovar, 2007).

Existen áreas con mayor afectación por las actividades antropogénicas, en particular aquellos ecosistemas que son físicamente más accesibles, como los situados en planicies, lomeríos o partes bajas de la sierra. Por tal razón, los bosques templados ubicados principalmente en la zonas medias y altas de las sierras en general mantienen un estado aceptable de conservación. A excepción del impacto de algunos pocos sitios en donde se lleva o se ha llevado a cabo la explotación de madera, aun cuando esta se realiza actualmente bajo el concepto de manejo forestal sustentable, así como zonas afectadas por el fuego que anualmente deterioran los ecosistemas y la su biota asociada (Cibrián-Tovar y Cibrián-Tovar 2007).

Las zonas bajas y planicies del estado debido a su fácil acceso fueron o siguen siendo constantemente intervenidas por acciones antropogénicas, lo que se manifiesta en un deterioro notable, como el matorral xerófilo y tamaulipeco, las selvas bajas y el encinar tropical. Por ello, es importante incrementar los estudios micológicos tanto en áreas conservadas como en las alteradas ecológicamente, para poder reconocer el impacto que tienen estas afectaciones forestales sobre la conservación de la biota micológica en la región.

En el territorio estatal se tienen áreas naturales protegidas, en las cuales el régimen de uso de los recursos forestales se regula por la Ley General del Equilibrio Eco-

lógico y la Protección al Ambiente y bajo programas de manejo. Entre estas destacan la Reserva de la Biosfera el Cielo, Reserva de la Biosfera Sierra de Tamaulipas y el Zona Especial Sujeta a Conservación Ecológica Altas Cumbres, de cuyas localidades procede la mayor parte de los hongos registrados en la región (García-Jiménez y Guevara-Guerrero 2005, García-Jiménez y Valenzuela 2005, García 2013, García *et al.* 2014) e inventariados en este estudio. De tal forma que, se puede afirmar que la mayor parte del recurso micológico del estado se encuentra en un aceptable estado de conservación.

De las especies citadas en la NOM-059 (SEMARNAT 2010), solo cinco están presentes en Tamaulipas: como amenazadas (A) *Agaricus augustus*, *Amanita muscaria*, *Hygrophorus russula*, *Psilocybe yungensis*, y sujetas a protección especial (Pr) *Cantharellus cibarius*, representando estas 0.38% de las 1 303 especies conocidas para el estado (apéndice 5). Por otra parte, se requiere desarrollar proyectos de reforestación y restauración ecológica de las áreas afectadas por influencia antropogénica o factores naturales (p.e. incendios forestales, huracanes, sequías, entre otros), con el fin de recuperar la biota de esos ambientes alterados.

Conclusiones y recomendaciones

Se sugiere la designación de nuevas áreas naturales protegidas, con el fin de preservar los ecosistemas e incluyendo su micobiota (Aguirre-Acosta *et al.* 2014). Asimismo, es recomendable llevar a cabo el aprovechamiento sustentable de la micobiota para beneficio de las comunidades rurales (Moreno-Fuentes y Garibay-Orijel 2014). Una forma de desarrollar la conservación y la economía de los habitantes de las zonas forestales es aplicar los conocimientos micológicos a través del turismo ecológico, particularmente enfocado a los macrohongos del estado, como es el caso en comunidades tlahuicas-pjiekakjoo, donde este tipo de prácticas ofrecen una propuesta de conservación forestal y desarrollo rural (Pérez-Moreno *et al.* 2021).

Es importante desarrollar actividades de difusión del conocimiento sobre las especies comestibles y tóxicas de la zona, así como desarrollar el uso sustentable de la micobiota como parte de un proceso biocultural, que conjunte la actividad científica con el uso de los recursos naturales en la región (Moreno-Fuentes y Garibay-Orijel 2014).

Referencias

- Adl, S.M., A.G.B. Simpson, C.E. Lane *et al.* 2012. The revised classification of eukaryotes. *The Journal of Eukaryotic Microbiology* 59(5):429-493.
- Aguirre-Acosta, E., M. Ulloa, S. Aguilar *et al.* 2014. Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:76-81.
- Angelini, C. y G. Medardi. 2012. Tropical fungi: twelve species of lignicolous Ascomycota from the Dominican Republic. *Mycosphere* 3(5):567-601.
- Barrientos-Lozano, L., D.M. Hunter, J. Ávila-Valdez *et al.* 2005. Control biológico de la langosta centroamericana *Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker (Orthoptera: Acrididae) en el Noreste de México. *Vedalia* 12(2):119-128.
- Bessette, A.E., A.R. Bessette y D.W. Fischer. 1997. *Mushrooms of Northeastern North America*. Syracuse University Press, EUA.
- Bessette, A.E., E.C. Roody y A.R. Bessette. 2000. *North American Boletes*. Syracuse University Press, EUA.
- Blackwell, M. 2011. The Fungi: 1,2,3... 5.1 million species? *American Journal of Botany* 98(3):426-438.
- Brown, M.W., F.W. Spiegel y J.D. 2009. Silberman. Phylogeny of the "forgotten" cellular slime mold, *Fonticula alba*, reveals a key evolutionary branch within Opisthokonta. *Molecular Biology and Evolution* 26(12):2699-2709.
- Brundrett, M.C. y L. Tedersoo. 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist* 220(4):1105-1115.
- Carris, L.M., C.R. Little y C.M. Stiles. 2012. *Introduction to Fungi. The plant health instructor*. American Phytopathology Society, EUA.
- Cibrián-Tovar, D. y J. Cibrián-Tovar. 2007. Escenarios forestales y enfermedades. En: *Enfermedades forestales en México*. D. Cibrián-Tovar, D. Alvarado-Rosales y S.E. García-Díaz (eds.). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco.
- Cifuentes, J. 2008. Hongos. Catálogo taxonómico de especies de México. En: *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México.
- Cornelissen, J.H., S.I. Lang, N.A. Soudzilovskaia y H.J. During. 2007. Comparative cryptogam ecology: a review of bryophyte and lichen traits that drive biogeochemistry. *Annals of Botany* 99(5):987-1001.
- Crittenden, P.D. 1999. Aspects of the ecology of mat-forming lichens. *Rangifer* 20(2-3):127-139.
- Cullen, D. y P.J. Kersten. 2004. Enzymology and molecular biology of lignin degradation. En: *The Mycota III. Biochemistry and molecular biology*. Springer-Verlag, Berlín, pp. 249-273.
- De Silva, N.I., S. Lumyong, K.D. Hyde *et al.* 2016. Mycosphere essays 9: defining biotrophs and hemibiotrophs. *Mycosphere* 7(5):545-559.
- Dennis, R.W.G. 1970. Fungus flora of Venezuela and adjacent countries. *Kew Bulletin Additional Series* 3:531.
- Díaz-Franco, A. y N. Montes-García. 2008. La fitopatología en la región semiárida de Tamaulipas, México: reseña histórica. *Revista Mexicana de Fitopatología* 26(1):62-70.
- Diz Mellado, O.M. 2020. Técnicas de biología molecular en el diagnóstico de enfermedades infecciosas. *NPunto* 3(30):88-111.
- García, J. 1993. Una lista preliminar de los hongos del suborden Boletineae (Basidiomycetes, Agaricales) en el noreste de México. *Reporte Científico Especial* 13:116-131.
- . 2013. *Diversidad de macromicetos en el estado de Tamaulipas, México*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Forestales-UANL, México.
- García, J., R. Valenzuela, T. Raymundo *et al.* 2014. Macrohongos asociados a encinares (*Quercus* spp.) en algunas localidades del estado de Tamaulipas, México. En: *Biodiversidad tamaulipeca*. Vol. 2. A. Correa-Sandoval, J.V. Horta-Vega, J. García Jiménez y L. Barrientos-Lozano (eds.). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, pp. 103-140.
- García-Jiménez, J. y G. Guevara-Guerrero. 2005. Macromicetos (hongos superiores) de Tamaulipas. En: *Biodiversidad tamaulipeca*. Vol. 1. L. Barrientos-Lozano, A. Correa-Sandoval, J.V. Horta-Vega y J. García Jiménez (eds.). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, pp. 67-79.
- García-Jiménez, J. y R. Valenzuela. 2005. Hongos macromicetos. En: *Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México*. G. Sánchez-Ramos, P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (eds.). UAT, Hong Kong, pp. 321-337.
- Guevara, G. y J. García. 2005. Hongos comestibles de Tamaulipas. En: *Biodiversidad tamaulipeca*. Vol. 1. L. Barrientos-Lozano, A. Correa-Sandoval, J.V. Horta-Vega y J. García Jiménez (eds.). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Ciudad Victoria, pp. 67-79.
- Guevara, G., J. García, J. Castillo y O.K. Miller. 1987. New records of *Lactarius* in Mexico. *Mycotaxon* 30:150-176.
- Guzmán, G. 1998a. Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México (ensayo sobre el inventario fúngico del país). En: *La diversidad biológica de Iberoamérica II*. G. Halffter (ed.). *Acta Zoológica Mexicana nueva serie volumen especial*:111-175.

- . 1998b. Inventorying the Fungi of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 7:369-384.
- Hawksworth, D.L. 1988. The variety of fungal-algal symbioses, their evolutionary significance and the nature of lichens. *Botanical Journal of the Linnean Society* 96(1):3-20.
- . 2001. The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 105(12):1422-1432.
- Hawksworth, D.L. y R. Lücking. 2017. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum* 5(4):1-17.
- Heredía, G. 1989. Estudio de los hongos de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas. Consideraciones sobre la distribución y ecología de algunas especies. *Acta Botanica Mexicana* 7:1-18.
- . 2005. Hyphomycetes saprobios asociados a hojarasca del bosque mesófilo. En: *Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México*. G. Sánchez-Ramos, P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (eds.). UAT, Hong Kong, pp. 312-317.
- Hernández-X., E., E.H. Crum, W.B. Fox y A.J. Sharp. 1951. A unique vegetation area in Tamaulipas. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 78(6):458-463.
- Herrera-Campos, M.A., R. Lücking, R.E. Pérez-Pérez et al. 2014. Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:S82-S99.
- Hyde, K.D. y K. Soytong. 2008. The fungal endophyte dilemma. *Fungal Diversity* 33:163-173.
- Lawrey, J.D. y P. Diederich. 2003. Lichenicolous Fungi: interactions, evolution and biodiversity. *The Bryologist* 106(1):80-120.
- Lodge, D.J. y D.N. Pegler. 1990. Hygrophoraceae of the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Mycological Research* 94(4):443-456.
- Lodge, D.J., T.J. Baroni y S.A. Cantrell. 2002. Basidiomycetes of the Greater Antilles Project. En: *Tropical mycology: macrofungi*. Vol. 1. R. Watling, J.C. Frankland, A.M. Ainsworth et al. (eds.). CABI, Reino Unido, pp. 45-60.
- Lücking, R., B.P. Hodkinson y S.D. Leavitt. 2016. The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota – Approaching one thousand genera. *The Bryologist* 119(4):361-416.
- Malloch, D.W. 1987. The evolution of mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Pathology* 9:398-402.
- Malloch, D.W., K.A. Pirozynski y P. Raven. 1980. Ecological and evolutionary significance of mycorrhizal symbioses in vascular plants (a review). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 77(4):2113-2118.
- Moore, D., G.D. Robson y A.P.J. Trinci. 2011. *21st Century Guidebook to Fungi*. Cambridge University Press, Reino Unido.
- Moreno-Fuentes, Á. y R. Garibay-Orijel. 2014. La etnomicología en México: una introducción al estado del arte. En: *La etnomicología en México. Estado del arte*. Á. Moreno-Fuentes y R. Garibay-Orijel (eds.). Instituto de Biología-UNAM/ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Sociedad Mexicana de Micología/Asociación Etnobiológica Mexicana/ Grupo Interdisciplinario para el Desarrollo de la Etnomicología en México/Sociedad Latinoamericana de Etnobiología, México, pp. 3-14.
- Mueller, G.M. y J.P. Schmith. 2007. Fungal biodiversity: What do we know? What can we predict? *Biodiversity and Conservation* 16:1-5.
- Mueller, G.M., J.P. Schmit, P.R. Leacock et al. 2007. Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity and Conservation* 16:37-48.
- Naranjo-Ortiz, M.A. y T. Gabaldón. 2019. Fungal evolution: diversity, taxonomy and phylogeny of the Fungi. *Biological Review* 94(6):2101-2137.
- O'Brien, H.E., J.L. Parrent, J.A. Jackson et al. 2005. Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology Journal* 71(9):5544-5550.
- Pegler, D.N. 1983. Agaric flora of the Lesser Antilles. *Kew Bulletin Additional Series* 9:1-668.
- Pérez-Moreno, J., M. Martínez-Reyes, F. Hernández-Santiago et al. 2021. Mico turismo: innovación útil para la conservación forestal y desarrollo rural. *Agro-Divulgación* 1(1):9-11.
- Porada, P., B. Weber, W. Elbert et al. 2014. Estimating impacts of lichens and bryophytes on global biogeochemical cycles. *Global Biogeochemical Cycles* 28(2):71-85.
- Samarakoon, M.C., K.D. Hyde, I. Promputtha et al. 2016. Divergence and ranking of taxa across the kingdoms Animalia, Fungi and Plantae. *Mycosphere* 7(11):1678-1689.
- San Martín, F. y J.D. Rogers. 1989. A Preliminary account of *Xylaria* of México. *Mycotaxon* 34(2):283-373.
- . 2005. Distribución y hospederos de Xylariaceae, Hymenoascomyces. En: *Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México*. G. Sánchez-Ramos, P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (eds.). UAT, Hong Kong, pp. 292-311.
- Sánchez-Peña, S.R. 2005. Los hongos entomopatógenos. En: *Historia natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México*. G. Sánchez-Ramos, P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (eds.). UAT, Hong Kong, pp. 318-320.

- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Publicada el 30 de diciembre de 2010 en el Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 14 de noviembre de 2019.
- Singer, R., J. García y L.D. Gómez. 1990. The Boletineae of México and Central América I-II. *Nova Hedwigia Beihefte* 98:1-78.
- . 1991. The Boletineae of México and Central América III. *Nova Hedwigia Beihefte* 102:1-99.
- . 1992. The Boletineae of México and Central América IV. *Nova Hedwigia Beihefte* 105:1-62.
- Sun, J.Z., X.Z. Liu, E.H.C. McKenzie et al. 2019. Fungicolous fungi: terminology, diversity, distribution, evolution, and species checklist. *Fungal Diversity* 95(1):337-430.
- Tedersoo, L., S. Sánchez-Ramírez, U. Ko et al. 2018. High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity* 90(1):135-159.
- Trappe, J.M. 1962. Fungus Associates of ectotrophic mycorrhizae. *Botanical Review* 28(4):538-606.
- Wegener, P.L., D.J.G. Lahr, A.H. Knoll y L. Katz. 2011. Estimating the timing of early eukaryotic diversification with multi-gene molecular clocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(33):13624-13629.
- Whittaker, R.H. 1969. New concepts of kingdoms of organisms. *Science* 163(3863):150-163.
- Williams, T., H.C. Arredondo-Bernal y L.A. Rodríguez-del-Bosque. 2013. Biological pest control in Mexico. *Annual Review of Entomology* 58:119-40.
- Willis, K.J. 2018. *State of the world's Fungi 2018*. Royal Botanic Gardens, Kew, Reino Unido.
- Wu, B., M. Hussain, W. Zhang et al. 2019. Current insights into fungal species diversity and perspective on naming the environmental DNA sequences of fungi. *Mycology* 10(3):127-140.