



Bosque Mesófilo de montaña
en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

Del suelo al sotobosque, casos de estudio.

Compiladora
Rocío Vega Frutis

**BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN
CUMBRES DE HUICICILA, NAYARIT
del suelo al sotobosque, casos de estudio.**

BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN CUMBRES DE HUICICILA, NAYARIT del suelo al sotobosque, casos de estudio.

COMPILADORA
ROCÍO VEGA-FRUTIS



Universidad
Autónoma
de Nayarit



Editorial
UAN

Programa Académico de Biología, Unidad Académica de Agricultura,

Universidad Autónoma de Nayarit

Universidad Autónoma de Nayarit

Dra. Norma Liliana Galván Meza
Rectora
Mtra. Margarete Moeller Porraz
Secretaria General
Mtro. Hugo Fabio Pérez Ocampo
Director de Fomento Editorial y Artes Gráficas

Bosque mesófilo de montaña en cumbres de Huicicila, Nayarit del suelo al sotobosque, casos de estudio.

Compiladora
Rocío Vega-Frutis

Cuidado de la edición: Hugo César Delgado Ayala
Diseño editorial: Carolina Luna Peña

Primera edición 2023

Derechos reservados a la ley
©Universidad Autónoma de Nayarit
Ciudad de la Cultura SN, Col. Centro,
Tepic, Nayarit, CP. 63000. Edificio Complex 3.11
Tel: 2118800, ext. 8718, www.uan.edu.mx

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin previa autorización escrita por el autor.
Esta obra ha sido dictaminada favorablemente por pares académicos mediante un sistema doble ciego.

Proyecto realizado con recursos provenientes del Impuesto Especial destinado a la UAN 2018.

ISBN digital: 978-607-8863-25-9

Hecho e impreso en México.

Al Dr. Fernando Puebla Olivares †

Agradecimientos

Al comisario ejidal, Sr. Antonio Cuevas, de Cumbres de Huicicila por las facilidades otorgadas para realizar la colecta del material biológico. A los biólogos Jorge Lauriano-Barajas y Andres Prieto Pineda por su ayuda durante el trabajo de campo.

Al Dr. Roger Guevara del Instituto de Ecología A.C. (INECOL) por su apoyo para realizar la extracción y conteo de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares, en el Laboratorio de Ecología de Interacciones durante la estancia de investigación (2017) de la Dra. Rocío Vega-Frutis (Programa para el Desarrollo Profesional Docente, PRODEP 2015). A los técnicos académicos de su laboratorio: Martín De Los Santos Bailón e Ismael Guzmán Valdivieso, así como los estudiantes de verano de investigación a cargo del Dr. Roger Guevara por su ayuda durante la extracción y conteo de esporas de hongos.

Al Dr. Roger Guevara por su ayuda en la elaboración de mapas y la revisión del documento.

La investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, No. de proyecto 257345 otorgado a RV-F), y la Dirección General de Vida Silvestre autorizó la licencia de colecta científica (No. de licencia SGPA/DGVS/05705/16). La impresión del libro fue financiada por el impuesto especial del 12% destinado a la Universidad Autónoma de Nayarit, a través de la convocatoria “Impulso al Desarrollo y Conclusión de Proyectos de Investigación con Financiamiento Externo”.

Autores

Aguilar-Chama Ana

Investigadora independiente, Xalapa, Veracruz
ana.2676@gmail.com

Figueroa-Esquivel Elsa M.

Programa Académico de Biología, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit
Cuerpo Académico “Biodiversidad del Occidente de México”
elsa.figueroa@uan.edu.mx

Guerrero Esteban

Estudiante de Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Querétaro
estebanguerrermtz@gmail.com

Hanan-Alipi Ana M.

Programa Académico de Biología, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit
Cuerpo Académico “Biodiversidad del Occidente de México”
hananalipi@uan.edu.mx

Soriano-Fong Josué Alfonso

Encargado del Departamento de Biodiversidad de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Nayarit
josue.s.fong@gmail.com

Vega-Frutis Rocío

Programa Académico de Biología, Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit
Cuerpo Académico “Biodiversidad del Occidente de México”
rocio.vega@uan.edu.mx

I INTRODUCCIÓN

Rocío Vega-Frutis y Ana Aguilar-Chama

UN VISTAZO A LA BIODIVERSIDAD DE MÉXICO

México concentra alrededor del 70% de la biodiversidad mundial. Considerando a los grupos de anfibios, mamíferos y las plantas vasculares, se encuentra en los primeros cinco lugares con respecto a otros países megadiversos (CONABIO, 2006; Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). Por otro lado, en nuestro país se encuentran una gran diversidad de ecosistemas como selvas, desiertos y pastizales.

La increíble diversidad biológica y ecosistémica se puede asociar a la confluencia de dos grandes regiones biogeográficas: la Neártica y la Neotropical (Morrone, 2019), lo que ha permitido la mezcla de algunos elementos de las biotas provenientes del norte y del sur. Esta mezcla de los elementos bióticos de diferentes regiones se conjuga con la complejidad topográfica que incluye varias sierras a lo largo y ancho del país (Morrone, 2019). Además, México se localiza entre dos grandes océanos, el Atlántico y el Pacífico (CONABIO, 2008) que brindan altos contenidos de humedad a las laderas altas a barlovento, mientras que donde existen los grandes volcanes y montañas se da el fenómeno de la sombra orográfica que genera zonas áridas a sotavento, estas características abióticas contribuyen a la diversidad biológica en áreas relativamente cercanas (Figura I.1).

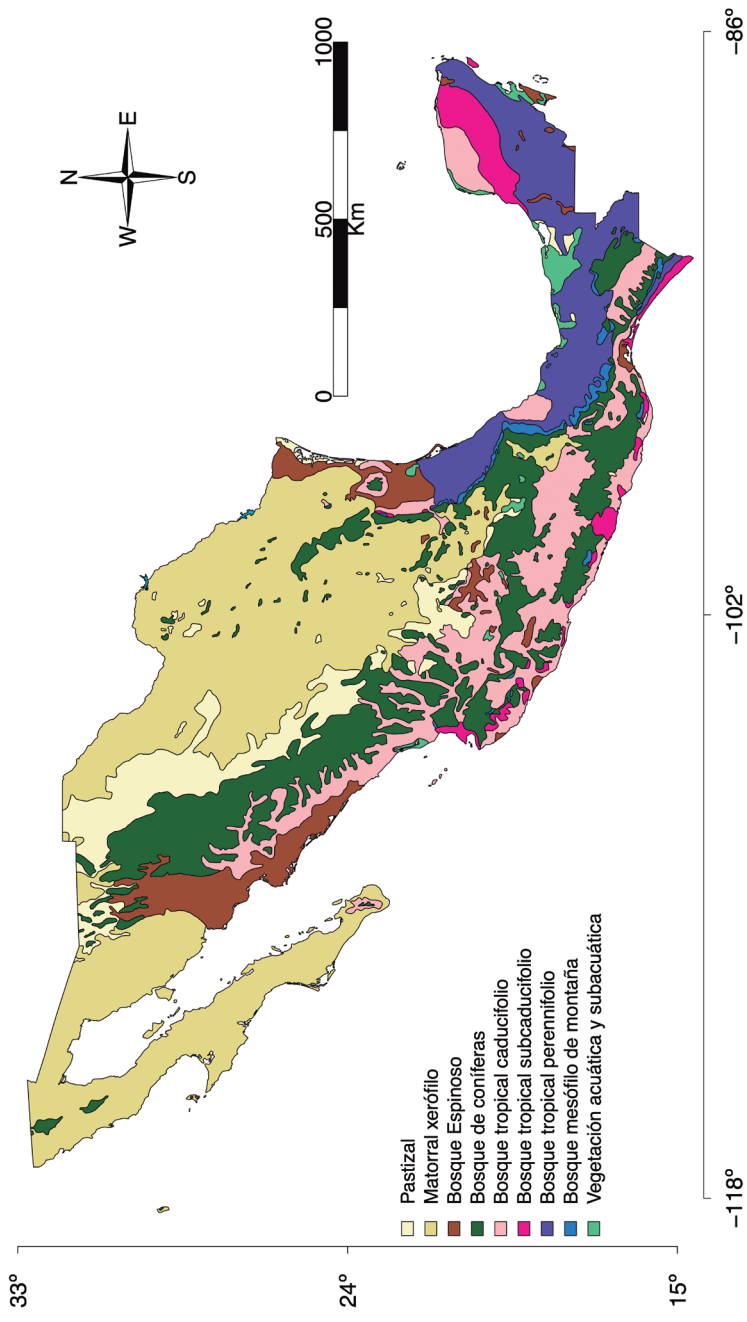


Figura I.1. Tipos de vegetación de México de acuerdo a Rzedowski (2006). Para la elaboración del mapa se usaron los shapefiles (.shp) del Sistema Nacional de Información de la CONABIO. Mapa elaborado por Roger Guevara.

Una gran diversidad biológica siempre conlleva un enorme compromiso para preservarla. En este sentido, México ha quedado rezagado en su responsabilidad para proteger los recursos naturales y la biodiversidad, desde genes hasta ecosistemas. En sentido amplio, la biodiversidad está representada por el número, abundancia, composición, distribución e interacciones de los genotipos, especies, grupos funcionales, poblaciones, comunidades y ecosistemas (CONABIO, 2006). De forma general el cambio ambiental global, el cambio de uso de suelo, la contaminación, la sobreexplotación de los recursos, las extinciones y las invasiones biológicas son las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad (Luna *et al.*, 2011; Ponce-Reyes *et al.*, 2012; Molina *et al.*, 2017). De estas amenazas destaca el cambio de uso de suelo para la agricultura, expansión urbana, deforestación y actividades industriales. Esta transformación se da, en general, bajo los ejes rectores del desarrollo social y la búsqueda de bienestar, con lo que se ha justificado la transformación de ambientes naturales en zonas para la agricultura, ganadería, acuicultura, urbanización y explotación minera. Los diferentes componentes del cambio ambiental global han resultado en una pérdida de genes, especies y sus interacciones bióticas, afectando comunidades enteras (Luna *et al.*, 2011), que son reserva de diversidad biológica en la que se conjunta la historia evolutiva y los cambios ecológicos que dieron forma y funcionamiento a las distintas poblaciones de organismos en el planeta.

Durante los últimos años, los estudios sobre biodiversidad (incluyendo microorganismos) han adquirido gran relevancia porque buscan entender cómo la riqueza y composición de especies, los grupos funcionales (entendido como un conjunto de especies con un papel ecológico similar) y el ensamble de especies, generan procesos ecológicos (Clarke *et al.*, 2017). Estos últimos son producto de la interacción de los organismos entre sí y con su medio ambiente, y son importantes generadores del bienestar humano (e.g., agua dulce, alimentos, regulación de polinizadores, control de erosión, reciclaje de nutrientes, formación de suelo) y por ende dependemos de ellos (CONABIO, 2006).

Dentro de la gran diversidad de ecosistemas que se encuentran en el territorio mexicano, los bosques mesófilos de montaña destacan por su importancia en el aporte de agua (en cantidad y calidad), así como el

mantenimiento de los patrones naturales de flujo de los ríos y arroyos que nacen de ellos (Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014), además albergan la mayor diversidad de plantas y animales por unidad de área comparado con otros ecosistemas del país, y son el segundo ecosistema en número de endemismos de vertebrados en Mesoamérica (Ponce-Reyes *et al.*, 2012). Sin embargo, son uno de los ecosistemas más vulnerables y se encuentran en condición de riesgo para su supervivencia (Ponce-Reyes *et al.*, 2012; Gual-Díaz y González-Medrano, 2014).

EL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA

El bosque mesófilo de montaña (BMM), también conocido como bosque húmedo de montaña, bosque de niebla, selva nublada o bosque lluvioso (Gual-Díaz y González-Medrano, 2014), ocupa una superficie aproximada de 381,000 km² a nivel mundial, y alrededor del 25% corresponde al continente americano. El BMM se caracteriza por tener comunidades vegetales que se desarrollan en zonas montañosas, en altitudes que van desde los 400 hasta los 2,700 m.s.n.m. (Gual-Díaz y González-Medrano, 2014), a barlovento en los macizos montañosos, donde se condensa la humedad que arrastra el aire, proveniente de los océanos, en forma de nubes o neblina. Este tipo de comunidad vegetal es común en barrancas y laderas muy húmedas y sombreadas. Son comunidades que se distinguen por la exuberancia de epífitas (plantas que habitan sobre otras plantas), musgos, helechos, bromelias y orquídeas. Son característicos de estas comunidades los helechos arborescentes. Las formas de vida que se encuentran en estas comunidades son igualmente variadas, desde árboles (que son los dominantes) a herbáceas, arbustos, plantas trepadoras, epífitas y lianas (Challenger y Soberón, 2008; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014).

Los BMM contienen una gran diversidad de especies. Se ha estimado que albergan aproximadamente el 27% de la riqueza de plantas vasculares del país, y el 2% de la riqueza florística mundial (Villaseñor y Gual-Díaz, 2014), con varias especies endémicas (aproximadamente 40% de plantas con flores). De los

anfibios, reptiles, aves y mamíferos reportados para México aproximadamente el 48%, 30%, 28% y 53%, respectivamente, se encuentran en los bosques mesófilos de montaña (González-Ruiz *et al.*, 2014; Gual-Díaz y Mayer-Goynechea, 2014; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014; Mayer-Goynechea y Gual-Díaz, 2014). Aunque los BMM ocupan aproximadamente el 1% de la superficie del país, albergan una gran diversidad biológica que es un orden de magnitud por encima de lo que se podría predecir por el área que ocupan estos bosques.

Aunado a la gran diversidad biológica que presentan los BMM, estos tienen un papel importante en la captura de agua (calidad y cantidad) ya que, pese a no tener una pluviosidad elevada (las medias anuales de precipitación oscilan entre 1000 y 3000 mm), las frecuentes neblinas, la alta humedad atmosférica y la disminución de la luminosidad incrementan la humedad. Así, los BMM son importantes al mantener los patrones naturales de flujo de arroyos y ríos que nacen en ellos.

El BMM se puede encontrar en diferentes estados de conservación en 13 regiones del país: I) Sierra Madre Oriental, II) Serranías de Nayarit, III) Huasteca Alta Hidalguense, IV) Sierra Madre del Sur y Franja Neovolcánica de Jalisco, V) Centro de Veracruz, VI) Cuenca Alta del Balsas, VII) Los Tuxtlas, VIII) Sierra Sur de Michoacán, IX) Sierra Norte de Oaxaca, X) Cordillera Costera del Sur, XI) Sierras del Sur de Chiapas, XII) Montañas del Norte y Altos de Chiapas, y XIII) Cañadas de Ocosingo. La región IV representa un BMM mucho más conservado y poco estudiado (CONABIO, 2010).

A pesar de que los BMM constituyen el tipo de ecosistema con mayor biodiversidad por su proporción de especies por unidad de área y su capacidad de provisión de recursos hídricos, también es el tipo de ecosistema terrestre más amenazado a nivel nacional. Varios estudios han mostrado que al menos 60% de las especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña enfrentan algún grado de amenaza (González-Espinosa *et al.*, 2011), debido a cambios de uso de suelo, especialmente para cultivar café, y los efectos del cambio ambiental global (Ponce-Reyes *et al.*, 2012; Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014).

LOS BOSQUES MESÓFILOS DE MONTAÑA EN NAYARIT

Para el estado de Nayarit, la región Serranías de Nayarit corresponde a los BMM con la distribución más septentrional en México, junto con tres registros de distribución extrema al norte del país: Durango, Sinaloa, Tamaulipas, por lo que su valor en cuanto a distribución relictual es sobresaliente en relación con el resto del país.

La región Serranías de Nayarit está dividida en cuatro subregiones (CONABIO, 2010) y, con la información disponible sobre las especies (riqueza y abundancia, principalmente, de plantas y animales), la CONABIO ha indicado la prioridad en acciones de conservación que se requieren para cada una de ellas: 1) Sierra Las Ventanas (prioridad media), 2) Mesófilos de Huajicori, Nayar y Sierra San Pedro (prioridad alta), 3) Sierra de San Juan (prioridad crítica) y 4) Sierra Vallejo (prioridad media). De estas regiones, la Sierra de San Juan es una Reserva de la Biósfera Estatal, sin embargo, se encuentra bajo una fuerte presión sobre su medio ambiente y recursos naturales como resultado de la frontera agrícola y ganadera, la introducción de especies exóticas, el tráfico ilegal, la expansión de la mancha urbana, la extracción de materiales para la construcción, la contaminación del suelo, entre otras (González, 2010).

En general, pocos estudios biológicos se han realizado en los bosques mesófilos de montaña de Nayarit, en comparación con otros bosques mesófilos del país, probablemente por el acceso limitado a los sitios en una extensión reducida. Aunque la riqueza de especies es menor, los endemismos son elementos de gran relevancia en Nayarit. Por ejemplo, entre las especies arbóreas de distribución restringida están *Magnolia pacifica* subsp. *pacifica* (magnolia) y *Quercus planipocula* (encino), además de las herbáceas *Aeschynomene unijuga* y *Lopezia lopezioides*, y el helecho *Polypodium sanctaerosae*. Entre las principales amenazas a la permanencia de estos bosques de la región está la ganadería, la tala ilegal y la agricultura, incluyendo cultivos ilícitos (CONABIO, 2010).

De las cuatro subregiones, la Sierra de San Juan es el área en la que se ha concentrado la investigación biológica y social, debido a que se encuentra dentro de la Reserva de la Biósfera Estatal “Sierra de San Juan” (RBESdeSJ) que comprende los municipios de Tepic, Xalisco y San Blas. Esta área cuenta con una superficie de 20,053 hectáreas y un intervalo altitudinal de 980 a 2,240 m.s.n.m. La Reserva abarca seis tipos de ecosistemas: bosque mesófilo de montaña, bosque de encino, bosque de pino, bosque tropical subcaducifolio, bosque mixto de pino-encino y matorral secundario.

Fuera de la RBESdeSJ, en la sierra adjunta “Cumbres de Huicicila” existen también manchones de BMM (CEMIC, 2003; CONABIO, 2010; González, 2010). Esta subregión soporta una fuerte presión, debido al crecimiento urbano de las ciudades de Xalisco y Compostela. Además, ha aumentado la extensión de los cultivos de aguacate, platanos y café reduciendo la superficie del ecosistema, así como los beneficios que proporcionan. Esta subregión es por lo tanto de prioridad crítica, es decir, requiere de programas y acciones inmediatas para su conservación y manejo. Pese a que en Cumbres de Huicicila la cafecultura de sombra es una práctica común, y aunque se ha sugerido que es una práctica amigable con la conservación de la diversidad de los BMM (al mantener varias especies arbóreas y una estructura física similar a la de los bosques que se transforman, Ruelas-Monjardín *et al.* 2014), también existe evidencia que indica que solo parte de la diversidad biológica del dosel se mantiene relativamente sin cambios. En contraste, la gran mayoría del estrato bajo, sotobosque, y la diversidad del suelo son reemplazados, por las prácticas de manejo del cultivo de café, perdiendo no solo especies de plantas sino también la relación de estas con otros organismos, es decir, sus interacciones bióticas (Guevara, 2005).

Las interacciones bióticas son aquellas relaciones que se establecen entre al menos dos organismos de una (interacciones intraespecíficas) o más (interacciones interespecíficas) especies, y forman parte del funcionamiento de los ecosistemas (del Val y Boege, 2016). Por ejemplo, la asimilación de la energía del sol y de nutrientes minerales, así como el flujo de materia y energía a través de las cadenas tróficas, dependen de las interacciones bióticas.

Estas interacciones afectan directamente la existencia y supervivencia de las sociedades humanas, ya que contribuyen a su bienestar, por ejemplo, la polinización de cultivos y control biológico de plagas y enfermedades (del Val y Boege, 2016). Como en otros ecosistemas, en el sotobosque del BMM las especies saprobias (se alimentan de materia orgánica no viva), lignícolas (se alimentan de madera), húmicas (se alimentan del humus) y micorrícicas (simbiosis entre raíces y hongos micorrícicos), juegan un papel clave en la descomposición, reciclaje y absorción de los nutrientes minerales por las plantas. Además, los hongos micorrícicos, facilitan el acceso de las plantas a nutrientes como fósforo, nitrógeno y agua (a cambio de azúcares, producto de la fotosíntesis). Estos hongos colonizan las raíces del 80% de todas las plantas terrestres (Wang y Qiu, 2006) desde briofitas hasta angiospermas. La deforestación del BMM afecta negativamente la riqueza y abundancia de estos hongos. Por lo tanto, el principal objetivo de este libro es dar a conocer la diversidad de plantas vasculares del sotobosque, briofitas (*sensu lato*) y hongos micorrizógenos arbusculares presentes en el BMM en Nayarit.

PRESENTACIÓN

El presente libro está organizado en tres capítulos, que corresponden a casos de estudio, además de la introducción y consideraciones finales; donde se muestran los resultados de las investigaciones científicas realizadas para conocer la diversidad de plantas vasculares del sotobosque, briofitas (*sensu lato*) y hongos micorrizógenos arbusculares, de un relicto de BMM en Cumbres de Huicicila, Nayarit. El propósito del libro es que la información aquí reunida sea una aportación al conocimiento de la biodiversidad en la región, y que su difusión sea de utilidad para los programas de conservación a largo plazo en manos de los tomadores de decisiones, así como enriquecer la formación de los jóvenes estudiantes.

Los dos primeros capítulos reúnen hallazgos sobre las especies de plantas del sotobosque y briofitas (*sensu lato*). En relación con la diversidad

de plantas del sotobosque y debido a que el cultivo de café de sombra gana terreno sobre el fragmento de BMM, se realizó un análisis comparativo entre la comunidad de plantas en ambos sitios, para conocer si presentan semejanzas en términos de sus especies. Se discuten los hallazgos encontrados en términos de la abundancia, la estructura y composición de especies en ambas comunidades.

En el capítulo de la diversidad de la brioflora, se describe además de su diversidad, las formas de vida en distintos microhábitats, estos son de gran importancia pues determinan también la composición y riqueza de la comunidad de briofitas. Por otro lado, en este capítulo se presenta la descripción de nuevos registros de briofitas colectadas en el bosque mesófilo de montaña en Cumbres de Huicicila, lo cual es de gran importancia por ser este un grupo de plantas del que se tiene escaso conocimiento en México.

Finalmente, en el capítulo sobre la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares, se estimó la riqueza presente en el fragmento de bosque mesófilo de montaña y cafetal. Usando las características morfológicas de las esporas de estos hongos se describen las morfoespecies encontradas. Se discuten los hallazgos en términos de la importancia ecológica de estos hongos en el mantenimiento y funcionamiento del ecosistema. Este es el primer estudio realizado en el BMM del estado de Nayarit que ha estimado y descrito la riqueza de estos hongos.

SITIO DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza a 2.6 km al suroeste del poblado de Cumbres de Huicicila (21° 17' 49.1" N y 105° 01' 39" W a una elevación promedio de 916 m.s.n.m) en el municipio de Compostela, Nayarit (Figura I.2). El BMM en esta zona se encuentra en altitudes bajas comparado con otros bosques mesófilos de montaña del país, y presenta un ecotono con vegetación tropical secundaria, consecuencia de la cercanía con la costa (CONABIO, 2010), además de tener un continuo de cafetales (obs. pers.).

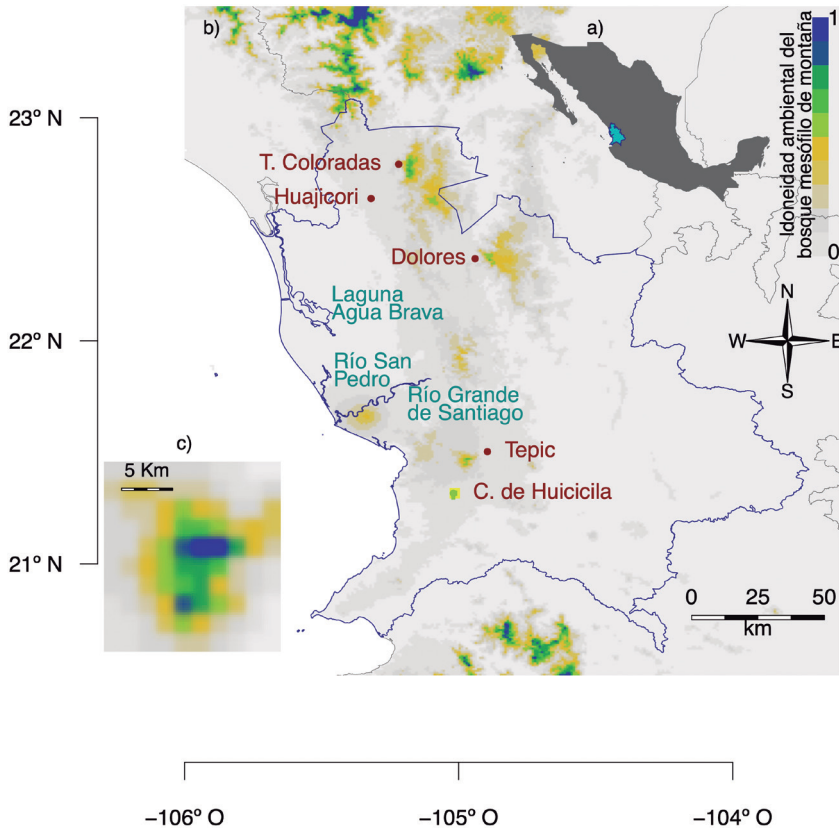


Figura I.2. Distribución del bosque mesófilo de montaña (BMM) en el estado de Nayarit. a) Ubicación geográfica de Nayarit en el territorio de México. b) Distribución potencial del BMM en el estado de Nayarit. c) Distribución potencial (idoneidad ambiental) del BMM en Cumbres de Huicicila. La idoneidad define los factores ambientales que delimitan las condiciones favorables para la presencia de BMM, en una escala de 0 a 1. Donde 0 indica que no hay idoneidad ambiental y 1 que existe idoneidad ambiental. La idoneidad ambiental esta basada en modelos de nicho ambiental para todo México y ajustada al estado de Nayarit. El modelo de nicho se ajustó mediante un modelo binomial usando las 19 capas climáticas de BIOCLIM a una resolución de 30 segundos. Mapa elaborado por Roger Guevara.

En la localidad de Cumbres de Huicicila se encuentran varios fragmentos de bosque mesófilo de montaña en cañadas con pendientes pronunciadas (Figura I.3 a y b). Sin embargo, estos fragmentos ocupan una superficie reducida, y cuando el terreno lo permite se siembra café (Figura I.4a y b). Por ejemplo, el fragmento de BMM donde se realizó el estudio mide aproximadamente 0.8 ha. La mayoría de los pobladores en esta localidad se dedican al cultivo de café de sombra, el cual se cosecha en los meses de enero y febrero. El terreno donde se encuentran los cafetales se limpia de malezas y otras especies vegetales en los meses de septiembre y octubre (Cuevas S.A., com. pers.), y se usan árboles de *Inga* sp. como sombra.

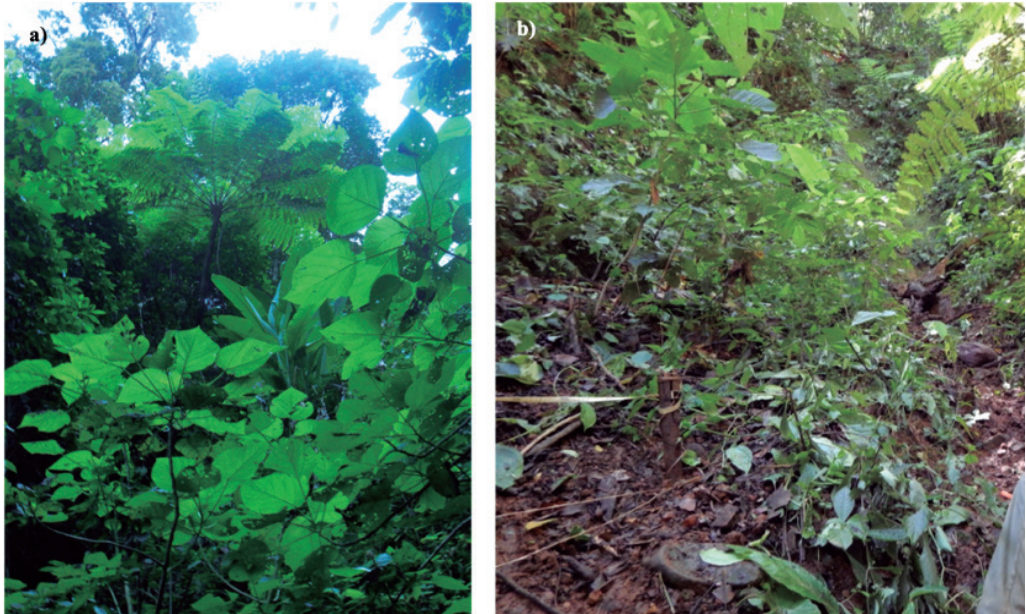


Figura I.3. Bosque mesófilo de montaña en Cumbres de Huicicila, Nayarit. a) parte de la vegetación típica del bosque mesófilo de montaña (foto: Vega-Frutis R, 2016). b) perturbación humana del bosque mesófilo de montaña para sembrar café (foto, Prieto-Pineda A, 2016.).



Figura I.4. Cafetal asociado al bosque mesófilo de montaña en Cumbres Huicicila, Nayarit. a) plantas de café y la vegetación del sotobosque que crece ahí. b) plantas de café y los árboles que se dejan para la sombra. Fotos: Vega-Frutis R (2016).

DISEÑO DE COLECTA PARA LOS ESTUDIOS PRESENTADOS

Para coleccionar las plantas del sotobosque en el BMM y el cafetal contiguo (capítulo II), se trazó un transecto lineal de 50 m en cada comunidad vegetal (BMM y cafetal), en dirección SSE. A lo largo del transecto, a su vez, se marcaron 10 cuadros o cuadrantes de 5 x 5 m. Cinco cuadrantes del lado izquierdo y cinco cuadrantes del lado derecho, alternando uno y uno (Figura I.5).

En estos cuadrantes se coleccionaron también muestras de suelo para separar las esporas de los hongos micorrizógenos arbusculares (capítulo IV).

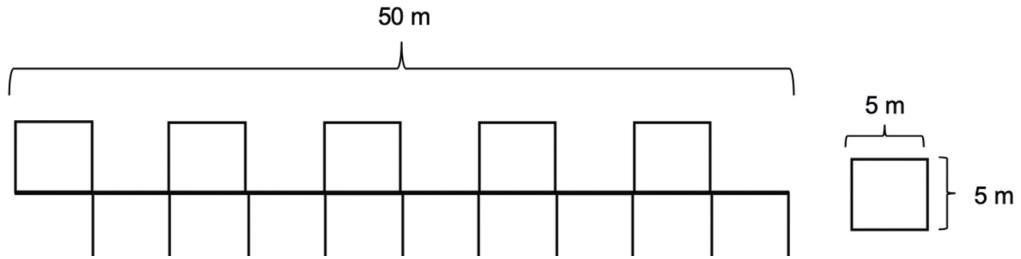


Figura I.5. Representación esquemática de los cuadrantes para la colecta de plantas en ambas comunidades vegetales.

Para el estudio de briofitas (*sensu lato*), se trazó un transecto lineal de 100 m, pero solo en el BMM, desde su colindancia con el cafetal y en dirección SSE, esto debido a que en el cafetal limpian el terreno para mantener solo las plantas de café y algunos árboles para sombra. Se colocaron ocho cuadrantes de 5 m de largo por 3 m de ancho a lo largo del transecto, cuatro cuadrantes del lado izquierdo y cuatro cuadrantes del lado derecho, alternando uno y uno. Cada dos cuadrantes estuvieron separados por 15 m (Figura I.6).

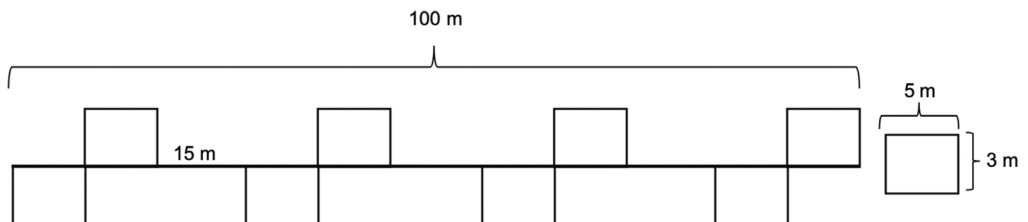


Figura I.6. Representación esquemática de los cuadrantes para la colecta de briofitas en el BMM, en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

Bibliografía

- CEMIC (Centro Multidisciplinario de Investigación Científica), *Resumen del estudio técnico justificativo de la Sierra de San Juan, Nayarit, para su declaratoria como área natural protegida*, Nayarit, Universidad Autónoma de Nayarit, Autor, 2003.
- Challenger, A., y J. Soberón, “Los ecosistemas terrestres” en Soberón J, G. Halffter, y J. Llorente-Bousquets (comps.), *Capital natural de México, vol. 1: conocimiento actual de la biodiversidad*, México, CONABIO, pp. 87-108.
- Clarke, C.E., F. Jiménez, y A. de la Mora, “La conservación de la biodiversidad como garantía del bienestar humano”, en *Ciencias*, vol. 25 (2017), pp.56-61.
- CONABIO, *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible*, México, Autor, 2010.
- _____, *Capital natural de México, vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad*, México, Autor, 2008.
- _____, *Capital natural y bienestar social*, México, Autor, 2006.
- del Val, E., y Boege, K, *Ecología y evolución de las interacciones bióticas*, México, Fondo de Cultura Económica, Instituto de Ecología, UNAM, 2016.
- González, F.R.E, “La Reserva Ecológica Sierra de San Juan a 23 años de su decreto”, en *Revista Fuente*, vol. 4 (2010), pp. 5-10.
- González-Espinosa, M., J.A. Meave, F.G. Lorea-Hernández, G. Ibarra-Manríquez, y A.C. Newton (eds.), *The Red List of Mexican Cloud Forest Trees*, Fauna and Flora International, Cambridge, Reino Unido, 2011.
- González-Ruiz, N., J. Ramírez-Pulido, y M. Gual-Díaz, “Mamíferos del bosque mesófilo de montaña”, en Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 305-326.
- Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014.
- _____, y F. González-Medrano, “Los bosques mesófilos de montaña en México”, en Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 27-68.

- _____, e I. Mayer-Goyenechea, “Anfibios en el bosque mesófilo de montaña en México”, en Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 249-262.
- Guevara, R., “Saprotrophic mycelial cord abundance, length and survivorship are reduced in the conversion of tropical cloud forest to shaded coffee plantation” en *Biological Conservation*, vol. 125 (2005), pp. 261-268.
- Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda, “Estado del conocimiento de la biota”, en Soberón, J., G. Halffter, y J. Llorente-Bousquets (comps.), *Capital natural de México, vol. 1: Conocimiento de la biodiversidad*, México, CONABIO, 2008, pp. 283-322.
- Luna, R., A. Castañón, y A. Raz-Guzmán, “La biodiversidad en México: su conservación y las colecciones biológicas” en *Ciencias*, vol. 101 (2011), pp. 36-43.
- Mayer-Goyenechea, I., y M. Gual-Díaz, “Reptiles en el bosque mesófilo de montaña”, en Gual-Díaz, M., y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 263-278.
- Molina, M., J. Sarukhán, y J. Carabias, *El cambio climático. Causas, efectos y soluciones*, México, Fondo de Cultura Económica, 2017.
- Morrone, J.J., “Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo” en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 90 (2019), pp. 1-68.
- Navarro-Sigüenza, A.G., H. Gómez de Silva, M. Gual-Díaz, L.A. Sánchez-González, y M. Pérez-Villafaña, “La importancia de las aves del bosque mesófilo de montaña de México”, en Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 279-304.
- Ponce-Reyes, R., V.H. Reynoso-Rosales, J.E.M., Watson, J., van Der Wal, R.A., Fuller, R.L. Pressey, y H.P. Possingham, “Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change” en *Nature Climate Change*, vol. 2 (2012), pp. 448–452.
- Rzedowski, J., *Vegetación de México*, México, 1ra. Edición digital, CONABIO, 2006.

- Ruelas-Monjardín, L.C., M.E. Nava-Tablada, J. Cervantes, y V.L. Barradas, “Importancia de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México”, en *Madera y Bosques*, vol. 20 (2014), pp. 27-40.
- Sánchez-Ramos, G., y R. Dirzo, “El bosque mesófilo de montaña: un ecosistema prioritario amenazado” en Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 109-139.
- Villaseñor, J. L., y M. Gual-Díaz, “El bosque mesófilo de montaña en México y sus plantas con flores” en Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 221-236.
- Wang, B., y Y-L. Qiu, “Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants”, en *Mycorrhiza*, vol. 16 (2006), pp. 299-363.

II PLANTAS VASCULARES DEL SOTOBOSQUE

Josué Alfonso Soriano-Fong, Ana Hanan-Alipi y Elsa M. Figueroa-Esquivel

INTRODUCCIÓN

El bosque mesófilo de montaña (BMM) representa el tipo de vegetación con mayor biodiversidad por unidad de área (López-Pérez *et al.*, 2011). En general, su distribución es de tipo “archipiélago”, lo que ha impulsado procesos de diversificación y especiación local que ha llevado a que aproximadamente el 13% de los géneros de la flora de estas comunidades sean endémicas, además de albergar un gran número de especies de fauna también endémicas (Challenger y Soberón, 2008).

El BMM en México alberga alrededor del 9% de la flora nacional (Challenger y Soberón, 2008) en una extensión que cubre poco menos del 1% del territorio nacional (8,809 km²; serie III de INEGI 2005, citado en CONABIO, 2010), y en la actualidad es uno de los principales tipos de ecosistema destinado a cultivos de temporal (Ortega y Castillo, 1996). Esto ha llevado a que más de la mitad de la extensión original (31,037 km²) que ocupaba el BMM haya sido reemplazada, y la cobertura actual es aproximadamente de 16,976 km² (Challenger, 1998; Sánchez-Ramos y Dirzo, 2014). Por lo tanto, una de las amenazas para la conservación del bosque mesófilo es el cambio de uso de suelo para actividades agropecuarias, pero también para desarrollo urbano (Sarukhán *et al.*, 2009).

En cuanto al cambio de uso desuelo, en esta región se debe principalmente para cultivo de café, aunque algunos estudios han mostrado que las plantaciones

de café bajo sombra, donde se encuentran árboles de la vegetación original, contribuyen a la conservación de la biodiversidad en gran medida porque mantienen parcialmente la estructura y funcionamiento de los bosques nativos que reemplazaron (López, 2004; Moguel y Toledo, 2004; Ruelas-Monjardín *et al.*, 2014). El sotobosque, sin embargo, constituido por el estrato herbáceo y arbustivo al ser reemplazado, genera una homogeneidad de condiciones que pueden afectar la microbiota y los procesos biogeoquímicos de los suelos (Guevara, 2005).

La mayoría de los estudios que han comparado la diversidad de los BMM y cafetales se han realizado para la zona sureste de México, siendo escasos los estudios detallados para la vertiente del Pacífico mexicano. En el estado de Nayarit, el BMM se encuentra distribuido principalmente en la Reserva Ecológica Estatal Sierra de San Juan, ubicada en los municipios de Tepic y Xalisco, aunque también en otras regiones del estado, por ejemplo, en el municipio de Compostela. Aunque la riqueza y endemismo de especies del BMM en Nayarit es menor en comparación con otros bosques como los de Oaxaca o Chiapas, las amenazas a la permanencia del BMM en el estado son altas, debido a otros cultivos como el aguacate y plátano; además de la extracción ilegal de madera y de productos forestales no maderables (CONABIO, 2010).

Los BMM concentran aproximadamente el 27% de la flora vascular de México, y de estas el 89% corresponden a plantas con flores y el resto a helechos y licopodios (Espejo-Serna, 2014). Aunque el BMM en Nayarit ha sido poco estudiado, los trabajos más representativos son los de Blanco (1994) y Téllez (1995a y b), quienes caracterizaron la vegetación de la Sierra de San Juan, y Téllez (1995a) quien analizó la fitogeografía de Nayarit. A nivel nacional los fragmentos de BMM de Nayarit concentran el 7% (lugar número 12 de 22 estados) de las especies de pteridofitas al considerar las entidades con más de 100 especies (Tejero-Díez, *et al.*, 2014) y las Serranías de Nayarit ocupan el lugar 11 de 13 regiones prioritarias (ver capítulo I) en cuanto a riqueza de plantas con flores (1,517 especies), con 26 especies endémicas de distribución restringida a la región prioritaria (Villaseñor y Gual-Díaz, 2014). Cabe mencionar que recientemente se han realizado otros estudios que contemplan aves (González, 2014), anfibios y reptiles (López, 2016).

La Reserva Ecológica Estatal Sierra de San Juan, y una extensión de la serranía aledaña a Cumbres de Huicicila, tienen una prioridad crítica (CONABIO, 2010), por lo que se requiere de programas y acciones inmediatas para su conservación y manejo. Por lo tanto, este sitio merece especial atención dado que el cambio de uso de suelo pone en peligro la permanencia de este ecosistema. El objetivo principal del presente trabajo fue comparar la diversidad florística del sotobosque en un bosque mesófilo de montaña, y su cafetal asociado en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

COLECTA DE PLANTAS DEL SOTOBOSQUE

El sitio de estudio fue seleccionado debido a que existen relictos de bosque mesófilo de montaña aledaños a los cafetales que lo han sustituido. En marzo, septiembre y octubre de 2016 se hicieron muestreos para ambas comunidades vegetales. Dentro de cada cuadrante (ver Capítulo I; Figura I.5) se registró y contó el número de individuos de todas las especies herbáceas y arbustivas, incluyendo helechos. Cada especie distinta fue colectada y herborizada de acuerdo con Lot y Chiang (1986) e identificada hasta la categoría taxonómica posible de acuerdo al material biológico disponible (con presencia de estructuras reproductoras).

La nomenclatura fue actualizada (excepto en Gesneriaceae, ya que solo se identificó a nivel de familia) y la cita de autores estandarizada (base de datos Trópicos del Missouri Botanical Garden: <https://www.tropicos.org>). Los ejemplares fueron depositados en el Herbario de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit. Con la información recolectada se elaboró una base de datos para cada comunidad vegetal.

Análisis de datos

La riqueza observada a partir de muestreos es una subestimación de la riqueza verdadera, debido a que hay especies que no siempre se registran en el inventario. Por lo tanto, para determinar si el número de especies colectadas fue representativo del bosque mesófilo de montaña y del cafetal, se realizaron curvas de acumulación de especies basadas en el número de individuos, es decir, la abundancia. Se realizaron dos curvas, una para el bosque mesófilo de montaña y otra para el cafetal. Debido a que se utilizaron las abundancias, se utilizó el estimador no paramétrico Chao1. Los análisis se realizaron usando el software estadístico R (R Core Team, 2016).

Para conocer la diversidad verdadera entre ambas comunidades, se usaron dos medidas de diversidad: 1) diversidad de orden cero (0D), cuyo valor equivale simplemente a la riqueza de especies (${}^0D = S$) y, por lo tanto, la diversidad verdadera es insensible a la abundancia relativa de las especies, y 2) diversidad verdadera de orden 1 (1D), en la cual la abundancia de las especies es ponderada en cada comunidad vegetal. La diversidad de 0D y 1D se calcularon en el software libre PAST versión 2.16 (Hammer *et al.*, 2001).

Se realizó un análisis de rarefacción que permite comparar la riqueza entre ambas comunidades vegetales, con la finalidad de conocer si la comunidad con mayor abundancia también es la comunidad con mayor riqueza. La curva de rarefacción se obtuvo mediante el software PAST versión 2.16 (Hammer *et al.*, 2001).

Con el objetivo de conocer si la abundancia de las especies (número de individuos por especie) observadas en campo difiere de manera significativa, se realizó un modelo lineal generalizado (glm) con error binomial negativo en el software estadístico R (R Core Team, 2016).

Finalmente, para identificar cuáles fueron las especies dominantes en ambas comunidades vegetales se realizó una curva de rango-abundancia (McAleece *et al.*, 1997).

PRINCIPALES HALLAZGOS

En ambas comunidades vegetales se encontraron 113 especies pertenecientes a 29 familias. Cabe destacar que 58 morfoespecies (ambas comunidades vegetales: bosque mesófilo y cafetal), no se encuentran identificadas a ningún nivel taxonómico y de estas, 23 corresponden a helechos (Apéndice II.1). Para el BMM se registraron 74 especies y 22 familias, mientras que para el cafetal también se registraron 74 especies y 23 familias, de las cuales algunas fueron exclusivas a cada tipo de comunidad vegetal y otras se encontraban en ambas comunidades (Figura II.1). Cinco de las especies compartidas corresponden a helechos, uno de los cuales es arborescente y se observó exclusivamente en el BMM (Apéndice II.2).

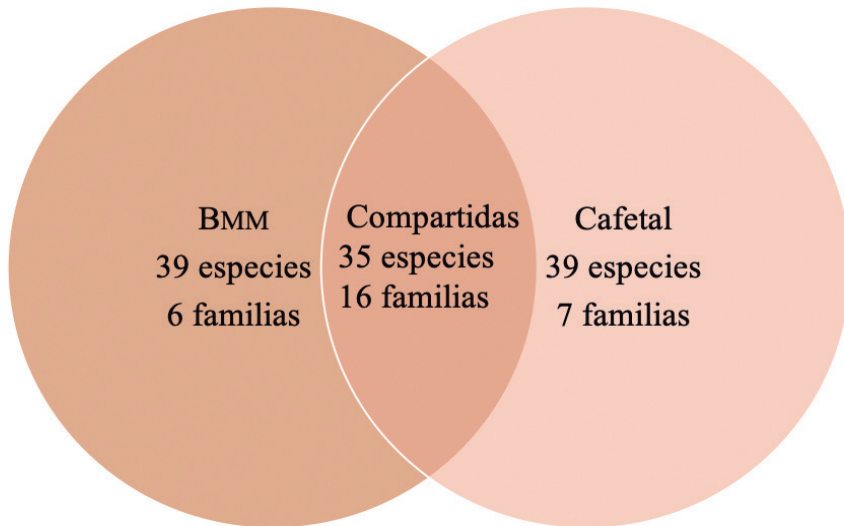


Figura II.1. Número de especies y familias exclusivas y compartidas, en el BMM y el cafetal en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

Las familias más diversas en el BMM fueron: Piperaceae, Araceae, Myrtaceae y Urticaceae (Figura II.2), y para el cafetal fueron: Araceae, Asteraceae y Piperaceae (Figura II.3). Las familias representadas por una sola especie en el BMM fueron en total 13 (Figura II.2) y para el cafetal 12 (Figura II.3).

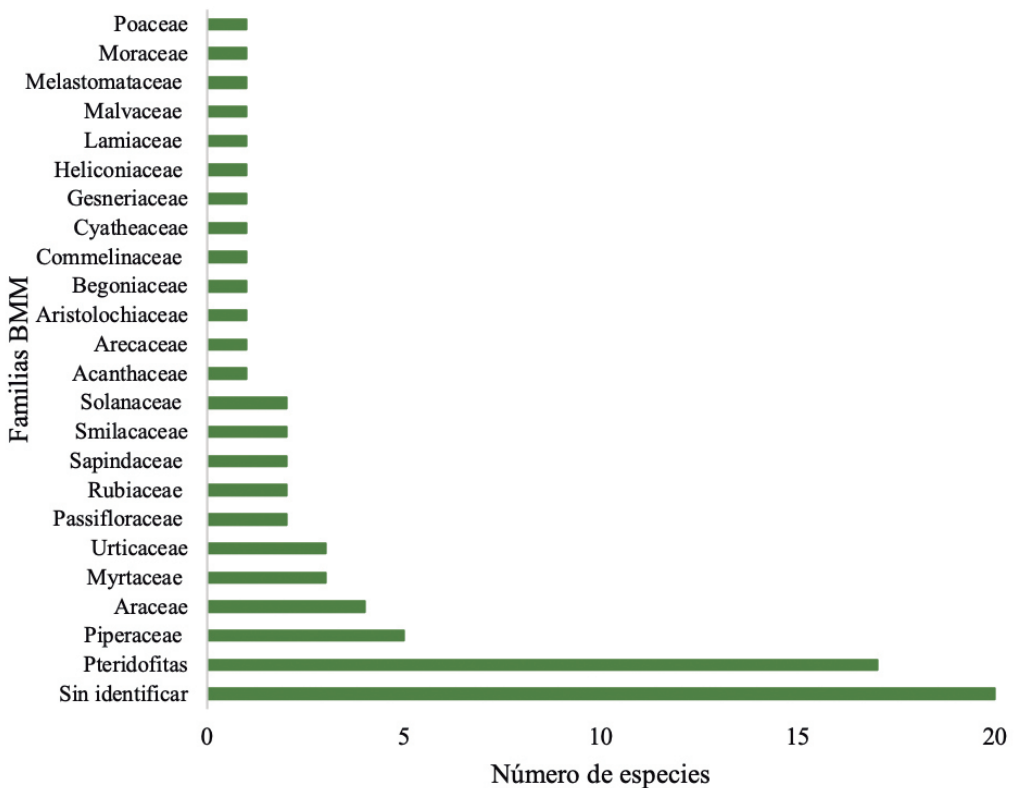


Figura II.2. Familias y número de especies registradas en el BMM en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

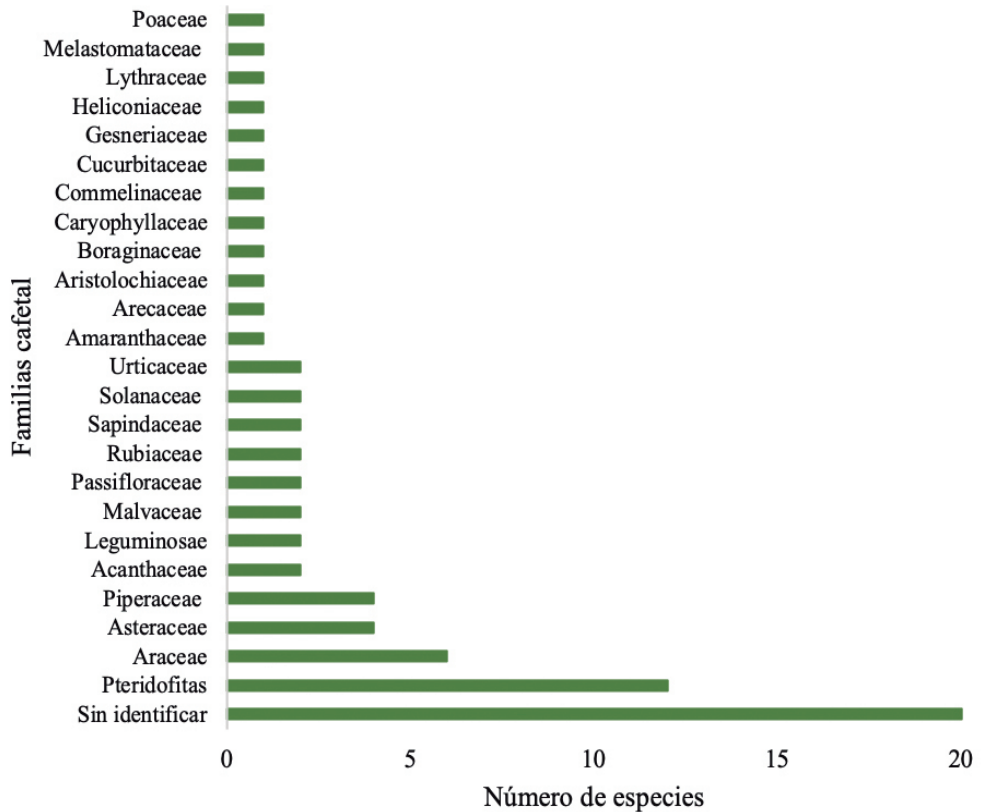


Figura II.3. Familias y número de especies registradas en el cafetal en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

De acuerdo con el indicador Chao1, la riqueza estimada para el BMM fue de 99.1 especies (Figura II.4) y para el cafetal fue de 101.2 especies (Figura II.5), es decir, el esfuerzo de muestro fue de 74.767% y 73.12%, respectivamente.

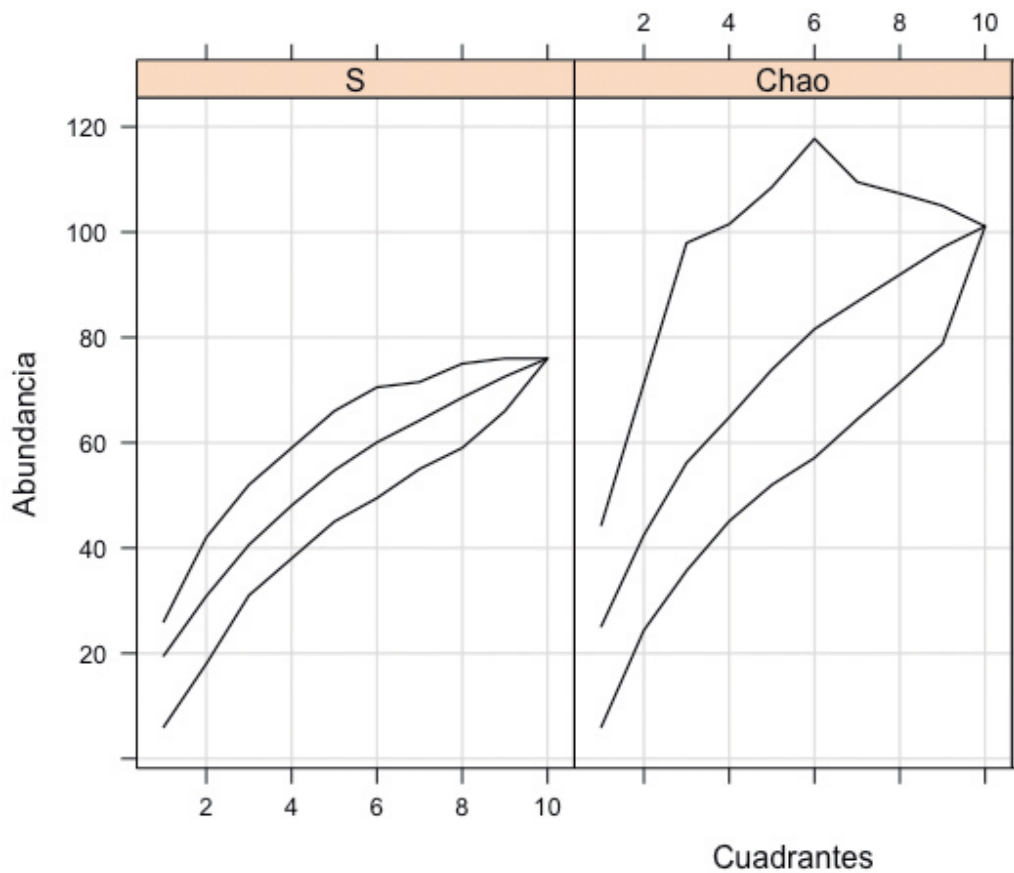


Figura II.4. Curvas de acumulación de especies para el BMM en Cumbres de Huicicila, Nayarit. Riqueza observada (s), y riqueza estimada por Chao 1 \pm intervalo de confianza.

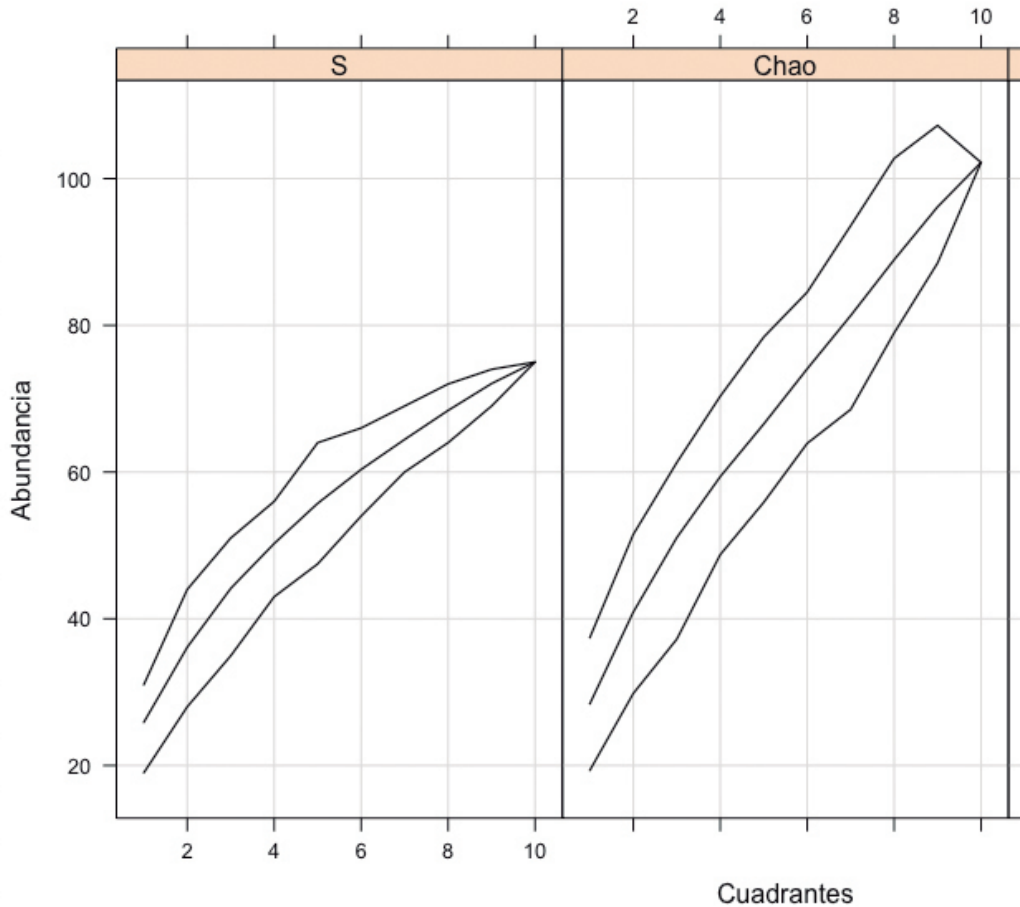


Figura II.5. Curvas de acumulación de especies para el cafetal en Cumbres de Huicicila, Nayarit. Riqueza observada (s), y riqueza estimada por Chao 1 \pm intervalo de confianza.

Cuando se estimaron las medidas de diversidad verdadera, no hubo diferencias para la diversidad de orden cero (0D) entre ambas comunidades vegetales, es decir que tienen la misma riqueza (82 vs. 86). Sin embargo, la diversidad de orden 1 (1D) posiciona al BMM como el tipo de vegetación con mayor riqueza (Figura II.6).

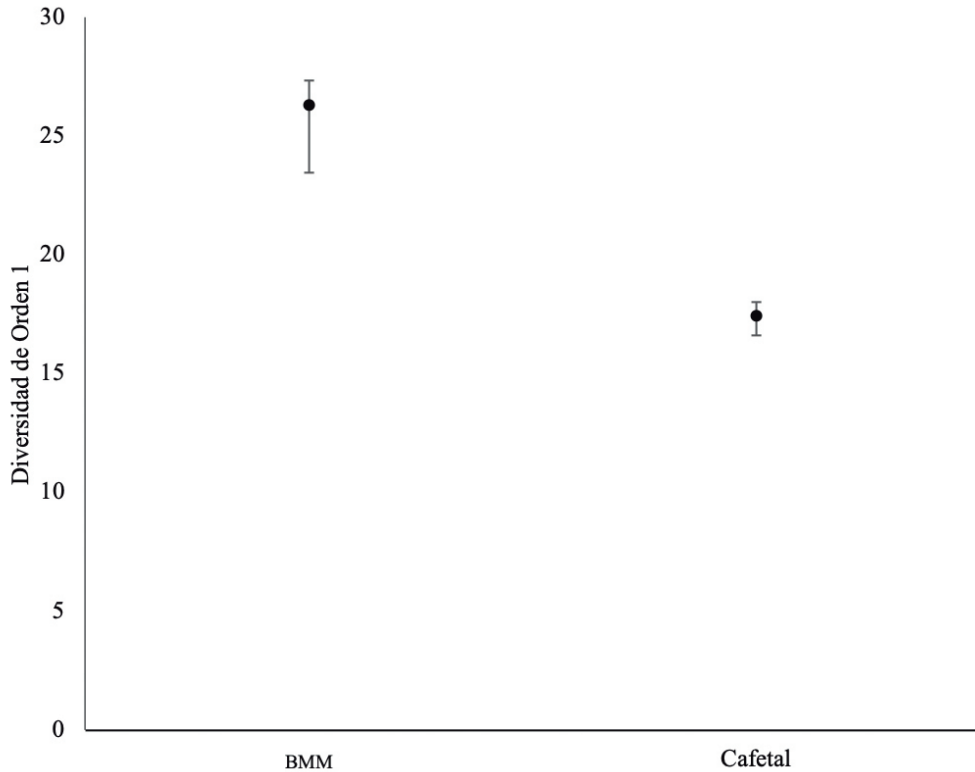


Figura II.6. Riqueza de especies en el BMM y el cafetal en Cumbres de Huicicila, Nayarit. La riqueza está expresada como el número de especies efectivas (1D , diversidad de orden 1).

La comparación de la riqueza usando la curva de rarefacción (Figura II.7) indicó que, para una muestra estándar de 1,161 individuos, no hay superposición de los intervalos de confianza al 95%. Es decir, que la riqueza de especies difiere entre los tipos de comunidad vegetal, con 74 especies en BMM y 53 en el cafetal.

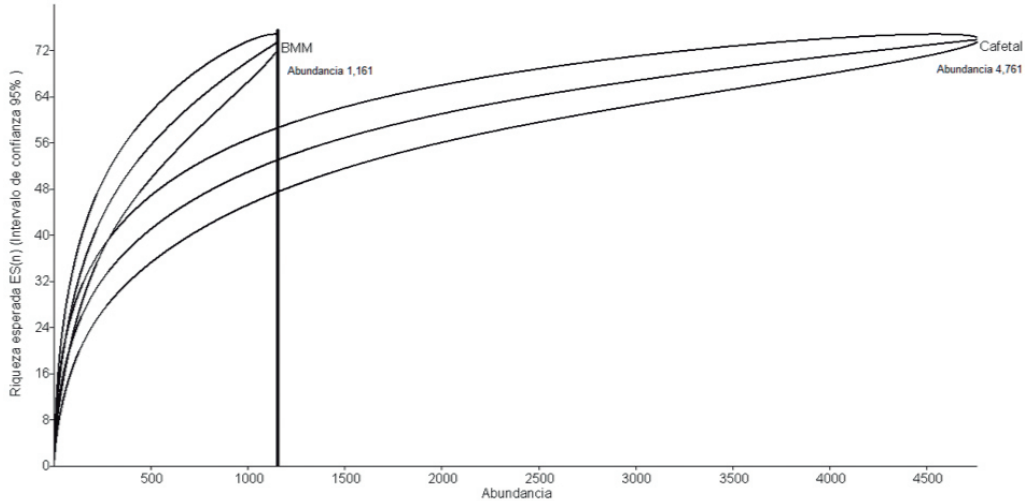


Figura II.7. Curva de rarefacción basada en individuos para BMM y cafetal en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

Respecto a la abundancia (número de individuos por especie), hubo diferencias significativas entre ambas comunidades vegetales ($P < 0.001$), y el cafetal tuvo una mayor abundancia comparado con el BMM. En promedio, el cafetal tuvo 15.02 ± 3.10 (media \pm error estándar) individuos por especie, y la especie con un mayor número de individuos fue Commelinaceae sp. con 973, mientras que 17 especies tuvieron un solo individuo. Para el caso del BMM, la abundancia promedio fue de 5.02 ± 1.00 individuos, y la especie con un mayor número de individuos fue Urticaceae sp.1 con 149, y 24 especies tuvieron un solo individuo. Sin embargo, la curva de rango abundancia indicó que el BMM presentó mayor equidad con respecto al cafetal (Figura II.8). Es decir, que el número de individuos por especie dentro del BMM no varía mucho comparado con las especies del cafetal, de las cuales cinco presentan una mayor dominancia. La especie más dominante en el cafetal fue Commelinaceae sp. (Apéndice II.1) con 824 individuos más respecto a la especie más abundante (Urticaceae sp.1) encontrada en BMM. Además, la Commelinaceae sp. se encontró en todos los cuadrantes del cafetal y en seis cuadrantes del BMM.

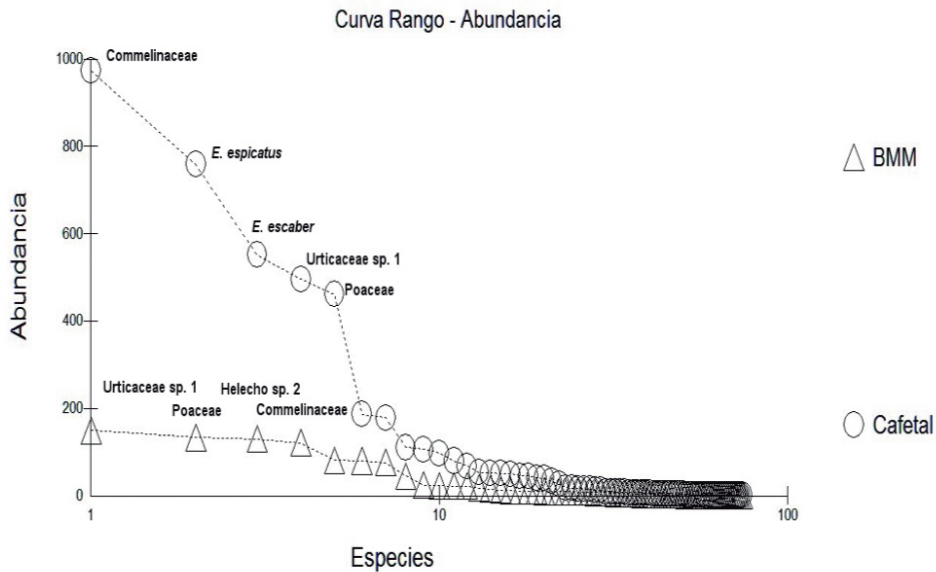


Figura II.8. Curva Rango–Abundancia para ambas comunidades vegetales en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

DISCUSIÓN

El presente estudio fue desarrollado en el estrato herbáceo y arbustivo en un fragmento de BMM y su cafetal de sombra asociado. Los resultados mostraron que la diversidad florística en el cafetal fue menor, comparado con la diversidad del bosque mesófilo de montaña.

En este estudio se observó la misma riqueza de especies en ambas comunidades vegetales (74 en el BMM vs 74 en el cafetal). Aunque el cafetal tuvo una mayor abundancia comparado con el BMM este presentó una menor equidad, lo que muestra que en el cafetal una especie domina por su abundancia, característica común a muchos ambientes perturbados. Del total

de las especies, 35 se encuentran tanto en BMM como en el cafetal, es decir, casi la mitad de las especies se encuentran en ambos tipos de vegetación. La similitud en la composición de especies entre el BMM y cafetal podría deberse a que ambas comunidades vegetales se encuentran perturbadas y contiguas, es decir, lo encontrado en el BMM no es representativo de un BMM conservado. Esto es comparable con lo encontrado por Martínez *et al.* (2009) y Valencia *et al.* (2014) en bosque mesófilo y plantaciones de café; en estos estudios la riqueza de especies fue similar, pero no la composición entre ellos.

Para el BMM se registraron 57 especies de angiospermas herbáceas y arbustivas, y 17 especies de helechos. Este número es bajo comparado con el estudio de Téllez (1995a) quien registró, para el BMM en la Serranía de San Juan, 250 especies de plantas vasculares, incluyendo árboles, de las cuales 150 corresponden al estrato herbáceo y arbustivo, y 34 a helechos. Es probable que el número mayor de especies encontradas por Téllez (1995a) se deba a que la porción de BMM en la Serranía de San Juan, sitio donde él realizó la colecta, es la más extensa del estado. Sin embargo, en el sitio de estudio se encontró la mitad del número de helechos reportados por Téllez (1995a), y la riqueza de helechos fue mayor en el BMM comparado con el cafetal. Aunque el número de helechos reportados en el sitio de estudio es menor comparado con otros estudios especializados en pteridofitas de bosques mesófilos de montaña (Vázquez *et al.*, 2006; Álvarez-Zúñiga *et al.*, 2012; Carvajal-Hernández *et al.*, 2014).

En Cumbres de Huicicila el bosque mesófilo de montaña es un fragmento pequeño, que ha sido deforestado en algunas partes para sembrar café de altura y cuenta con frecuentes perturbaciones naturales. Además, la superficie de muestreo puede ser un factor que determina la riqueza y diversidad de especies encontradas, en el presente estudio la superficie de muestreo fue de 50 m² (para cada comunidad vegetal). La escala es relevante cuando se comparan sitios o estudios, así como para inferir cómo la estructura y la riqueza cambian entre sitios. Actualmente se tiene registro de 5,533 especies de plantas con flores en los BMM del país (Villaseñor y Gual-Díaz, 2014), por lo que las 57 especies de angiospermas encontradas en el estrato herbáceo y arbustivo del fragmento de BMM en Cumbres de Huicicila representan el 1% del total de la riqueza reportada

para los bosques mesófilos de montaña en México. Pero si comparamos el número total de especies de plantas registradas en este estudio (74 especies) con otros estudios donde el área de colecta es mucho mayor, resulta que el número de especies registradas en Cumbres de Huicicila no es bajo. Por ejemplo, García *et al.* (2008) registraron 258 especies en 3,000 m², López-Pérez *et al.* (2011) encontraron 391 especies en 1,870 ha, y Castillo (2013) muestreó un total de 63 ha y registró 392 especies.

La curva de rarefacción permite destacar que el BMM tuvo una mayor riqueza, esto es consistente con lo encontrado por López (2004) quien reportó una mayor riqueza de especies de plantas en el BMM comparado con el cafetal. Además, el BMM tuvo mayor equitatividad, es decir, que no hubo especies dominantes. Para el caso del cafetal cinco especies fueron dominantes, además son consideradas arvenses (Salazar e Hincapié, 2007), es decir, en su mayoría indicadoras de perturbación antropogénica.

Finalmente, a pesar de que los BMM ocupan una superficie menor al 1% del territorio nacional son de gran importancia ecosistémica y, por lo tanto, se encuentran en alguna categoría de prioridad para su conservación (media, alta y crítica). La región Sierra de San Juan se encuentra en categoría de prioridad crítica, debido a las amenazas a su permanencia (CONABIO, 2010), y dado que el BMM en el sitio de estudio es un fragmento pequeño, es importante continuar con la investigación en la zona y llevar a cabo estudios de carácter climático, faunístico y ecológico. Es importante mencionar que, de acuerdo a las curvas de acumulación de especies, Solo 3/4 partes de la vegetación que existe en el sitio fue recolectada, es decir, aún hay especies que podrían ser registradas. Asimismo, avanzar en la determinación taxonómica del listado obtenido permitirá determinar si el BMM en Cumbres de Huicicila tiene especies en alguna categoría de riesgo, además de *Cyathea* sp. (helecho arborescente).

Bibliografía

- Álvarez-Zúñiga, E., A. Sánchez-González, L. López-Mata y J.D. Tejero-Díez, “Composición y abundancia de las pteridofitas en el bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México”, en *Botanical Sciences*, vol. 90 (2012), pp. 163-177.
- Blanco, C.M., *Vegetación de la Sierra de San Juan, Nayarit, México* (tesis de licenciatura), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México, 1994.
- Carvajal-Hernández, C.I., T. Krömer y M. Vázquez-Torres, “Riqueza y composición florística de pteridobiontes en bosque mesófilo de montaña y ambientes asociados en el centro de Veracruz, México” en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 85 (2014) pp. 491-501.
- Castillo, H., L.A. *Inventario florístico del bosque mesófilo de montaña de la Reserva Bicentenario, Zongolica, Veracruz* (tesis de licenciatura), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México, 2013.
- Challenger, A., *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*, México, CONABIO/UNAM, 1998.
- Challenger, A. y J. Soberón, “Los ecosistemas terrestres” en *Capital Natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la Biodiversidad, México, CONABIO, 2008, pp. 87-108.
- CONABIO, *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible*, D.F., México, 2010.
- Espejo-Serna, A., “Las plantas vasculares de los bosques mesófilos de montaña en México”, en Gual-Díaz M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 189-195.
- García, F.J.G., G. Castillo-Campos, K. Mehlreter, M.L. Martínez y G. Vázquez, “Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México”, en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 83, (2008), pp. 37-52.
- González, M.J.K., *Avifauna de dos zonas cafetaleras en el estado de Nayarit* (tesis de licenciatura), Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma

- de Nayarit, Xalisco, Nayarit, 2014.
- Gual-Díaz, M. y F. González-Medrano, “Los bosques mesófilos de montaña en México”, en M. Gual-Díaz y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 27-67.
- _____, y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014.
- Guevara, R., “Saprotrophic mycelial cord abundance, length and survivorship are reduced in the conversion of tropical cloud forest to shaded coffee plantation” en *Biological Conservation*, vol. 125 (2005), pp. 261-268.
- Hammer, O., D. A. T. Harper y P. D. Ryan, “PAST: Paleontological Statics software package for education and analysis”, en *Paleontologia Electronica*, vol. 4, (2001), p. 9.
- López, G.A.M., *Los cafetales de sombra como reservorio de la biodiversidad de plantas leñosas del bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz* (tesis de maestría), Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, 2004.
- López, S.J.A., *Herpetofauna de la reserva de la biosfera estatal Sierra de San Juan, Nayarit, México* (tesis de licenciatura), Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit, Xalisco, Nayarit, 2016.
- López-Pérez, Y., J.D. Tejero-Díez, A.N. Torres-Díaz e I. Luna-Vega, “Flora del bosque mesófilo de montaña y vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, Estado de México, México”, en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 88, (2011), pp. 35-53.
- Lot, A. y F. Chiang, *Manual de herbario*, México, CONABIO, 1986.
- Martínez, M.L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlreter, M. Equihua y R. Landgrave, “Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico”, en *Forest Ecology and Management*, vol. 258, (2009), pp. 1856-1863.
- McAleece, N., J.D.G. Gage, P.J.D. Lamshead y G.L.J. Paterson, *BioDiversity Professional statistics analysis software*, 1997.
- Moguel, P. y V. M. Toledo, “Conservar produciendo: Biodiversidad, café orgánico y jardines productivos”, en *Biodiversitas*, vol. 55, (2004), pp. 1-17.

- Ortega, F. y G. Castillo, “El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal”, en *Ciencias*, vol. 43, (1996), pp. 32-39.
- R Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*, Vienna, Autor, 2016, consultado en <https://www.R-project.org/>.
- Ruelas-Monjardín, L.C., M.E. Nava-Tablada, J. Cervantes y V.L. Barradas, “Importancia de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México”, en *Madera y Bosques*, vol. 20, (2014), pp. 27-40.
- Salazar, G.L.F. y E. Hincapié-G., “Las arvenses y su manejo en los cafetales”, en Arcila P.J, F.F.V. Farfán, B.A.M. Moreno, G.L.F. Salazar y G.E. Hincapié (eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia*, Colombia, Cenicafé, 2007, pp.102-130.
- Sánchez-Ramos, G. y R. Dirzo, “El Bosque Mesófilo de Montaña: un ecosistema prioritario amenazado”, en Gual-Díaz M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 109-139.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. Marsh, A. Mohar, S. Anta y J. De la Maza, *Capital Natural de México. Síntesis: el conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*, México, CONABIO, 2009.
- Tejero-Díez, J.D., A.N. Torres-Díaz, M. Gual-Díaz, “Licopodios y helechos en el bosque mesófilo de montaña de México”, en Gual-Díaz M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 197-220.
- Téllez, V.O, *Flora, vegetación y fitogeografía de Nayarit, México* (tesis de maestría), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México, (1995a).
- Téllez, V.O, “Flora, vegetación y fitogeografía de Nayarit, México”, en *Ciencias*, vol. 38, (1995b), pp. 52-54.
- Valencia, V., L. García-Barrios, P. West, J.E. Sterling y S. Naeem, “The role of coffee agroforestry in the conservation of tree diversity and community composition of native forests in a Biosphere Reserve”, en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 189, (2014), pp.154-163.

- Vázquez, T.M., J.J. Campos y P.A. Cruz, “Los helechos y plantas afines del bosque mesófilo de montaña de Banderilla, Veracruz, México”, en *Polibotánica*, vol. 22, (2006), pp. 63-77.
- Villaseñor, J. L., y M. Gual-Díaz, “El bosque mesófilo de montaña en México y sus plantas con flores” en Gual-Díaz, M. y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014, pp. 221-236.

APÉNDICE II.1

Cuadro II.1. Listado de especies colectadas en el bosque mesófilo de montaña (BMM) y cafetal, en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

Familia y especies	BMM	Cafetal
MAGNOLIOPHYTA		
Acanthaceae		
<i>Hypoestes phyllostachya</i> Baker		x
Acanthaceae sp.	x	x
Amaranthaceae		
Amaranthaceae sp.		x
Araceae		
Araceae sp. 1	x	x
Araceae sp. 2	x	x
Araceae sp. 3	x	x
Araceae sp. 4	x	x
Araceae sp. 5		x
Araceae sp. 6		x
Arecaceae		
Arecaceae sp.	x	x
Aristolochiaceae		
Aristolochiaceae sp.	x	x
Asteraceae		
<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.		x
Asteraceae sp.		x
<i>Elephantopus scaber</i> L.		x

Familia y especies	BMM	Cafetal
<i>E. spicatus</i> B. Juss. ex Aubl		x
Begoniaceae		
<i>Begonia</i> sp.	x	
Boraginaceae		
Boraginaceae sp.		x
Caryophyllaceae		
Caryophyllaceae sp.		x
Commelinaceae		
Commelinaceae sp.	x	x
Cucurbitaceae		
Cucurbitaceae sp.		x
Gesneriaceae		
Gesneriaceae sp.	x	x
Heliconiaceae		
<i>Heliconia</i> sp.	x	x
Lamiaceae		
Lamiaceae sp.	x	
Leguminosae		
Leguminosae sp. 1		x
Leguminosae sp. 2		x
Lythraceae		
Lythraceae sp.		x
Malvaceae		
Malvaceae sp. 1	x	
Malvaceae sp. 2		x
Malvaceae sp. 3		x
Melastomataceae		
Melastomataceae sp.	x	x
Moraceae		

Familia y especies	BMM	Cafetal
<i>Cecropia</i> sp.	X	
Myrtaceae		
Myrtaceae sp. 1	X	
Myrtaceae sp. 2	X	
Myrtaceae sp. 3	X	
Passifloraceae		
Passifloraceae sp. 1	X	X
Passifloraceae sp. 2	X	X
Piperaceae		
<i>Piper</i> sp. 1	X	X
<i>Piper</i> sp. 2	X	X
<i>Piper</i> sp. 3	X	X
<i>Piper</i> sp. 4	X	
<i>Piper</i> sp. 5	X	X
Poaceae		
Poaceae sp.	X	X
Rubiaceae		
Rubiaceae sp. 1	X	X
Rubiaceae sp. 2	X	X
Sapindaceae		
Sapindaceae sp. 1	X	X
Sapindaceae sp. 2	X	X
Smilacaceae		
Smilacaceae sp.	X	
<i>Smilax</i> sp.	X	
Solanaceae		
Solanaceae sp. 1	X	
Solanaceae sp. 2	X	X
Solanaceae sp. 3		X
Urticaceae		

Familia y especies	BMM	Cafetal
Urticaceae sp. 1	X	X
Urticaceae sp. 2	X	
Urticaceae sp. 3	X	X
Sin familia		
Morfoespecie 1	X	
Morfoespecie 2	X	
Morfoespecie 3	X	X
Morfoespecie 4	X	
Morfoespecie 5		X
Morfoespecie 6	X	X
Morfoespecie 7		X
Morfoespecie 8		X
Morfoespecie 9		X
Morfoespecie 10		X
Morfoespecie 11	X	X
Morfoespecie 12		X
Morfoespecie 13		X
Morfoespecie 14		X
Morfoespecie 15		X
Morfoespecie 16		X
Morfoespecie 17		X
Morfoespecie 18	X	
Morfoespecie 19	X	
Morfoespecie 20	X	
Morfoespecie 21	X	
Morfoespecie 22	X	
Morfoespecie 23	X	
Morfoespecie 24	X	
Morfoespecie 25	X	
Morfoespecie 26	X	

Familia y especies	BMM	Cafetal
Morfoespecie 27	X	
Morfoespecie 28	X	X
Morfoespecie 29		X
Morfoespecie 30	X	
Morfoespecie 31	X	
Morfoespecie 32		X
Morfoespecie 33		X
Morfoespecie 34		X
Morfoespecie 35	X	X
POLYPODIOPHYTA		
Cyatheaceae		
<i>Cyathea sp.</i>	X	
Sin Familia		
Helecho 1	X	X
Helecho 2	X	
Helecho 3	X	
Helecho 4	X	
Helecho 5	X	X
Helecho 6	X	
Helecho 7	X	
Helecho 8	X	
Helecho 9	X	X
Helecho 10	X	X
Helecho 11	X	
Helecho 12	X	
Helecho 13	X	
Helecho 14		X
Helecho 15		X
Helecho 16		X
Helecho 17		X

Familia y especies	BMM	Cafetal
Helecho 18		x
Helecho 19		x
Helecho 20	x	x
Helecho 21		x
Helecho 22	x	
Helecho 23	x	

APÉNDICE II.2

Helechos arborescentes presentes en el BMM en Cumbres de Huicicila, Nayarit.
Fotografías Rocío Vega-Frutis.





III BRIOFITAS

Esteban Guerrero, Ana Hanan-Alipi y Elsa M. Figueroa-Esquivel

¿QUIÉNES SON LAS BRIOFITAS?

Las briofitas *sensu lato* (de aquí en adelante briofitas) son un grupo muy particular de plantas. Sus cuerpos son muy pequeños (en general, unos milímetros a centímetros) y los tipos celulares que los forman tienen poca diversidad. Se distinguen del resto de las plantas porque carecen de tejidos de conducción (xilema y floema), son poiquilohídricas (incapacidad de regular el contenido de agua independientemente de su medio ambiente), se reproducen por esporas, y porque en su ciclo de vida domina la fase gametofítica haploide (la encargada de la reproducción sexual). Se reconocen tres grandes linajes de briofitas: 1) hepáticas (Marchantiophyta), 2) musgos (Bryophyta *sensu stricto*, de aquí en adelante Bryophyta,) y 3) antocerotes (Anthocerotophyta) (Vanderpoorten y Goffinet, 2009). Estas plantas son los tres grupos más antiguos en la historia filogenética de las plantas terrestres. Existen aproximadamente 20,000 especies de briofitas, y entre estas, los musgos son el grupo más diverso (Delgadillo-Moya, 2014; Delgadillo-Moya y Juárez-Martínez, 2014).

Las briofitas desempeñan importantes funciones dentro de su ecosistema, por ejemplo: acumulan carbono, interactúan con cianobacterias capaces de fijar nitrógeno atmosférico, almacenan agua y nutrientes, promueven la formación y protección del suelo (principalmente en zonas áridas), regulan la temperatura del suelo, sirven de sustrato para la germinación de semillas, son refugio para una gran variedad de pequeños animales y microorganismos (Vanderpoorten y Goffinet, 2009; Spangler, 2021), y son bioindicadoras de metales pesados (Spangler, 2021). También, se han

empezado a estudiar en la medicina moderna por los compuestos secundarios que producen (Spangler, 2021). A pesar de ser el segundo grupo de plantas más diverso y estar presentes en diferentes ecosistemas (García-Ávila y Martínez, 2011; Martínez-Meyer *et al.*, 2014), las briofitas se han estudiado poco en comparación con las plantas vasculares.

¿DÓNDE Y CÓMO VIVEN LAS BRIOFITAS?

Las briofitas son un elemento común dentro de los bosques (García-Ávila y Martínez, 2011) y pueden estar presentes en una gran variedad de microhábitats: parches de hábitats en los que se establecen poblaciones individuales (Vitt y Belland, 1997). Los microhábitats pueden ser muy diversos, desde hojas, ramas, raíces y corteza de los árboles, hasta rocas, hojarasca, troncos en descomposición y el mismo suelo (Holz *et al.*, 2002). Actualmente se sabe que el microhábitat tiene una gran influencia en la diversidad, riqueza y composición de las comunidades de briofitas (Mills y Macdonald, 2004; Lõhmus *et al.*, 2007; Cole *et al.*, 2008).

La mayoría de las briofitas crecen formando colonias, obteniendo así ventajas en la realización de varios procesos vitales, como la reproducción. Se distinguen varias formas de organización colonial (o formas de vida) por ejemplo, cojín, césped, tapiz, péndulo, trama, cola, frondoso y dendroide, que son resultado de la interacción de factores ambientales de luz y humedad con los individuos de las colonias (Mägdefrau, 1982; Bates, 1998; Calzadilla y Churchill, 2014).

CONOCIMIENTO DE LAS BRIOFITAS EN MÉXICO

El conocimiento de las briofitas en México es escaso en general, aunque los musgos son el grupo más estudiado (Delgadillo-Moya, 2014). Para el país se

conocen 984 especies y variedades de musgos (Delgadillo-Moya, 2014), 592 especies y variedades de hepáticas y nueve especies de antocerotes (Delgadillo-Moya y Juárez-Martínez, 2014). Los sitios de colecta mejor representados se encuentran en los estados del sur y centro del país (Delgadillo-Moya, 2014), como muestran los ejemplares depositados en herbarios (García-Ávila y Martínez, 2011) o reportados en listados, como los de Aguascalientes, Chiapas, Guanajuato, Hidalgo, Tabasco, Yucatán y Zacatecas (Bourell, 1992; Delgadillo-Moya *et al.*, 1982; 2014, 2015; Delgadillo-Moya y Cárdenas, 1979, 1996; Delgadillo-Moya y Zamudio, 1988, así como en zonas del Eje Neovolcánico (Delgadillo-Moya 1987; 1988; 1992; 1998; 2009).

Otras zonas muy estudiadas son el Valle de México (Durán, 1982; Cárdenas, 1987; 1988; 1995; 1999; 2000; Delgadillo-Moya y Cárdenas, 2000), el Valle de Toluca (Zepeda-Gómez *et al.*, 2014) y el de Tehuacán (Delgadillo-Moya y Zander, 1984; Castillo, 2015). Sin embargo, el estudio de la diversidad de las briofitas aún es limitado, tanto en su distribución geográfica por estados en el país, como a nivel de tipos de vegetación.

Para bosques mesófilos de montaña (BMM) o tipos de vegetación similares, se tienen los estudios de Delgadillo-Moya (1979, bosque de Liquidámbar), Juárez (1983, bosque caducifolio), Herrera (2013, bosque húmedo de montaña) y Delgadillo-Moya *et al.* (2017, bosque nublado), quienes han reportado 194, 126, 93 y 323 especies de musgos respectivamente.

El conocimiento de las briofitas en el estado de Nayarit es muy escaso. Norris (1969) reportó tres especies de hepáticas y 25 de musgos colectados a lo largo del Río San Pedro y sus tributarios cerca de Ruíz, en el municipio del mismo nombre. En la Flora de Musgos de México (Sharp *et al.*, 1994) se reportan únicamente 91 especies de musgos para todo el estado. Como una aportación al conocimiento de la brioflora de la entidad, se estudió la diversidad y formas de vida de las briofitas en distintos microhábitats en un fragmento de bosque mesófilo de montaña, colindante con un cafetal, en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

COLECTA

Para conocer la diversidad y formas de vida de las briofitas, se realizó una colecta en ocho cuadrantes (ver Capítulo I. Introducción, Figura I.6). Dentro de cada cuadrante, desde el nivel del suelo hasta una altura de 2 m, se identificaron y cuantificaron las colonias de briofitas presentes, y se registró su forma de vida: abanico, tapiz, cola, frondoso, trama y césped (Figura III.1 y Cuadro III.1; Mägdefrau, 1982; Bates, 1998; Calzadilla y Churchill, 2014) y el microhábitat que ocupan: suelo, roca, tronco, epífito, epífita en raíz y talud de cerro (Cuadro III.1; Holz *et al.*, 2002).

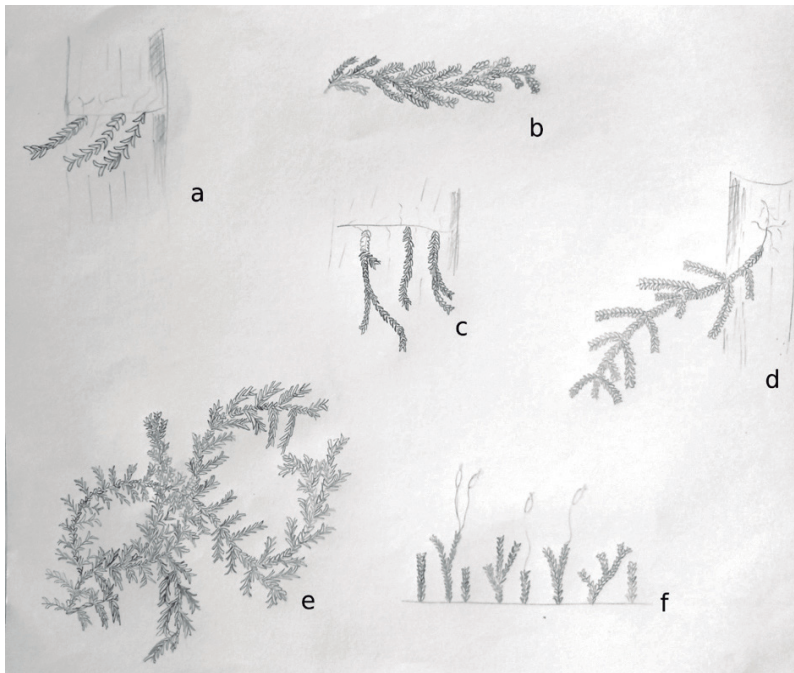


Figura III.1. Esquema de las diferentes formas de vida de briofitas observadas; **a**: abanico; **b**: tapiz; **c**: cola; **d**: frondoso; **e**: trama; **f**: césped. Esquema elaborado por Esteban Guerrero.

Se midió el diámetro mayor y menor de cada colonia con lo que se calculó su cobertura (área en cm²; Ingerpuu y Vellak, 2017). Un fragmento de cada colonia fue colectado desprendiéndolo del sustrato, siempre cuidando de no eliminar la colonia (Delgadillo-Moya, 1986). Las muestras fueron guardadas en bolsas de papel estraza, etiquetadas y transportadas al herbario de la Unidad Académica de Agricultura, para posteriormente ser identificadas. La colecta se realizó en la época de lluvias, durante los meses de septiembre y octubre de 2017 y julio de 2018.

Las plantas fueron identificadas en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, haciendo uso de guías (Sharp *et al.*, 1994; Gradstein *et al.*, 2001; Fulford, 1968), además se cotejaron con ejemplares de herbario. Los ejemplares colectados fueron depositados en el herbario de la Universidad Autónoma de Nayarit.

Cuadro III.1. Descripción de las diferentes formas de vida y microhábitats registrados en los cuadrantes para las especies de briofitas.

Formas de vida	
Tipo	Descripción
Abanico	Musgos rastreros creciendo sobre una base vertical, ramificando los brotes en un mismo plano, proyectándose hacia abajo de una forma horizontal a oblicua usualmente con hojas aplanadas.
Tapiz	Forma de crecimiento horizontal densamente entrelazada.
Cola	Tallo primario cortamente reptante con hojas escamosas dispersas, tallo secundario ascendente o subpéndulo con hojas radiales en las ramas.
Frondoso	Como una hoja; parecido a la fronde de un helecho; (en musgos-) apretada y regularmente ramificada en un plano.
Trama	Forma de crecimiento a menudo ascendente y flojamente entretejida.
Césped	Forma de crecimiento con tallos erectos, cortos, paralelos y agregados.

Trama-Tapiz	Combinación de las dos formas de vida.
Trama-Abanico	Combinación de las dos formas de vida.
Microhábitat	
Tipo	Descripción (creciendo sobre)
Suelo	Suelo
Roca	Rocas
Tronco	Madera en descomposición
Epífita	Otra planta (rama y/o tronco)
Epífita en raíz	Raíces expuestas de árboles
Talud de cerro	Laderas de la cañada

Análisis de datos

El análisis de datos se hizo usando el lenguaje estadístico R (R Core Team, 2018). Con el objetivo de conocer si la diversidad de especies colectadas en los cuadrantes fue representativa del BMM, se realizó una curva de acumulación de especies basada en la cobertura (cm²). Se utilizó la función *specaccum* de la librería *vegan* (Oksanen, 2018), usando el método “random” el cual consiste en agregar sitios en un orden aleatorio.

Para conocer la riqueza esperada se usó la función *specpool* (librería *vegan*), y se calculó con el indicador Chao. Este indicador se basa en el número de especies presentes solamente en uno o dos de los cuadrantes de colecta, el número de especies observadas, la frecuencia de las especies y el número de cuadrantes de colecta (Oksanen, 2018).

PRINCIPALES HALLAZGOS

Durante el muestreo se colectó un total de 89 ejemplares, que pertenecen a 25 especies, de las que el 72% son musgos y el 28% hepáticas. De los ejemplares que pudieron ser identificados a nivel de especie, de género o por lo menos de familia, corresponden a los musgos: 13 especies, 13 géneros y 10 familias, mientras que a las hepáticas: dos especies, siete géneros y siete familias. Todos los ejemplares que no pudieron ser identificados hasta el nivel de especie son referidos como morfoespecies (Apéndice III.1).

El 32% de las 25 especies colectadas son nuevos registros para Nayarit (Apéndice III.2), siete especies son musgos [*Epipterygium inmarginatum* Mitt., *Lepidopilum cubense* (Sull.) Mitt., *Fissidens diplopus* Mitt. var. *diplopus*, *Leucomium strumosum* (Hornsch.) Mitt., *Homaliodendron piniforme* (Brid.) Enroth, *Cyclodictyon albicans* (Hedw.) Kuntze, *Cyrto-hypnum schistocalyx* (Müll. Hal.) W.R. Buck & H.A. Crum] y una pertenece a las hepáticas (*Calypogeia peruviana* Ness et Mont.).

Cuatro familias de musgos destacaron por el número de especies observadas: Fissidentaceae con cuatro especies, Hypnaceae con tres especies y Pilotrichaceae y Thuidiaceae con dos especies cada una; mientras que, el resto de las familias de musgos y todas las de hepáticas están representadas por una sola especie.

De acuerdo con el indicador usado (Chao), la riqueza estimada fue de 30.16 ± 2.62 (media \pm error estándar). Lo cual permite concluir que únicamente se colectó el 74% de las especies de briofitas que están presentes en el área de estudio (Figura III.2).

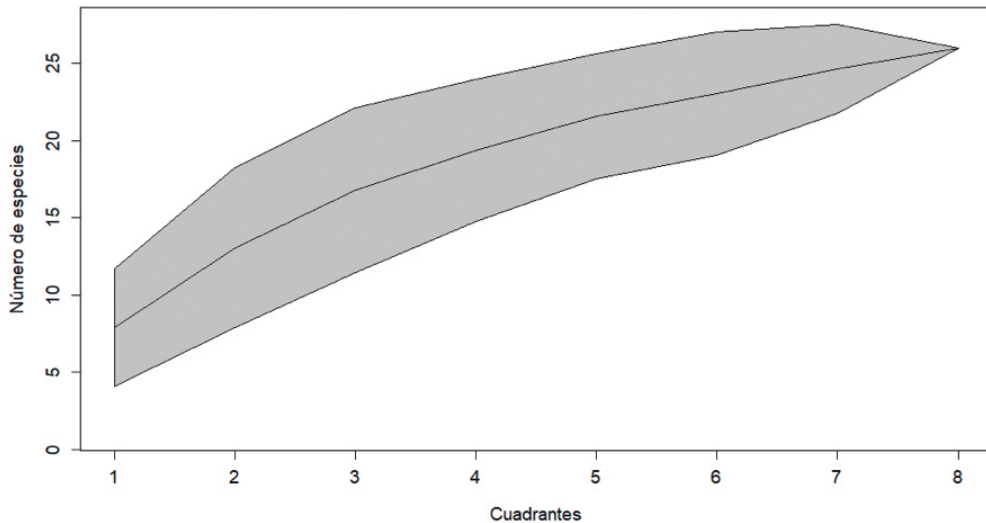


Figura III.2. Curva de acumulación de especies de briofitas colectadas en el BMM. La parte sombreada indica los intervalos de confianza.

Se encontró a las briofitas ocupando seis microhábitats distintos: suelo, roca, tronco, epífito, epífita en raíz y talud de cerro. El talud de cerro fue el microhábitat más ocupado por las briofitas, de acuerdo con los datos de cobertura, mientras que el de menor ocupación fue el epífito. Cada una de las especies de briofitas colectadas pudo asignarse a una de las siguientes formas de vida: abanico, tapiz, frondoso, trama, césped, trama-tapiz y trama-abanico. La forma de vida más frecuente fue trama, mientras que trama-abanico resultó la menos frecuente.

Dentro del área de estudio se registraron 10 especies creciendo exclusivamente en alguno de los microhábitats (Figura III.3). De las 15 especies restantes 10 se encontraron ocupando dos microhábitats distintos, tres ocupando tres, una ocupando cuatro y una última presente en cinco microhábitats [*Taxiphyllum taxirameum* (Mitt.) M. Fleisch.].

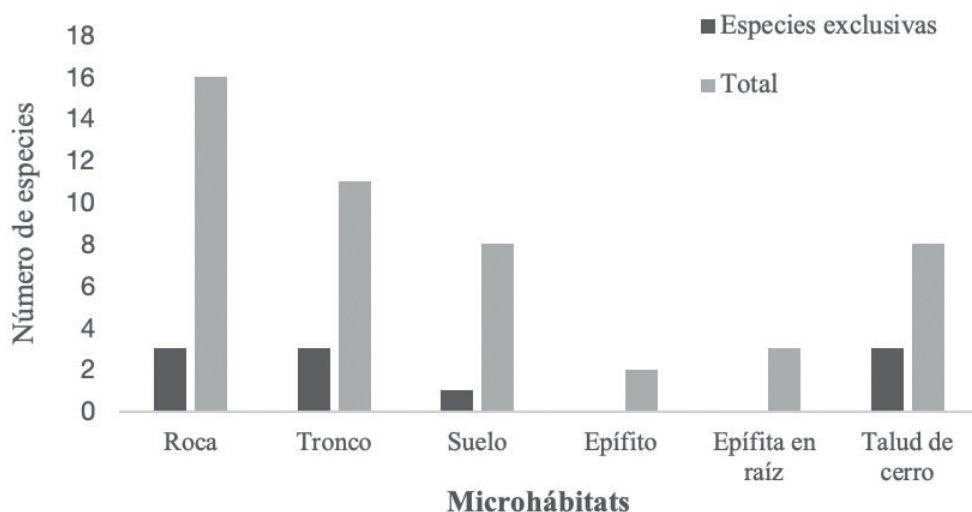


Figura III.3. Número de especies presentes en los diferentes tipos de microhábitats. La barra gris oscura representa el número de especies que fueron encontradas exclusivamente en ese microhábitat. La barra clara representa el número total de especies presentes en ese microhábitat.

DISCUSIÓN

En el muestreo realizado durante el presente estudio se registraron 18 especies de musgos (cinco de ellas morfoespecies) y siete especies de hepáticas (cinco de ellas morfoespecies). Estos números representan el 1.82% y 1.18% de las especies de musgos y hepáticas registradas en México (Delgadillo-Moya, 2014; Delgadillo-Moya y Juárez-Martínez, 2014). No obstante, el bajo número de especies registrado y el hecho de que no todos los ejemplares han sido aún identificados a nivel de especie, el presente trabajo aporta al conocimiento de la brioflora del estado, al reportar siete especies y una variedad como nuevos registros para Nayarit, así como con la elaboración de sus descripciones, mismas

que se presentan en el apéndice III.2. Esto representa un incremento al listado de 91 especies de musgos reportadas por Sharp (*et al.*, 1994) para Nayarit, y muestra como la brioflora del estado no ha sido suficientemente estudiada. Como era de esperarse, no hay ninguna especie compartida con las 25 especies de musgos y tres de hepáticas reportadas por Norris (1969), quien colectó en un tipo de vegetación completamente distinto, los bosques semiáridos a lo largo del río San Pedro en Nayarit.

Respecto a las hepáticas, a pesar de ser pocas las especies colectadas, se registraron tres géneros (*Symphyogyna*, *Dumortiera* y *Calypogeia*) afines al bosque lluvioso de montaña baja (Gradstein *et al.*, 2001). Es notable el bajo número de especies de hepáticas registradas, tomando en cuenta que a altitudes como la del área de estudio se encuentra la mayor diversidad de géneros (Gradstein *et al.*, 2001).

La forma de vida de las briofitas es resultado de la interacción de factores como la disposición de luz, agua y el sustrato, que además se ve afectada por el cambio de uso de suelo, ya que estos factores pueden variar ampliamente. Aunque algunas formas de vida son más tolerantes que otras al estrés abiótico (Mägdefrau, 1982; Bates, 1998). Conocer cuáles son las formas de vida más abundantes y presentes en la brioflora puede ayudar a entender el estado del bosque. En este estudio la forma de vida “trama” fue la más abundante y presente entre las especies, observándose en 16 especies, mientras que la segunda forma de vida más abundante fue observada en cinco especies.

Basándonos en el modelo de Bates (1998) que explica la distribución de formas de vida en gradientes de luz y humedad bajo distintos sustratos, las formas de vida observadas en el estudio reflejan la presencia de una sombra alta a media, además de una disponibilidad de humedad media a baja (tapices, tramas, dendroides). Mägdefrau (1982) reportó que las formas de vida más comunes a encontrar en un BMM son: las pendientes, colas, abanicos y tramas (de más a menos comunes). La ausencia de la primera forma de vida (pendiente) puede deberse a una falta de humedad (Mägdefrau, 1982), perturbación (Romero, 1999), o incluso competencia (Bates, 1998).

El conocer los diferentes microhábitats ocupados por las briofitas es importante para entender su ecología, ya que ciertas briofitas crecen exclusivamente en ciertas superficies, además que pueden servir como una reserva de la flora local (Cole *et al.*, 2008). En el caso de los microhábitats registrados en el sitio de estudio, destacan las rocas como el sustrato del 64% de las especies encontradas y el talud de cerro con una cobertura de briofitas significativamente mayor respecto a los demás, probablemente porque es el microhábitat que ocupa la mayor superficie de los cuadrantes, dado que el área de estudio se ubica en una pequeña cañada. En cuanto a la especificidad de microhábitat, cabe destacar que el 40% de las especies se encontró exclusivamente en alguno de los seis microhábitats.

Bibliografía

- Bates, J.W., “Is ‘Life-Form’ a Useful Concept in Bryophyte Ecology?” en *Oikos*, vol. 82 (1998), pp. 223-237.
- Bourell, M., “A checklist of the bryophytes of Chiapas, Mexico” en *Tropical Bryology*, vol. 6 (1992), pp. 39-56.
- Calzadilla, E. y S.E. Churchill, *Glosario Ilustrado para Musgos Neotropicales*. San Luis, EE. UU y Santa Cruz, Bolivia, Missouri Botanical Garden/Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, 2014.
- Cárdenas, Á., “Nuevos registros para la flora de musgos de México y del Valle de México” en *Anales del Instituto de Biología*, vol. 1, núm. único (1987), pp. 93-96.
- _____, “Los musgos cleistocárpicos del Valle de México, México” en *The Bryologist*, vol. 91, núm 3 (1988), pp. 214-216.
- _____, “Las Pottiaceae (Musci) del Valle de Mexico, México” en *Acta Botánica Mexicana*, vol. 33 (1995), pp. 51-61.
- _____, “Los musgos pleurocárpicos del Valle de México, México” en *Tropical Bryology*, vol. 16 (1999), pp. 109-116.
- _____, “Las Bartramiaceae (Musci) del Valle de México, México” en *Acta Botánica Mexicana*, vol. 50 (2000), pp. 61-65.
- Castillo, M., *Distribución de los musgos asociados a costras biológicas del suelo en un gradiente altitudinal del cerro Manrubio en San Antonio Texcala, Puebla* (tesis de licenciatura), Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalnepantla, Estado de México, 2015.
- Cole, H.A., S.G., Newmaster, F.W. Bell, D. Pitt y A. Stinson, “Substratum diversity explains landscape-scale co-variation in the species-richness of bryophytes and lichens” en *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 38 (2008), pp. 1867-1876.
- Delgadillo-Moya, C., “Mosses and Phytogeography of the Liquidambar Forest of Mexico” en *The Bryologist*, vol. 82 (1979), pp. 432-449.
- _____, “Briófitas”, en Lot A. y F. Chiang (comps.), *Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación*

- de ejemplares botánicos. México, Consejo Nacional de la Flora de México, A.C., (1986), pp. 77-82.
- _____, “Moss Distribution and the Phytogeographical significance of the Neovolcanic Belt of Mexico” en *Journal of Biogeography*, vol. 14, núm. 1 (1987), pp. 69-78.
- _____, “Floristic corridors for moss distribution across the Neovolcanic Belt of Mexico. I. The Tuxpan corridor” en *Journal of Bryology*, vol 15, núm. 1 (1988), pp. 165-175.
- _____, “Floristic corridors for moss distribution across the Neovolcanic Belt of Mexico. II. The cleistocarpic species” en *Journal of Bryology*, vol. 17, núm. 2 (1992), pp. 313-316.
- _____, “Floristic corridors for moss distribution across the Neovolcanic Belt of Mexico. III. The Michoacan corridors” en *Journal of Bryology*, vol. 20, núm. 1 (1998), pp. 27-39.
- _____, “Floristic corridors for moss distribution across the Neovolcanic Belt of Mexico. IV. The Toluca and Chalco corridors” en *Journal of Bryology*, vol. 31 (2009), pp. 30–40.
- _____, “Biodiversidad de Bryophyta (musgos) en México” en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 85 (2014), pp. S100–S105.
- _____, y Á. Cárdenas “Musgos de Zacatecas, México. I” en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 38 (1979), pp. 1-6.
- _____, y Á. Cárdenas, “A preliminary checklist of the mosses of Guanajuato, Mexico” en *Flora del Bajío y regiones adyacentes*, vol. 11 (1996), pp.1–14.
- _____, y Á. Cárdenas, “Urban Mosses in Mexico City” en *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, vol. 71, núm. 2 (2000), pp. 63-72.
- _____, y C. Juárez-Martínez “Biodiversidad de Anthocerotophyta y Marchantiophyta en México” en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 85 (2014), pp. S106–S109.
- _____, y S. Zamudio, “Algunos mugos de Tabasco, México” en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 48 (1988), pp. 13-18.
- _____, y R.H. Zander, “The Mosses of the Tehuacán Valley, Mexico, and Notes on Their Distribution” en *The Bryologist*, vol. 87, núm. 4 (1984), pp. 319-322.
- _____, Á. Cárdenas y A.J. Sharp, “Mosses of the Yucatán Peninsula, Mexico.

- I" en *The Bryologist*, vol. 85, núm. 2 (1982), pp. 253-257.
- _____, J.L. Villaseñor, Á. Cárdenas y E. Ortiz, "Diversity and distribution of mosses in the state of Hidalgo, Mexico" en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 85 (2014), pp. 84-97.
- _____, J.L. Villaseñor, E. Ortiz y A.P. Peña-Retes, "Diversidad de musgos en el Estado de Aguascalientes México" en *Botanical Sciences*, vol. 93, núm. 4 (2015), pp. 899-906.
- _____, J.L. Villaseñor, E. Ortiz y Á. Campos-Villanueva, "Floristic richness of the cloud forest moss flora of Veracruz, Mexico" en *Nova Hedwigia*, vol. 105 (2017), pp. 43-63.
- Durán, A., *Los musgos epífitos y la contaminación atmosférica en el área urbana de la Ciudad de México* (tesis de licenciatura), Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 1982.
- Fulford, M.H., "Manual of the leafy Hepaticae of Latin-America Part III" en *Memoirs of the New York Botanical Garden*, vol. 11 (1968), pp. 277-392.
- García-Ávila, D. y P.E. Martínez, "Estado actual de la colección de briofitas del Herbario EBUM", en *Biológicas*, vol. 13, (2011), pp. 1-13.
- Gradstein, S.R., S.P. Churchill y N. Salazar-Allen, "Guide to the Bryophytes of Tropical America" en *Memoirs of the New York Botanical Garden*, vol. 86 (2001), pp. 1-577.
- Herrera, P.P., *Musgos epífitos en bosques mesófilos de montaña de la Sierra Madre Oriental* (tesis de doctorado), Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México, 2013.
- Holz, I., S.R. Gradstein, J. Heinrichs y M. Kappelle, "Bryophyte diversity, microhabitat differentiation, and distribution of life forms in Costa Rican upper montane *Quercus* forest" en *The Bryologist*, vol. 105 (2002), pp. 334-348.
- Ingerpuu, N. y K. Vellak, "Methods for monitoring threatened bryophytes" en *Biodiversity and Conservation*, vol. 26 (2017), pp. 3275-3287.
- Juárez, G.G., "Los musgos de Coatepec, Veracruz, México" en *Biotica*, vol. 8 (1983), pp. 49-58.
- Lõhmus, A., P. Lõhmus, K. Vellak., "Substratum diversity explains landscape-scale co-variation in the species-richness of bryophytes and lichens" en *Biological Conservation*, vol. 135 (2007), pp. 405-414.

- Mägdefrau, K., "Life-forms of Bryophytes" en Smith A.J.E. (editor), *Bryophyte Ecology*, Londres, R.U., Chapman and Hall, 1982, pp. 45-58.
- Martínez-Meyer, E., J.E. Sosa-Escalante y F. Álvarez, "El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección?", en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 85 (2014), pp. S1-S9.
- Mills, S.E. y S.E. Macdonald, "Predictors of moss and liverwort species diversity of microsites in conifer-dominated boreal forest" en *Journal of Vegetation Science*, vol. 15 (2004), pp. 189-198.
- Norris, D.H., "A Small Collection of Bryophytes from Nayarit State, Mexico" en *The Bryologist*, vol. 72 (1969), pp. 522-525.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs y H. Wagner, *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-3, 2018, consultado en <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- R Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*, Vienna, Austria, 2018, consultado en <https://www.r-project.org/>.
- Romero, C., "Reduced-impact logging effects on commercial non-vascular pendant epiphyte biomass in a tropical montane forest in Costa Rica" en *Forest Ecology and Management* vol. 118 (1999), pp. 117-125.
- Sharp, A.J., H. Crum y P.M. Eckel., "The moss flora of Mexico" en *Memoirs of the New York Botanical Garden*, vol. 69 (1994), pp. 1-1113.
- Spangler, K., *Bryophyte ecosystem services: how bryophytes impact ecosystem processes and their use in urban systems* (Bachelor of Science), University Honors and Biology, Portland State University, 2021.
- Vanderpoorten, A. y B. Goffinet, *Introduction to Bryophytes*. Nueva York, Cambridge University Press, 2009.
- Vitt, D.H. y R.J. Belland, "Attributes of rarity among Alberta mosses: patterns and prediction of species diversity" en *The Bryologist*, vol. 100 (1997), pp. 1-12.
- Zepeda-Gómez, C., P. Ávila-Pérez, U.S. Díaz-García, Y. Alanís-Martínez, G. Zarazúa-Ortega y A. Amaya-Chávez, "Diversidad de musgos epífitos de la zona metropolitana del valle de Toluca, México" en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 85 (2014), pp. 108-124.

APÉNDICE III.1

Cuadro III.3. Listado de especies colectadas en el BMM en Cumbres de Huicicila, Nayarit. A las especies registradas durante el muestreo, se agregan dos más colectadas fuera de los cuadrantes; estas últimas se indican con asterisco.

Familia y especies	Microhábitat	Forma de vida	Número de colecta (E. Guerrero)
BRYOPHYTA (<i>SENSU STRICTO</i>)			
Bryaceae			
<i>Epipterygium immarginatum</i> Mitt.	Roca, Talud de cerro	Césped	212, 225, 238, 253, 289
Calymperaceae			
* <i>Syrrophodon incompletus</i> Schwägr. var. <i>incompletus</i>	Epífito	Cola	263
Daltoniaceae			
<i>Lepidopilum cubense</i> (Sull.) Mitt.	Tronco, Epífito	Abanico	213, 219, 231
Fissidentaceae			
<i>Fissidens dipلودus</i> Mitt. var. <i>dipلودus</i>	Roca, Epífita en raíz	Abanico	278, 279, 275, 284, 229, 218, 293, 299
<i>Fissidens</i> sp. (Morfo #1)	Roca, Tronco, Suelo	Abanico	267, 306
<i>Fissidens</i> sp. (Morfo #2)	Talud de cerro	Abanico, Abanico-Trama	255, 303
<i>Fissidens</i> sp. (Morfo #3)	Suelo	Abanico-Trama	256, 245
Hypnaceae			
<i>Chryso-hypnum diminutivum</i> (Hampe) W.R. Buck	Tronco	Trama	228

Familia y especies	Microhábitat	Forma de vida	Número de colecta (E. Guerrero)
<i>Isoperigium tenerum</i> (Sw.) Mitt.	Tronco	Tapiz, Trama, Trama-Tapiz	227,233, 270, 272
<i>Taxiphyllum taxirameum</i> (Mitt.) M. Fleisch.	Roca, Tronco, Suelo, Epífita en raíz, Talud de cerro	Tapiz, Trama, Trama-Tapiz	210, 216, 222, 237, 259, 260, 264, 266, 271, 277, 286, 292
Leucomiaceae			
<i>Leucomium strumosum</i> (Hornsch.) Mitt.	Roca, Tronco, Epífito	Trama, Trama-Abanico	287, 288
Neckeraceae			
<i>Homaliodendron piniforme</i> (Brid.) Enroth	Roca	Fronroso	274
Octoblephareaceae			
* <i>Octoblepharum albidum</i> Hedw.	Epífito	Césped	265
Pilotrichaceae			
<i>Callicostella pallida</i> (Hornsch.) Ångstr.	Tronco	Césped	273, 281, 282
<i>Cyclodictyon albicans</i> (Hedw.) Kuntze	Roca, Talud de cerro	Trama, Trama-Tapiz	239, 257, 258
Pottiaceae			
<i>Pottiaceae</i> sp. (Morfo #4)	Roca	Césped	211, 276, 290
Racopilaceae			
<i>Racopilum tomentosum</i> (Hedw.) Brid.	Roca, Suelo	Trama	232, 260 bis, 277 bis
Thuidiaceae			
<i>Cyrto-hypnum minutulum</i> (Hedw.) W.R. Buck & H.A. Crum	Roca, Tronco	Trama	285, 291
<i>Cyrto-hypnum schistocalyx</i> (Müll. Hal.) W.R. Buck & H.A. Crum	Tronco, Epífita en raíz	Trama	230, 240
No identificada			
Bryophyta (s.s.) sp. (Morfo #5)	Roca	Trama	300

Familia y especies	Microhábitat	Forma de vida	Número de colecta (E. Guerrero)
MARCHANTIOPHYTA			
Calypogeiaceae			
<i>Calypogeia peruviana</i> Nees et Mont.	Roca, Suelo	Trama	234, 268, 305, 307, 309, 310
Dumortieraceae			
<i>Dumortiera hirsuta</i> (Sw.) Nees	Roca, Tronco, Suelo, Talud de cerro	Trama	242, 243, 250
Lejeuneaceae			
<i>Lejeunea</i> sp. (Morfo #6)	Roca, Tronco	Trama, Trama-Tapiz	236, 280, 283
Lepidoziaceae			
<i>Lepidoziaceae</i> sp. (Morfo #9)	Roca, Suelo	Trama, Trama-Tapiz	255, 303
Lophocoleaceae			
<i>Lophocoleaceae</i> sp. (Morfo # 7)	Talud de cerro	Trama	246
Pallaviciniaceae			
<i>Symphyogyna</i> sp. (Morfo #8)	Roca, Suelo, Talud de cerro	Trama	235, 241, 252, 262, 269
Marchantiaceae			
<i>Marchantia</i> sp. (Morfo #10)	Talud de cerro	Trama	244, 251

APÉNDICE III.2

Descripción de los nuevos registros de las briofitas colectadas en el bosque mesófilo de montaña en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

Bryophyta (sensu stricto)
Epipterygium immarginatum Mitt.

Familia: Bryaceae

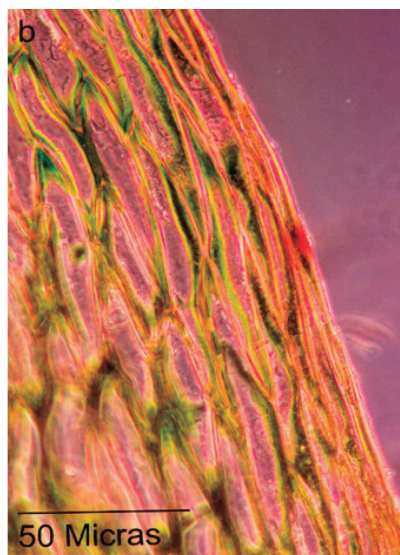
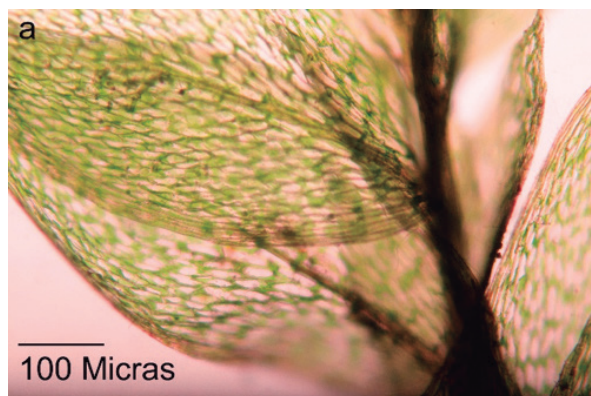
Sustrato: Visto sobre rocas y en talud de cerro

Forma de vida: Césped

Distribución: Chiapas, Oaxaca, Puebla

Ejemplares examinados: E. Guerrero 212, 225, 238, 253, 289

Epipterygium immarginatum



Plantas opacas y rojizas, complanado foliadas 10-20 (-25) mm de altura; hojas dimorfas, márgenes aserrados cerca del ápice; costa $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ - $\frac{2}{3}$ de longitud en hojas laterales; células 80-170 μm de largo y 15-24 μm de ancho, células del margen abruptamente linear en hileras de 3-6, células distales de las hojas de rómbicas a romboidales. a) Hojas, 100x de magnificación total, campo claro (BF). b) Margen de la hoja, 400x de magnificación total, contraste de fases 2 (Ph2).

Lepidopilum cubense (Sull.) Mitt.

Familia: Daltoniaceae

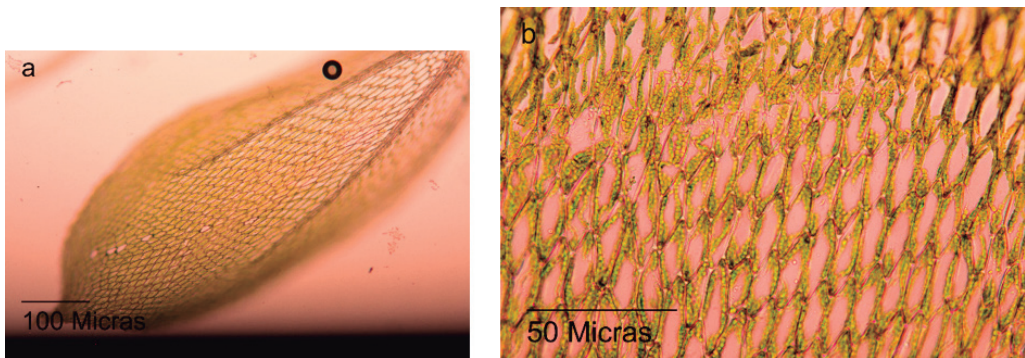
Sustrato: Epífita de arbustos, aunque también encontrado en troncos caídos

Forma de vida: Abanico

Distribución: Oaxaca, Puebla, Veracruz

Ejemplares examinados: E. Guerrero 213, 219, 231

Lepidopilum cubense



Plantas verde-amarillas o dorado-café, brillantes, escasamente ramificada, cerca de 2 cm de largo, (con hojas) 4 mm de ancho, frecuentemente portando grupos axilares de filamentos pálidos en ocasiones rojizos. Hojas \pm arrugadas cuando secas, oblongas elípticas y \pm asimétricas, agudas o acuminadas, curvadas y en ocasiones torcidas en el ápice; márgenes serrulados en la cima; costa delgada terminando debajo de la mitad de la hoja o en ocasiones hasta $\frac{3}{4}$ de la longitud

de la hoja; células superiores oblongo hexagonales a romboidales, 4-9:1, las células marginales lineares en 1-2 hileras. Seta 10 mm de largo, papilosa en la cima. a) Hoja, 100x de magnificación total, BF. b) Células medias de la hoja, 400x de magnificación total, BF.

Fissidens diplodus Mitt. var. *diplodus*

Familia: Fissidentaceae

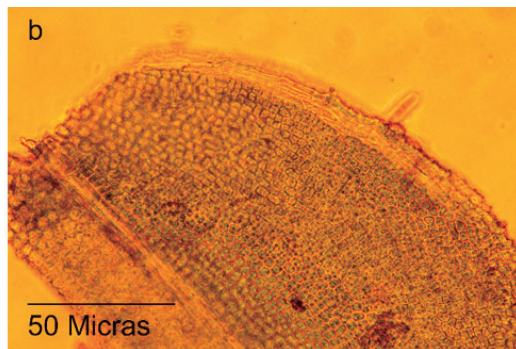
Sustrato: Sobre rocas y como epífita de raíz en troncos en descomposición

Forma de vida: Abanico

Distribución: Chiapas, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz

Ejemplares examinados: E. Guerrero 278, 279, 275, 284, 229, 218, 293, 299

Fissidens diplodus



Plantas verde pálido, hasta 6 mm de largo, erecto a decumbente y ascendente, principalmente ramificándose desde arriba. Hojas lanceoladas a oblongas, hasta 1.8 mm de largo pero usualmente cortas, agudas, ocasionalmente cuspidadas; márgenes crenulados a serrulados, bordeado en hojas periqueciales y 1-2 pares inmediatamente debajo de estas, los bordes usualmente $\frac{1}{2}$ - $\frac{2}{3}$ de largo de la lámina vaginante, en ocasiones difícil de ver; costa percurrente o terminando 2-4 células debajo del ápice, en ocasiones en la cúspide; lamina vaginante desigual; células laminares irregularmente hexagonales, 6-8 μm , con papilas largas, sencillas o divididas. Ramas perigoniales generalmente en las axilas de

las hojas justo debajo del periquecio. Seta terminal en tallos principales y ramas, hasta cerca de 1.5 mm de largo, capsulas erectas y simétricas, cilíndricas, pálidas; opérculo rostrado, $\frac{1}{2}$ o menos de longitud en la urna; dientes del peristoma frágiles, erectos, sin dividir. Caliptra cuculada, lisa. a) Rama de planta, 100x de magnificación total, Ph1. b) Base de la hoja, 400x de magnificación total, Ph1.

Leucomium strumosum (Hornsch.) Mitt.

Familia: Leucomiaceae

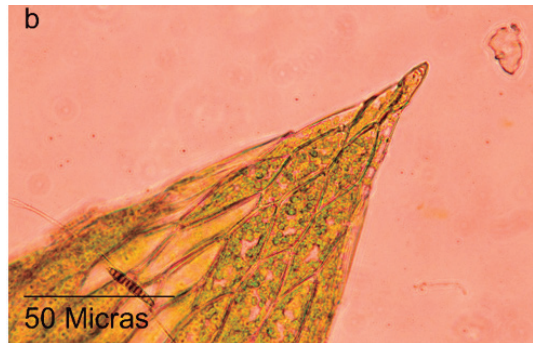
Sustrato: Sobre rocas, como epífitas y en troncos en descomposición

Forma de vida: Trama, Trama-Abanico

Distribución: Oaxaca, Puebla, Veracruz

Ejemplares examinados: E. Guerrero 287, 288

Leucomium strumosum



Hojas apiñadas pero reducidas y holgadamente extendiéndose a ampliamente extendidas y en ocasiones \pm secundas cuando secas, vagamente complanadas, 1.5-2 mm de largo, lanceoladas, largo acuminadas; márgenes enteros, sin costa, células con aspecto vacío y laxamente romboidales. Seta 8-18 mm de largo, curveada y vagamente áspera en la punta; cápsulas cerca 0.8 mm de largo; opérculo tan largo como la urna. Caliptra esparcidamente pilosa. a) Hoja, 100x de magnificación total, Ph1. b) Ápice de la hoja, 400x de magnificación total, Ph1.

Homaliodendron piniforme (Brid.) Enroth

Familia: Neckeraceae

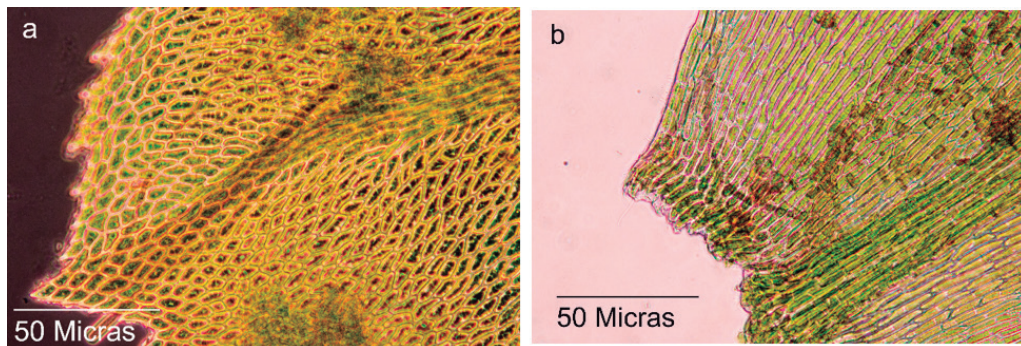
Sustrato: Roca.

Forma de vida: Frondoso.

Distribución: Oaxaca

Ejemplares examinados: E. Guerrero 274

Homaliodendron piniforme



Plantas más bien pequeñas, algo brillosas, amarillentas. Tallos secundarios 1-2 pinados encima de una base estipitada, cerca de 2-5 cm de altura, ocasionalmente holgada e irregularmente ramificados, mas elongados y algo péndulos (hasta 15 cm de largo). Hojas de la rama subescarrosas, complandas, lisas o \pm biplegadas cuando secas, cerca de 0.7-1 mm de largo, ampliamente oblongo-ovadas a elípticas, obtuso-redondeadas y abruptamente estrechadas hacia un ápice ancho; márgenes irregularmente serrados hacia el ápice y serrulados cerca de la base; costa terminando arriba de $\frac{2}{3}$ de la hoja, ocasionalmente con un brote basal o medio; células lisas, de pared moderadamente gruesa, cortas romboidales a subcuadradas en la cima, haciéndose largas hacia la base. a) Ápice de la hoja, 400x de magnificación total, Ph2. b) Base de la hoja, 400x de magnificación total, Ph1.

Cyclodictyon albicans (Hedw.) Kuntze

Familia: Pilotrichaceae

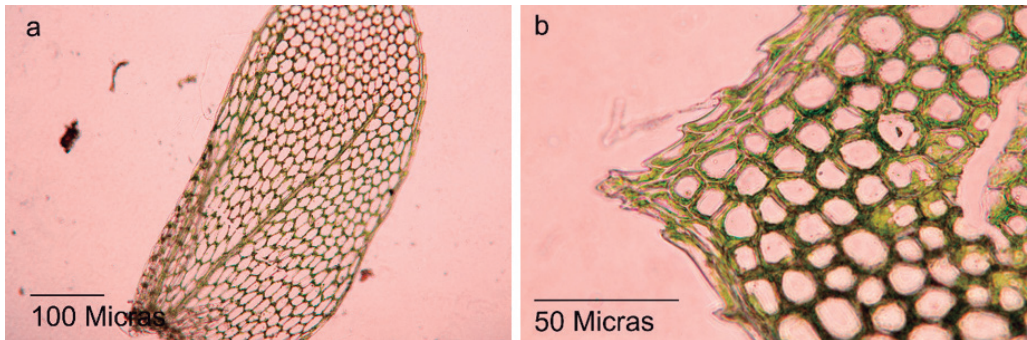
Sustrato: Talud de cerro y roca

Forma de vida: Trama, Trama-tapiz

Distribución: Chiapas, Hidalgo, Michoacán, Morelia, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Veracruz

Ejemplares examinados: E. Guerrero 239, 257, 258

Cyclodictyon albicans



Plantas pálidas o verde amarillosas, iridiscentes. Tallos hasta 3 cm de largo y 2.5-4 mm de ancho (con hojas). Hojas erectas extendidas o extendiéndose brevemente cuando secas, 1.5-2 mm de largo, ovado-lanceoladas a oblongo ovadas, abruptamente corto acuminadas; márgenes enteros a largo de este o serrado en el $\frac{1}{3}$ superior, bordeadas por 1-2 hileras de células de la base, generalmente 2 (pero en ocasiones 1 o 3) hileras en el medio y 2 hileras en el ápice; costa excurrente y terminando en una espina pequeña; células superiores hexagonales, en ocasiones ligeramente elongadas en el ápice. Seta (7-) 12-18 mm de largo; capsulas erectas a horizontales, ovoide cilíndricas, apretadas debajo de la boca cuando secas; dientes del exostoma rojizo café. a) Hoja, 100x de magnificación total, Ph1. b) Ápice de la hoja, borde observable, 400x de magnificación total, BF.

Cyrto-hypnum schistocalyx (Müll. Hal.) W.R. Buck & H.A. Crum

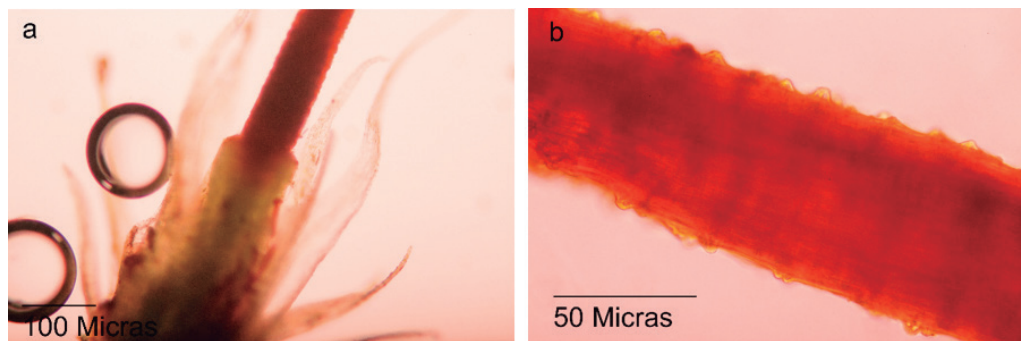
Familia: Thuidiaceae

Sustrato: Sobre tronco en descomposición y epífita sobre raíz

Forma de vida: Trama

Distribución: Campeche, Chiapas, Jalisco, Oaxaca, Puebla, Veracruz, Yucatán

Ejemplares examinados: E. Guerrero 230, 240

Cyrto-hypnum schistocalyx

Plantas verdeoscuros o amarillentas. Tallos irregularmente bipinados; parafilios abundantes en los tallos y ramas primarias, simples o en ocasiones ligeramente ramificados, 2-6 (rara vez 10) células de largo, terminando en células pluripapilosas y truncadas. Hojas de los tallos 0.2-0.5 mm de largo, estrechándose gradualmente desde una base ovada a un acumen delgado terminando con 2-7 (o rara vez más) células concoloras en una hilera; márgenes crenulados papilosos; costa terminando cerca del ápice; células 6-10 μm , pluripapilosas en ambas superficies. Hojas 0.2-0.3 mm de largo, ovadas; costa $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ de la longitud de la hoja; células 6-8 μm , células apicales truncadas, pluripapilosas. Hojas periqueciales hasta 1.4 mm de largo, escasamente a copiosamente ciliadas en los márgenes inferiores. Seta 9-15 mm de largo, roja, áspera; capsulas 0.7- 1 mm de largo, asimétrica, inclinada. a) Hojas periqueciales, 100x magnificación total, BF. b) Papilas en la seta, 400x de magnificación total, BF.

Marchantiophyta
Calypogeia peruviana Nees et Mont.

Familia: Calypogeiaceae

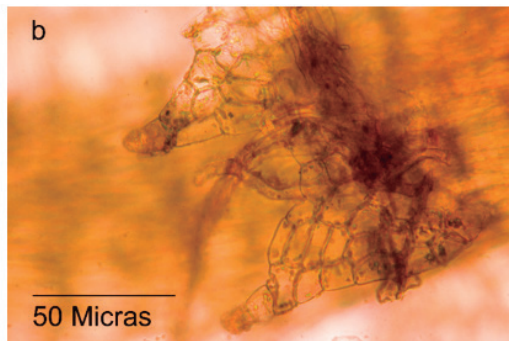
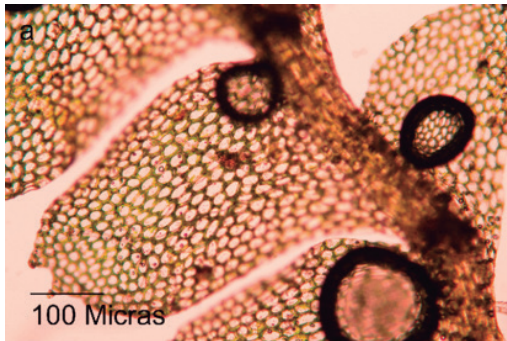
Sustrato: Sobre rocas y suelo

Forma de vida: Trama

Distribución: Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz

Ejemplares examinados: E. Guerrero 234, 268, 305, 307, 309, 310

Calypogeia peruviana



Plantas de tamaño mediano a grande, hoja pequeñas y gemiparasas en las puntas, irregularmente ramificadas. Rizoides, frecuentes, largos, en mechones hialinos, amarillos o pardos desde la base de los Anfigastros. Línea de inserción de la hoja oblicua y curvada en la parte superior. Hojas distantes a imbricadas, ovadas desde una base ancha, la base dorsal curvada, la base ventral recta o en ocasiones decurrente en plantas menos robustas, reducidas al ápice cortamente bífidas, los segmentos cortos, triangulares desde una base de 2-4 células, terminando en una punta de 1-2 células, el seno en forma de U; células de la parte superior de la hoja hexagonales, regulares 26-39 X 26-39 μm , las paredes uniformemente delgadas sin trígonos. Anfigastros conspicuos, distantes, más anchos que el tallo, profundamente fijados en el tallo, bífidos y con un seno amplio, los dientes del segmento usualmente anchos, obtusos, los márgenes

laterales convexos y con un segundo diente amplio o proyección en el margen, dientes adicionales cortos y agudos en ocasiones presentes. a) Vista dorsal de la planta a 100xBF. b) Anfigastros a 400xBF.

IV COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD DE HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES

Ana Aguilar-Chama y Rocío Vega-Frutis

INTRODUCCIÓN

Las plantas participan activamente conectando las interacciones entre las comunidades de organismos por arriba y por debajo del suelo. Por lo tanto, juegan un papel clave en las interacciones bióticas que existen entre los organismos de ambos ambientes (van Dam y Heil, 2011). Las interacciones por arriba del suelo que influyen sobre la cantidad y calidad de recursos producidos por las plantas pueden ejercer importantes efectos por debajo del suelo, por ejemplo, la calidad (contenido y concentración de nitrógeno, fósforo, lignina y fenoles) de hojarasca producida tiene una influencia importante en la biomasa, actividad y composición de la microbiota del suelo (Wardle, 2013). De esta manera los procesos dentro de los ecosistemas (p. ej. mineralización de carbono y nitrógeno, nitrificación y desnitrificación) pueden ser ampliamente regulados por las interacciones tróficas que se establecen a través de las plantas (p. ej. herbivoría). Adicionalmente, la biota del suelo afecta la composición química de este y la capacidad de las raíces para absorber nutrientes minerales afectando las tasas de crecimiento de las plantas, y la composición y estructura de las comunidades vegetales (Heil, 2011; van Dam y Heil, 2011).

Las interacciones que las plantas tienen con otros organismos pueden ser negativas o positivas desde la perspectiva de cada interactuante. Pero en general, los mutualismos son interacciones fundamentales para la supervivencia

y la reproducción, donde ambos interactuantes mantienen un balance de beneficios y costos. Las interacciones mutualistas representan importantes contribuciones de la naturaleza al bienestar humano, como la polinización y la dispersión de semillas, y son componentes clave de los ciclos de carbono y nitrógeno (bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos, Kiers *et al.*, 2010; Harrison *et al.*, 2010).

En particular, los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) juegan un papel importante al conectar las raíces de las plantas con los nutrientes minerales del suelo. Los HMA pertenecen al subphylum Glomeromycotina y son un linaje antiguo de simbioses mutualistas obligados (necesitan de una planta hospedera para completar su ciclo de vida) que atraviesan y colonizan las raíces de la mayoría de las familias de plantas terrestres (92%, Wang y Qiu, 2006) desde briofitas hasta angiospermas (Brundrett, 2002). Se considera que estos hongos tuvieron un papel importante en la colonización del ambiente terrestre por las plantas. Se ha registrado su asociación desde hace 460 millones de años aproximadamente (Redecker *et al.*, 2000) en el periodo geológico del Ordovícico.

El principal atributo de esta interacción simbiótica (por lo general mutualista), es la transferencia bidireccional de nutrientes: las plantas proveen a los hongos de un microhábitat (dentro de sus raíces) y energía (carbohidratos derivados de la fotosíntesis), esenciales para su supervivencia y crecimiento; aunque las estimaciones pueden variar, se ha sugerido que las plantas podrían destinar entre 10 y 30% de sus fotosintatos para mantener la relación con los HMA (Jacobsen y Rosendahl, 1990; Finlay y Söderström, 1992). A cambio, los hongos forman extensas redes de hifas (células alargadas con diámetros de pocas micras características de los hongos, que en su conjunto se denomina micelio) de manera extrarradical, es decir fuera de las raíces, en el suelo. El micelio extrarradical funciona como una extensión del sistema radical de las plantas, este micelio absorbe agua, fósforo, nitrógeno y otros nutrientes minerales del suelo que son transportados a las raíces de sus plantas hospederas, y liberados por medio de estructuras especializadas llamadas arbusculos (Smith y Smith, 2011; Bonfante y Desirò, 2015, Figura IV.1). En hábitats pobres en nutrientes, cerca del 75% del fósforo que adquieren las plantas es a través de

la micorriza arbuscular (van der Heijden *et al.*, 2008). Además, el micelio extrarradical también produce formas recalcitrantes de carbono tales como quitina y glomalina que pueden contribuir a la estabilidad estructural del suelo y al secuestro de carbono (Zhu y Miller, 2003; Soka y Ritchie, 2014). Al aumentar la absorción de nutrientes de las plantas, los HMA actúan como bioprotectores, ya que las plantas micorrizadas son más resistentes a los herbívoros y patógenos (Augé, 2001; Al-Karaki *et al.*, 2004).

Los HMA pueden persistir en el suelo como esporas (las cuales tienen reservas de lípidos y glucógenos), estas esporas son asexuales, son la única fase del ciclo de vida de los hongos en que no están vinculados a las plantas hospederas. Existe evidencia de que los exudados en las raíces estimulan la germinación de estas esporas, además de que son agentes de señalización que guían el crecimiento de las hifas que se producen al germinar las esporas para que estas se pongan en contacto directo con las raíces (Bofante y Desirò, 2015). Una vez que se ha dado el contacto entre las raíces y las hifas del hongo se desarrolla una estructura conocida como apresorio, que le permite al hongo penetrar al córtex de la raíz y posteriormente formar otras estructuras intrarradicales como hifas, vesículas, esporas y los mencionados arbusculos (Figura IV.1). Tanto el micelio extrarradical como las esporas son importantes como fuente de inóculo, también conocidos como “propágulos infectivos” que colonizan las raíces de las plantas (Smith y Read, 2008). Algunas características de estas estructuras pueden ser consideradas para identificar tipos de historia de vida de los HMA bajo diferentes condiciones ambientales (Brito *et al.*, 2011).

En cuanto a su conocimiento taxonómico y ecológico es un grupo interesante, dadas sus características de reproducción asexual y de mutualista obligado. Estos hongos son multinucleados en todas las etapas de su ciclo de vida y sus hifas no presentan divisiones o septos por lo que son unidades en forma de tubo muy alargadas y ramificadas. Los HMA presentan una alta variación molecular intracelular e intraespecífica de la cual existe escasa información (Soka y Ritchie, 2014; Pandey y Garg, 2017). Esta variación podría generar diferencias en el funcionamiento de la interacción, aunque los mecanismos que generan la diversidad funcional en estos hongos no son claros (Lee *et al.*, 2013).

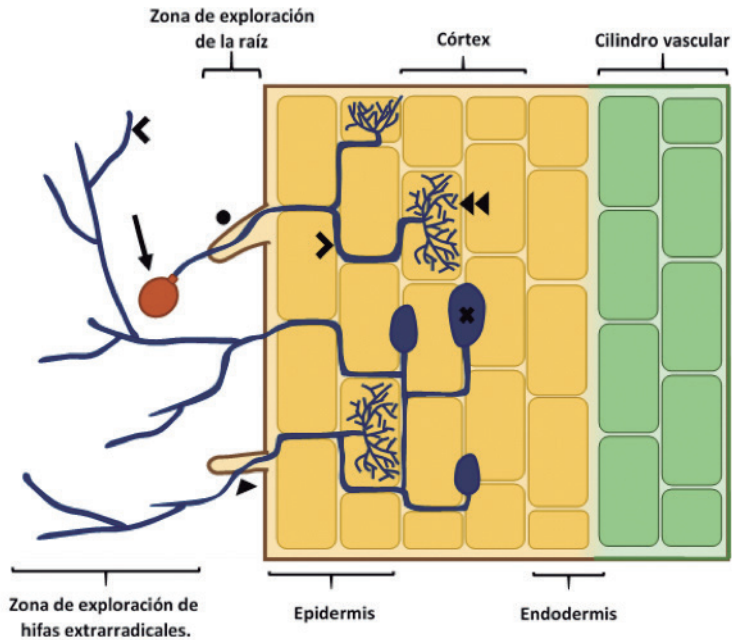


Figura IV.1. Representación gráfica de las principales estructuras fúngicas de los hongos micorrizógenos arbusculares, fuera y dentro de la raíz de la planta. Los HMA, fuera de la raíz tienen la capacidad de formar (\rightarrow) esporas, las cuales son estructuras de propagación, latencia y la única fase independiente del hongo. El (\blacktriangleright) apresorio, estructura fúngica que rompe la cutícula de la raíz que permite la penetración de la ($<$) hifa extrarradical a través de la cual se absorbe fósforo, nitrógeno, micronutrientes y agua de manera más eficiente que los (\bullet) pelos radicuales. Dentro de la raíz, se forman los ($\blacktriangleleft\blacktriangleleft$) arbuscúlos, los cuales son la principal estructura de intercambio de nutrientes, ($>$) las hifas intrarradicales y las (X) vesículas, que son estructuras de reserva del hongo, almacenando principalmente lípidos. Estas estructuras fúngicas se forman en la epidermis y/o córtex de la planta, sin invadir la endodermis y el cilindro vascular. Tomada de Balderas-Alba A., 2019, con permiso.

Hasta la fecha se ha estimado la riqueza global de hongos micorrizógenos basadas en secuencias de ADN ribosomal, las estimaciones varían de 341-1600 unidades taxonómicas operativas (OTUs, Koljalg *et al.*, 2013), las cuales podrían

asociarse con cerca de 200 mil especies de plantas (Brundrett, 2009). Esto nos da una idea de la baja especificidad de estos hongos con sus hospederos. Sin embargo, se ha observado una preferencia por ciertos hospederos (Öpik *et al.*, 2009).

La distribución de las especies de estos hongos puede variar por diversos factores como el clima o las condiciones edáficas (Bagyaraj, 2014). Sin embargo, presentan una amplia distribución a través del mundo asociándose con alrededor del 80% de las plantas terrestres (Wang y Qiu, 2006; Brundrett, 2009). Öpik *et al.* (2006) mostraron que diferentes ecosistemas pueden tener diferentes ensamblajes en la comunidad de hongos, reportando mayor riqueza de HMA para los bosques tropicales (18.2 taxa de hongos por especie de planta), seguido de los pastizales (8.3), bosques templados (5.6) y hábitat con influencia humana (5.2). Se ha identificado que las prácticas agrícolas y los cambios en los patrones del uso de suelo afectan negativamente la diversidad de especies de estos hongos (Bagyaraj, 2014; Trejo *et al.*, 2016; Vega-Frutis *et al.*, 2018). Debido a la conversión de los ecosistemas para cultivos o expansión de la urbe, tanto el conocimiento de estos simbiontes así como su función dentro de estos ecosistemas sólo puede ser posible dentro de la distribución relictual de los mismos.

En México, por ejemplo, el bosque mesófilo de montaña (BMM) es un ecosistema que ha sufrido las consecuencias del cambio de uso de suelo a lo largo de su distribución. En la región Serranías de Nayarit, se encuentran fragmentos relictuales de BMM que representan la distribución más septentrional de este ecosistema en México (CONABIO, 2010). Estos remanentes de BMM se distribuyen entre los 900 y 1,300 m de altitud (Téllez, 1995) y están en un mal estado de conservación, por esto los BMM en la Serranías de Nayarit han sido clasificados de prioridad media, alta y crítica (CONABIO, 2010) para su conservación, es decir que se requieren acciones inmediatas para asegurar su permanencia. La riqueza de especies (p. ej. plantas y animales) es menor con respecto a otros BMM como los que se encuentran en Chiapas y Oaxaca, inclinándose más la balanza a sus endemismos. Para el estado de Nayarit entre las especies restringidas están *Rhynchosia elisae* (Fabaceae), *Magnolia pacifica* subsp. *pacifica* (Magnoliaceae), *Quercus planipocula* (Fagaceae), *Aeschynomene unijuga* (Fabaceae), *Lopezia lopezoides* (Onagraceae) y *Polypodium sanctae-*

rosae (Polypodiaceae). Su importancia y prioridad de conservación se deben a las contribuciones que este ecosistema tiene para el bienestar humano, tales como captura de agua y de carbono, conservación de la biodiversidad y del suelo, formación de abundante materia orgánica, conservación de acervos genéticos, filtración de contaminantes del aire, suelo y agua, regulación del clima, mantenimiento de ciclos minerales de gases y agua (CONABIO, 2010).

El cambio de uso de suelo y las prácticas agrícolas en terrenos de cultivo ha generado nuevas presiones sobre las interacciones bióticas en general. Debido a que los mutualismos vinculan a múltiples especies, su potencial desaparición podría poner en riesgo el funcionamiento de los ecosistemas (Kiers *et al.*, 2010). La importancia de la descripción de patrones en la diversidad ya sea taxonómicos o funcionales de los hongos micorrizógenos arbusculares pueden sustentar las estrategias de conservación de ecosistemas basado en el conocimiento de su funcionamiento ante cambios ambientales. Por lo tanto, el objetivo principal del presente trabajo fue conocer la diversidad de los HMA de un fragmento de BMM y su cafetal asociado en Cumbres de Huicicila, Nayarit.

MUESTREO DE SUELO EN CAMPO

En el sitio de estudio (ver Capítulo I. Introducción, Figura I.5), en octubre de 2016 en ambas comunidades vegetales (BMM y cafetal) se marcaron a lo largo de un transecto de 50 m, diez cuadros de 5 x 5 m (cinco cuadros del lado izquierdo y cinco cuadros del lado derecho, alternando uno y uno). En cada cuadro se colectó suelo de cinco puntos diferentes usando un nucleador (2.5 cm de diámetro y 25 cm de altura) retirando previamente la cubierta de hojarasca. El suelo de los cinco puntos fue homogeneizado para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 2 kg.

El suelo de cada cuadro fue colocado en bolsas de papel estraza y secado en estufa a 60°C por tres días, para posteriormente hacer la extracción de las esporas en 100 g de suelo seco por cuadro (Apéndice IV.1).

ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO PARA CONOCER LA COMUNIDAD DE HONGOS MICORRIZÓGENOS

Las esporas son las estructuras fúngicas utilizadas comúnmente para la descripción de morfoespecies de hongos micorrizógenos arbusculares presentes en el suelo y constituyen una reserva importante de inóculo para la colonización de las raíces. Otras fuentes de inóculo para la colonización de nuevas raíces son el micelio extrarradical, así como los fragmentos de raíz ya colonizados. La composición y estructura de la comunidad de HMA en el suelo aporta información sobre su diversidad morfológica y funcional, aspectos poco conocidos en muchas comunidades. La taxonomía de estos hongos se basó durante mucho tiempo en las características morfológicas de sus esporas (estructuras de reproducción asexual), como color, cambio de color ante algunos químicos, tamaño, número de paredes entre otras. El aislamiento y cuantificación de las esporas es un proceso simple y accesible a partir del cual se puede conocer la abundancia de esporas (basado en sus características morfológicas) de estos hongos en diferentes tiempos y estimar cuántas morfoespecies se pueden asociar potencialmente a las especies vegetales presentes. Sin embargo, el número de esporas presentes en el suelo en un momento dado no se relacionan directamente con la diversidad total de la comunidad ni cuáles morfoespecies están colonizando qué especies de plantas u hospederos.

En este estudio la extracción de esporas de HMA del suelo se realizó mediante un tamizado húmedo (Gerdemann y Nicolson, 1963) y centrifugado en sacarosa (Apéndice IV.1). Posteriormente, se realizaron preparaciones permanentes de las esporas (Apéndice IV.2) para su identificación. Todas las preparaciones se encuentran disponibles en la colección de hongos micorrizógenos arbusculares en el Herbario de la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit.

La identificación de morfoespecies se realizó mediante comparación con descripciones reportadas en el INVAM (2021), considerando las descripciones realizadas por el Dr. Janusz Blaszowski (2021) y siguiendo las descripciones reportadas en Schüßler y Walker (2010).

HALLAZGOS IMPORTANTES

Los hongos micorrizógenos arbusculares fueron incluidos en el orden de los Glomerales por Morton y Benny (1990). Actualmente, la posición taxonómica de este grupo de hongos y las relaciones filogenéticas dentro del grupo han cambiado debido a la incorporación de la información generada a partir de estudios moleculares. Por lo tanto, estos hongos han sido ubicados en el phylum Mucoromycota, subphylum Glomeromycotina (Spatofora *et al.*, 2016), aunque algunos estudios filogenéticos y estimaciones de tiempos de divergencia sugieren que este grupo debe permanecer con la categoría del phylum Glomeromycota (p. ej. Tedersoo *et al.*, 2018; Wijayawardene *et al.*, 2020). Entre sus principales características, es que presentan micelio cenocítico, forman esporas asexuales, que pueden producirse individualmente (solitarias) o bien agrupadas en esporocarpos. Algunos géneros pueden presentar esporas de estructura compleja (paredes estructurales quitinosas). Este phylum tiene tres clases descritas, cinco ordenes, 17 familias (Tabla IV.1) y se han descrito alrededor de 330 especies (Redecker *et al.*, 2013; Oehl *et al.*, 2011, Wijayawardene *et al.*, 2020; Polo-Marcial *et al.*, 2021).

Cuadro IV.1. Clasificación taxonómica de los hongos micorrizógenos arbusculares (Redecker *et al.*, 2013, Oehl *et al.*, 2011, Wijayawardene *et al.*, 2020; Polo-Marcial *et al.*, 2021). Las clases, ordenes y familias están en orden alfabético.

Clases	Ordenes	Familias
Archaeosporomycetes	Archaeosporales	Ambisporaceae
		Archaeosporaceae
		Geosiphonaceae
Glomeromycetes	Diversisporales	Acaulosporaceae
		Diversisporaceae
		Pacisporaceae
		Sacculosporaceae
	Gigasporales	Dentiscutataceae
		Gigasporaceae
		Intaornatosporaceae
		Racocetraceae
		Scutellosporaceae
	Glomerales	Claroideoglomeraceae
		Entrophosporaceae
		Glomeraceae
	Paraglomeromycetes	Paraglomerales
Pervetustaceae		

En el sitio de estudio, para el bosque mesófilo de montaña y cafetal se encontraron 10 especies o morfoespecies de HMA. De estas especies, 9 (90%) fueron especies que se observaron en ambas comunidades vegetales. La especie con mayor número de esporas en el BMM fue *Acaulospora* sp. (media \pm error estándar: 31.2 ± 9.8), mientras que en el cafetal el mayor número de esporas fue encontrado para *Funelliformis geosporum* (42.6 ± 14.3). *Septoglo mus constrictum* fue la única especie que fue registrada exclusivamente en el cafetal, y presentó una abundancia de 3 esporas (0.3 ± 0.2), que representa menos del 1% de las esporas registradas en el cafetal. En promedio para el cafetal se registraron 139

± 21.0 esporas y para el BMM 50.2 ± 9.4 esporas ($P < 0.01$).

A continuación, se presenta una descripción general de las morfoespecies que conforman la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares basado en las esporas encontradas en muestras de suelo del BMM y el cafetal de Cumbres de Huicicila. Las imágenes que se presentan en cada lámina fueron tomadas con una cámara digital ICC50 HD de Leica Microsystems incluida en el microscopio óptico LEICA DM750. Todas las imágenes fueron tomadas por Ana Aguilar-Chama.

Descripción general de la comunidad de HMA

Diversisporales: Familia Acaulosporaceae.

Las especies de esta familia producen “sáculos esporíferos” que se desarrollan blásticamente a partir del extremo terminal de una hifa. Después de que el sáculo se expande por completo, la espora se desarrolla lateralmente en el “cuello” del sáculo esporífero. A medida que la espora madura, el sáculo pierde su contenido y finalmente, se desprende (Gerdemann y Trappe, 1974). Las esporas se forman individualmente en el suelo. Por lo general son de forma globosa o subglobosa y pueden medir de 40 a 400 μm de diámetro y contener lípidos. Estas no muestran una hifa de sostén (Manoharachary *et al.*, 2002). Su color puede variar de hialino, amarillo a café rojizo. Dentro del género *Acaulospora* la pared externa es continua, pueden estar pigmentadas, laminadas o compuestas a su vez de varias paredes. La superficie de las esporas puede ser ornamentada (presencia de hoyos, proyecciones, pliegues, espinas o reticulaciones). Las paredes internas (que pueden estar compuestas a su vez de una o más paredes), son membranosas, hialinas, pueden ser laminadas y teñirse de color rosa, rojo o púrpura al tener reacción con el reactivo de Melzer (Manoharachary *et al.*, 2002). El reactivo de Melzer es una sustancia a base de yodo y es una importante herramienta de diagnóstico por las reacciones de tinción que produce en las paredes de las esporas. Las especies de este género pueden formar micorrizas con vesículas lobuladas y arbusculos intrarradicales (Kaonongbua *et al.*, 2010).

Morfoespecies registradas

Acaulospora koskei

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: de 140 a 190 μm (en promedio 150 μm , n= 15)

Color: va de naranja a café claro-pálido (0-20-20-0) a naranja oscuro (0-40-100-10)

Forma: redonda a oblonga.

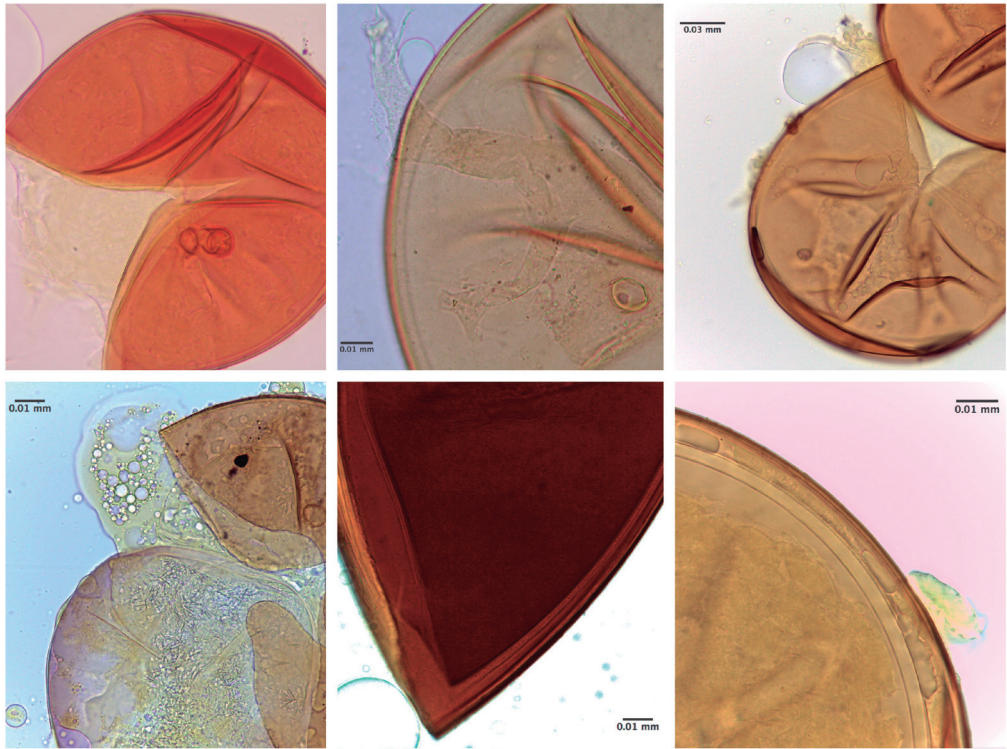


Figura IV.2. Imágenes tomadas de la morfoespecie *Acaulospora koskei*. Las esporas no presenta hifa de conexión, pero hay presencia o remanentes de sáculo esporífero (hialino). Se distinguen paredes internas y externas (pueden ser dos externas y hasta tres internas), las paredes internas se tiñen con el reactivo de Melzer variando en intensidad, de color vino intenso a púrpura (imágenes lado inferior). En algunas esporas se distingue claramente la presencia de cicatriz. Las imágenes de la parte superior de la

lámina fueron tomadas con el objetivo a 40x y de la parte inferior a 100x.

Acaulospora sp. 1 (Morfo 1)

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: van de 170 a 240 μm (en promedio μm , $n= 20$)

Color: va de naranja oscuro (20-80-80-0) a café rojizo (40-80-100-0)

Forma: subglobosas y comúnmente elípticas

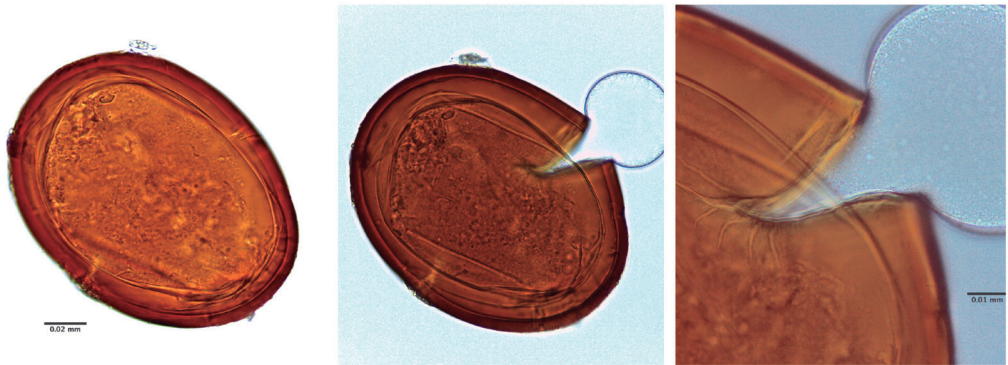


Figura IV.3. Esporas del Morfo 1, son de tamaño grande, debido a su coloración oscura es un poco difícil distinguir la presencia de capas en la pared de la espora. En algunas esporas se pueden observar tres capas principales de la espora, por lo que podría estar dentro del orden Diversisporales, y en la segunda y la tercera capa sobretodo se observan laminadas (tercera imagen de izquierda a derecha), por lo que muy probablemente se trata de esporas acaulosporoides. No se distinguen cambios drásticos con el reactivo de Melzer, podría decirse que no cambian de color. Las esporas de esta morfoespecie se encontraron muy frecuentemente depredadas (hoyos en la superficie, sin contenido citoplasmático, túneles en la pared de la espora, etc.). Las primera y segunda imagen de izquierda a derecha fueron tomadas con el objetivo a 40x y la tercera a 100x.

Acaulospora sp. 2 (Morfo 7)

Hábitat: BMM y cafetal

Tamaño: va de 100 a 240 μm (en promedio 176 μm , n=20)

Color: es amarillo paja opaco (0-10-60-0) a color trigo (0-20-70-10)

Forma: globosa a oblonga

Algunas esporas presentan una cicatriz en su pared externa y más de una capa en al menos dos de las paredes que forman la espora (comúnmente con al menos tres paredes), por lo que podrían considerarse dentro de las Diversisporales, Acaulosporacea, género *Acaulospora*.

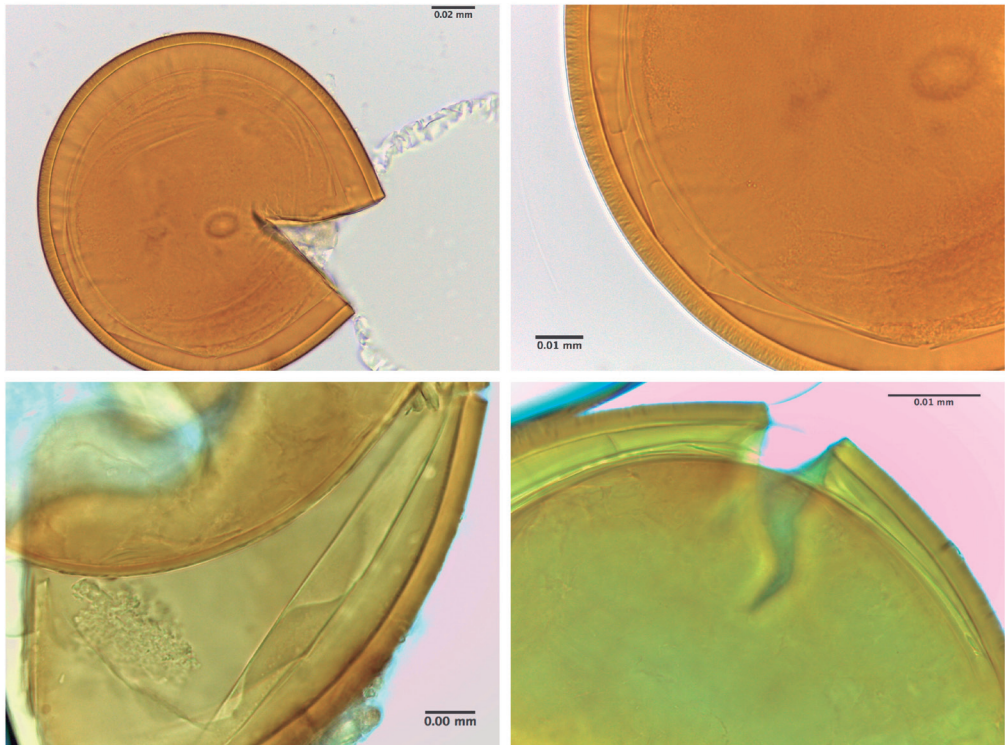


Figura IV.4. Esporas de la morfoespecie *Acaulospora* sp. 2. Las imágenes de la parte superior son esporas sin reactivo de Melzer (izquierda 40x y derecha 100x), y las imágenes de esporas de la parte inferior con reactivo de Melzer.

La capa externa de la pared se tiñe ligeramente con reactivo de Melzer, sólo se intensifica

su color (imágenes inferiores, 100x), las capas de la pared más interna también se tiñen, y su coloración cambia muy levemente a violáceo (no hay cambio drásticamente) y es importante mencionar que no se registró este cambio en todas las esporas revisadas.

Glomerales: Familia Glomeraceae.

En esta familia, las esporas se desarrollan en la parte terminal de la hifa. Se producen en el suelo y a veces en las raíces del hospedero. Pueden encontrarse de forma individual (solitarias), agrupadas o en esporocarpos. La pared de la espora puede presentar varias capas, las esporas glomoides por lo general presentan una capa exterior desprendida que se tiñe en reacción dextrinoide con el reactivo de Melzer, una laminada intermedia y una interna delgada que a veces forma un septo. También comúnmente presentan hifa de sostén que puede ser cilíndrica, acampanada o constreñida.

Morfoespecies registradas

Glomus glomerulatum

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas agregadas

Tamaño: Su diámetro va de 30 a 100 μm (promedio de 70 μm , n=10)

Color: amarillo oro pálido (0-10-70-10) a café-amarillento (0-20-70-10)

Forma: globosa u ovada



Figura IV.5. Esporas de la morfoespecie *Glomus glomerulatum*. Presentan hifa de conexión, el poro de la hifa de sostén es abierto. No se registra un cambio drástico en su

coloración con el reactivo de Melzer, aunque su color se hace más intenso (observado en las esporas jóvenes). En la tercera imagen, de izquierda a derecha, se puede identificar sólo dos capas en la pared de la espora. La imagen del centro tomada con el objetivo de 40x y las imágenes de los extremos con 100x.

Funelliformis geosporum

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: de 110 a 250 μm (en promedio 193 μm , n=22)

Color: esporas que van de un amarillo oscuro (0-10-70-10) a naranja-marrón claro (0-40-100-10). Con el reactivo de Melzer no se alcanza a distinguir un cambio de color.

Forma: redonda a oblonga

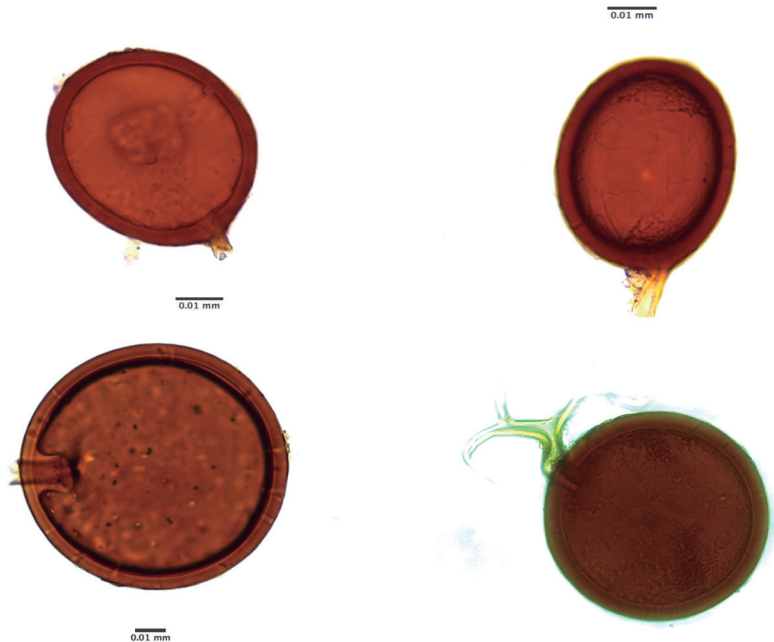


Figura IV.6. Esporas de la morfoespecie *Funelliformis geosporum*. Se observa la presencia de hifa de conexión en todas las imágenes, la base de la hifa donde se unen las paredes de la espora es ancha (menor a 30 μm , n=6) y se alcanza a distinguir una forma de

embudo en la inserción (imágenes de la parte inferior). En algunas esporas se distingue claramente que tres paredes están presentes. Las imágenes de la parte superior tomadas con el objetivo de 40x y de 100x para las imágenes de la parte inferior.

Rhizoglo mus fasciculatum

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: de 60 a 80 μm (promedio de 60 μm , $n=10$)

Color: amarillo pálido (0-10-60-0) a amarillo ocre claro (0-10-70-0)

Forma: globosa o subglobosa

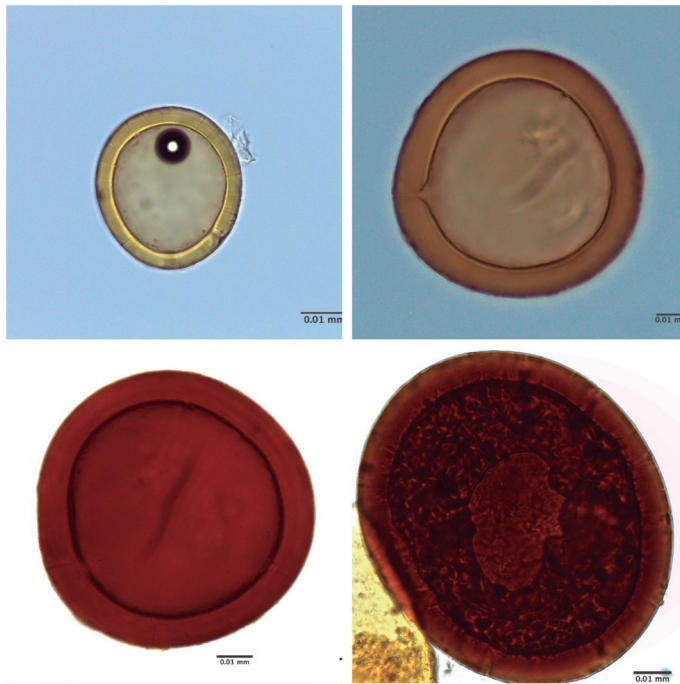


Figura IV.7. Esporas de la morfoespecie *Rhizoglo mus fasciculatum*. Por lo general, estas esporas se encontraron sin hifa de conexión. La pared de la espora está conformada por tres capas bien definidas. La capa más externa muy separada de la segunda capa, por lo que su apariencia es de un halo muy ancho entre ambas (imágenes superiores, objetivo de 40x). La tercera capa a veces no es perceptible. Al teñirse con el reactivo de

Melzer presenta una intensa coloración roja lo que facilita su identificación (imágenes inferiores, objetivo de 100x).

Rhizoglosum clarum

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: va de 90 a 160 μm (promedio de 113 μm , n=16)

Color: va de un blanquecino amarillento (0-0-30-0) a amarillo muy claro (0-10-60-0)

Forma: globosas, subglobosas a oblongas

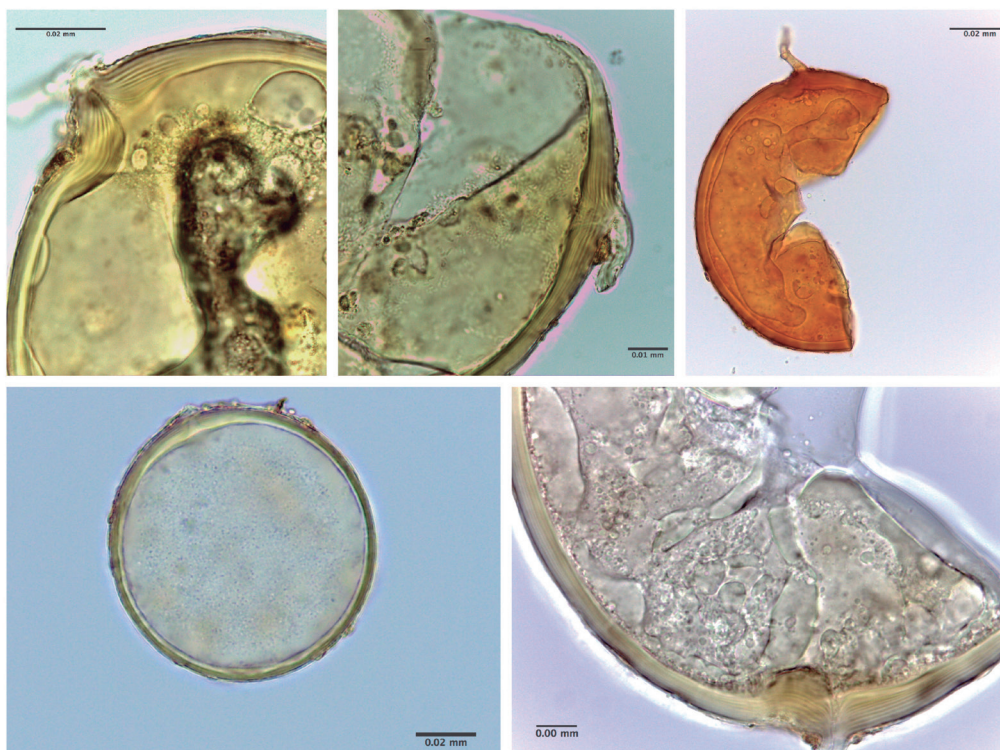


Figura IV.8. Esporas de la morfoespecie *Rhizoglosum clarum*. Se distinguen tres capas de la pared de la espora, la tercera capa (más interna) se une con la hifa de conexión y forma un pliegue laminado de capas que da la apariencia más engrosada hacia la base de la hifa (primera y segunda imagen del lado superior de izquierda a derecha; 100x). Con

el reactivo de Melzer las esporas tornan en un color naranja brillante a cobrizo (tercera imagen superior de izquierda a derecha; 40x), sin ser tan intenso como en *R. fasciculatus*. Del lado inferior espора de color natural (40x) y una espора fragmentada (100x).

Septoglo mus constrictum

Hábitat: cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: 170, 180 y 200 μm

Color: de café rojizo a café oscuro muy intenso y oscuro.

Forma: globosas

Esta morfoespecie fue encontrada en muy baja densidad, fue la menos representada en todas las muestras por lo que únicamente se tuvieron 3 esporas montadas en preparaciones semipermanentes y son las mediciones que se reportan aquí.

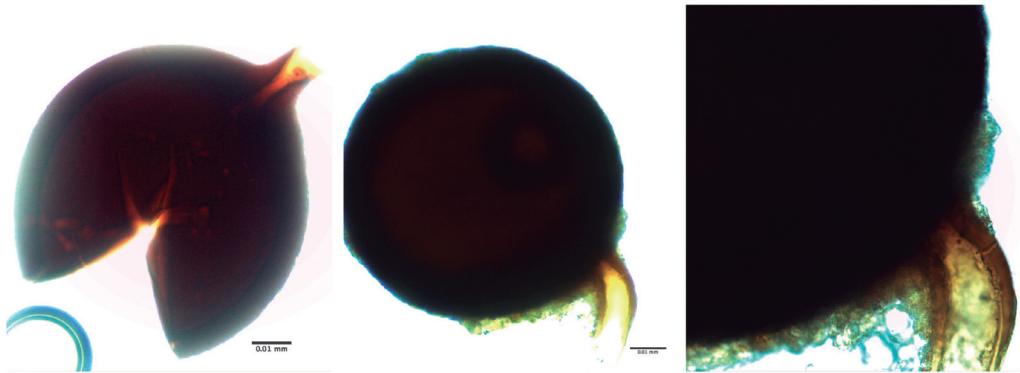


Figura IV.9. Esporas de la morfoespecie *Septoglo mus constrictum*. Son esporas muy conspicuas por su coloración oscura o intensa. Se distingue claramente la hifa de conexión parecida a un “tallo” que sostiene la espора, es de forma cilíndrica y tiene una apariencia acanalada. Tienen una consistencia coriácea al manipularlas y no se distingue el cambio de color con el reactivo de Melzer. Tienen al menos dos capas bien marcadas, pero también la cubre una capa externa con apariencia mucilaginosa hialina que posiblemente se desprende de la espора con el tiempo (tercera imagen de izquierda a derecha; 100x).

Glomerales: Familia Claroideoglomeraceae.

En esta familia, se encuentran esporas individuales o en pequeños grupos, pero muy raro en esporocarpos. Es raro encontrar esporas dentro de las raíces. Las especies de esta familia forman esporas glomoides. Las especies pueden diferenciarse por el tamaño de las esporas y el color de la capa laminada media. El género *Claroideoglomerus* presenta esporas en una hifa de sostén a menudo con un septo que puede surgir en la parte externa de la pared de la espora (Schüßler y Walker, 2010).

Morfoespecie registrada

Entrophospora tunicata

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: de 95 a 145 μm (en promedio 150 μm , n= 10)

Color: va de amarillo brillante (0-10-100-0) a naranja claro pálido (0-30-100-10).

Forma: redonda

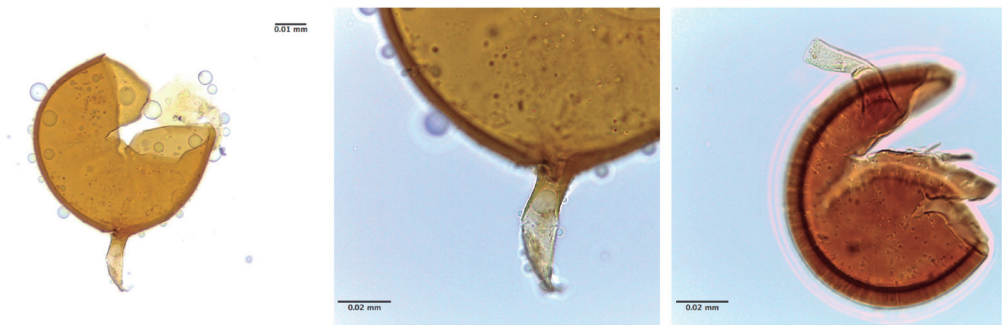


Figura IV.10. Esporas de la morfoespecie *Entrophospora tunicata*. Se observan con presencia de hifa de conexión, en ocasiones se puede observar en la unión de la hifa de sostén con la pared externa de la espora un pliegue parecido a un septo (segunda imagen de izquierda a derecha, 100x). En reacción con el reactivo de Melzer su color natural amarillo oro (primera imagen de izquierda a derecha, 40x), torna a naranja (0-40-100-0), aunque en algunas esporas el cambio de color no es drástico (última imagen de izquierda a derecha, 40x).

La siguiente morfoespecie, presenta ciertas características que podrían considerarse para ubicarla en la familia Sacculosporaceae, género *Sacculospora*, sin embargo su identidad está en revisión.

Morfoespecie 8

Hábitat: BMM y cafetal

Esporas solitarias

Tamaño: las medidas del diámetro de estas esporas fueron realizadas considerando totalmente la espora, es decir, tomando en cuenta el sáculo donde se encuentran. Va de 70 a 90 μm (en promedio 81 μm , n=16).

Color: el sáculo tiene un color amarillo pálido (0-0-40-0)

Forma: globosa

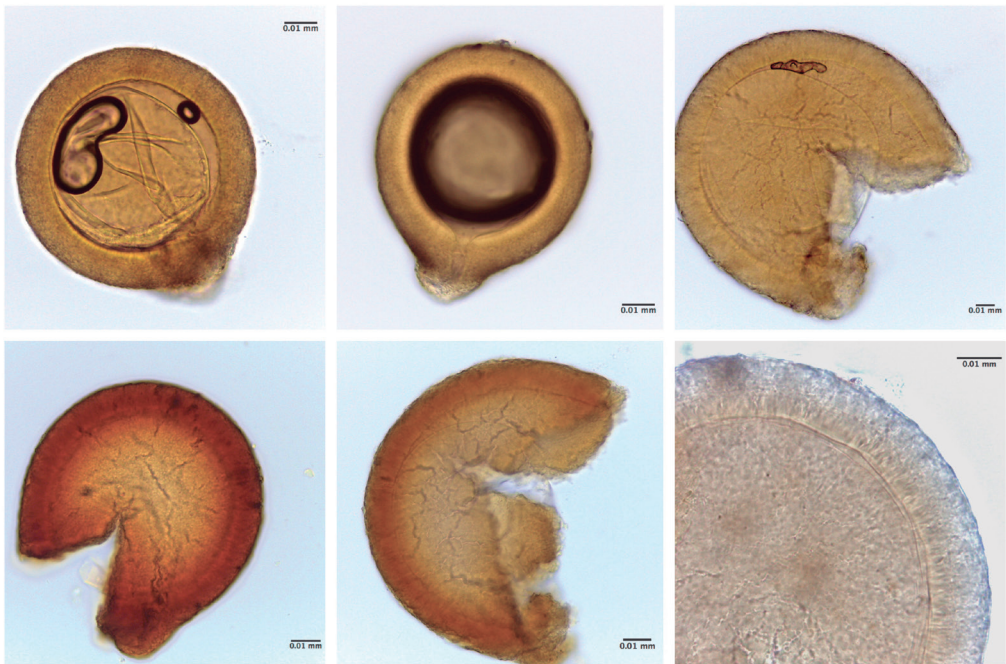


Figura IV.11. Esporas de la *Morfoespecie 8*. El sáculo de la espora es la capa más externa que cubre la espora que le confiere una apariencia arenosa en su superficie (de izquierda a derecha, primera y tercera imágenes superiores), la base de la espora donde se une a la hifa de conexión es ancha (10 μm). Se pueden observar, desde el sáculo tres capas, la más

interna tiene una apariencia laminada (tercera imagen superior de izquierda a derecha; 40x). Las capas exteriores se tiñen con el reactivo de Melzer, a un color naranja intenso o terracota (primera y segunda imagen de izquierda a derecha inferiores; 40x). Sin embargo, no se distingue si la capa más interna cambia de color. Las esporas de esta morfoespecie son conspicuas por la apariencia difusa que presentan, el espesor de la pared externa y su color pálido (tercera imagen de izquierda a derecha parte inferior, 100x).

DISCUSIÓN

Los bosques mesófilos de montaña (BMM) son inmensamente valiosos por las contribuciones para el bienestar humano, principalmente por su capacidad de provisión de recursos hídricos. Además constituyen uno de los ecosistemas con mayor diversidad de plantas y animales por unidad de área, a pesar de que ocupan aproximadamente el 1% del territorio nacional (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014). La riqueza biológica de los BMM ha sido ampliamente reconocida, por lo tanto, no sorprende el número de publicaciones enfocadas a estimar la diversidad, sobre todo de plantas (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014; Williams-Linera, 2015). Sin embargo, la fragmentación del hábitat afecta esta diversidad y las posibles estrategias de restauración y conservación (Williams-Linera, 2015). No obstante, pocos estudios han evaluado la comunidad de organismos bajo el suelo, a pesar de su importancia en la estructura y funcionalidad de la comunidad de plantas (Voroney y Heck, 2015).

La caracterización de la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) es importante para entender su papel en el intercambio y ciclaje de nutrimentos en los ecosistemas. Estimar la diversidad de sus esporas en el suelo rizosférico (a partir de la morfología o técnicas moleculares) nos permite tener una aproximación de la dinámica de estos hongos y su funcionalidad entre ecosistemas, por ejemplo, con diferente grado de perturbación o entre sistemas de cultivo con diferente manejo agrícola.

En México, algunos estudios han evaluado la comunidad de HMA en zonas cafetaleras del centro del país. Por ejemplo, Trejo *et al.* (1998) encontraron que entre más tecnificado es el sistema de producción de café, el número de esporas (en 100 g/suelo) de HMA disminuye, al igual que los porcentajes de colonización intrarradicales. Una gran cantidad de estudios han mostrado que las prácticas agrícolas, tales como la labranza, fungicidas, herbicidas y los fertilizantes tienen, en general, un efecto negativo sobre la funcionalidad de la comunidad de HMA en términos de infectividad (capacidad de los propágulos fúngicos para colonizar las raíces de una planta hospedera) y efectividad (capacidad que tienen los HMA para influir favorablemente en el crecimiento y reproducción de una especie vegetal). Sin embargo, pocos estudios han estimado la diversidad de la comunidad de HMA en los remanentes de BMM y el cultivo de café que ha desplazado estos bosques.

Recientemente, Arias *et al.* (2012) estimaron la riqueza y abundancia de HMA en un gradiente de sistemas de producción de café y perturbación de la vegetación en el estado de Veracruz. El número de morfoespecies de HMA cuantificado fue entre 16 y 24, siendo el BMM el que presentó el menor número comparado con el sistema de producción de café de sombra tradicional rústico y el sistema de sombra simple. En ambos sistemas, el BMM y los cultivos de café, se observaron especies de HMA que se comparten. Esto sugiere que la comunidad de hongos es similar en ambos tipos de vegetación (cultivos de café y BMM), y que potencialmente podrían mantener su funcionalidad en agroecosistemas con manejos tradicionales (menos tecnificados).

En este estudio, se encontraron 10 morfoespecies en el cafetal y 9 morfoespecies en el BMM. Con excepción de *Septoglomus constrictum* observada solamente en el cafetal, el resto de las morfoespecies se encontraron en ambos tipos de comunidades vegetales. En general, esto podría sugerir que el manejo que se realiza en el sistema cafetalero local de Cumbres de Huicicila (sombra con dominancia de dos especies de árboles: cultivada y otra propia del BMM y control de malezas; *obs. pers*), no ha reflejado cambios en la riqueza de especies de HMA comparado con el BMM. Sin embargo, la abundancia de esporas de HMA fue mayor en el cafetal, aunque una sola especie de hongo contribuyó

(*Funelliformis geosporum*) a dicha abundancia, esto sugiere que la abundancia de ciertas especies de hongos podrían ser promovidas por la composición de plantas hospederas en el cafetal (ver capítulo II). A largo plazo esto podría llevar a la disminución de riqueza de especies de HMA en el cafetal. Violi *et al.* (2008) mostraron que diferentes tipos de disturbios inducen cambios en el tiempo de esporulación de los taxa de HMA, sin discernir cuales de éstos taxa. Es decir, la riqueza podría ser similar entre áreas con diferente grado de disturbio, pero no la abundancia, y esto podría estar asociado a la estacionalidad y la composición de especies de plantas (ver capítulo II y III). En el presente estudio, la colecta de suelo para la extracción de esporas de HMA se realizó en el mes de octubre (lluvias), y algunos estudios han mostrado mayor abundancia en la época de secas (p. ej. Arias *et al.*, 2012). Por lo tanto, es deseable continuar con los estudios de diversidad en diferentes épocas del año y en otros BMM del estado de Nayarit.

Recientemente, Polo-Marcial *et al.* 2021 y Varela *et al.* (2019) presentaron un listado de las morfoespecies de HMA registradas en diferentes ecosistemas y agroecosistemas, y encontraron que la diversidad total de especies registradas para México está representada por aproximadamente 160 especies de HMA. Esto representa aproximadamente el 48% de las especies descritas a nivel mundial para el phylum Glomeromycota. Para los BMM estudiados en el país, se han reportado en total 57 especies de HMA (Polo-Marcial *et al.* 2021), y para los cafetales 22 especies. Del listado reportado por Varela *et al.* (2019) para ambas comunidades vegetales (BMM vs. cafetal), *Acaulospora koskei* (observada en ambas comunidades vegetales) y *Septoglomus constrictum* (cafetal) no han sido reportadas anteriormente para los BMM del territorio. Este hallazgo indica que la comunidad de HMA puede tener diferentes patrones de distribución (Öpik *et al.*, 2006), lo que podría indicar una alta riqueza de taxa entre los bosques mesófilos de montaña de México.

Este estudio es el primer esfuerzo en conocer la diversidad de morfoesporas de los HMA en el estado de Nayarit, y especialmente en un ecosistema que se encuentra en prioridad crítica (CONABIO, 2010). Es decir, requiere de programas y acciones inmediatas para su conservación y manejo.

Bibliografía

- Al-Karaki, G., B. McMichael, y J. Zak, “Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress”, en *Mycorrhiza*, vol. 14 (2004), pp. 263–269.
- Arias, R.M., G. Heredia-Abarca, V.J. Sosa, y L.E. Fuentes-Ramírez, “Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico”, en *Agroforestry Systems*, vol. 85 (2012), pp. 179-193.
- Augé, R.M., “Water relations, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis”, en *Mycorrhiza*, vol. 11 (2001), pp. 3-42.
- Bagyaraj, D.J., “Ecology of arbuscular mycorrhizal fungi”, en R.N. Kharwar, R.S. Upadhyay, N.K. Dubey y R. Raghuwanski (eds.), *Microbial diversity and biotechnology in food security*, India, Springer, 2014, pp: 133-146.
- Balderas-Alba A., *Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares en aguacate (Persea americana Mill.)*, Xalisco; Nayarit, (tesis de maestría), Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit, 2019.
- Błaszowski, J. (2021). <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/Taxonomy.html>. Consultado, enero 2021
- Bonfante, P., y A. Desirò, “Arbuscular Mycorrhizas: the lives of beneficial fungi and their plant hosts”, en B. Lugtenberg (ed.), *Principles of Plant-Microbe Interactions*. Switzerland, Springer International Publishing, 2015, pp. 235-245.
- Brito, I., M. De Carvalho, y M.J. Goss, “Summer survival of arbuscular mycorrhiza extraradical mycelium and the potential for its management through tillage options in Mediterranean cropping systems”, en *Soil Use and Management*, vol. 27 (2011), pp. 350-356.
- Brundrett, M.C., “Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants”, en *New Phytologist*, vol. 154 (2002) pp. 275–304.
- _____, “Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis”, en *Plant and Soil*, vol. 320 (2009), pp. 37-77.

- CONABIO, *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible*, D.F., México, Autor, 2010.
- Finlay, R., y B. Söderström, 1992. "Mycorrhiza and carbon flow to the soil", en Allen, M.F (ed.), *Mycorrhizal functioning: an integral plant-fungal process*, London, Chapman & Hall, 1992, pp. 134-160.
- Gerdemann, J., y T.H. Nicolson, "Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting", en *Transactions of the British Mycological society*, vol. 46 (1963), pp. 235-244.
- _____, y Trappe J. M., *The endogonaceae in the Pacific Northwest*, New York, The New York Botanical Garden/The Mycological Society of America, 1974.
- Gual-Díaz, M., y A. Rendón-Correa (comps.), *Bosques Mesófilos de Montaña de México: Diversidad, Ecología y Manejo*, México, CONABIO, 2014.
- INVAM (The International collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi). 2021. <https://invam.ku.edu>. Consultado, enero 2021.
- Harrison, M., N. Pumplin, F.J. Breuillin, R.D. Noar, y H.J. Park, "Phosphate transporters in arbuscular mycorrhizal symbiosis", en Koltai, H., y Y. Kapulnik (eds.), *Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*, Dordrecht, Springer, 2010, pp. 117-135.
- Heil, M., "Plant-mediated interactions between above- and below-ground communities at multiple trophic levels", en *Journal of Ecology*, vol. 99 (2011), pp. 3-6.
- Jacobsen, I., y L. Rosendahl, "Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal Cucumber plants" en *New Phytologist*, vol. 115 (1990), pp. 115: 77-83.
- Kaonongbua, W., J.B. Morton, y J.D. Bever, "Taxonomic revision of the genus *Acaulospora* (Glomeromycota) and description of *Acaulospora colliculosa* sp. nov. from a tallgrass prairie" en *Mycologia*, vol. 102, (2010), pp. 1497-1509.
- Kiers, E.T., T.M. Palmer, A.R. Ives, J.F. Bruno, y J.L. Bronstein, "Mutualisms in a changing world: an evolutionary perspective", en *Ecology letters*, vol. 13 (2010), pp. 1459-1479.
- Koljalg, U., R. H. Nilsson, K. Abarenkov, L. Tedersoo, A. F.S. Taylor, M. Bahram, et al., "Towards a unified paradigm for sequence-based identification of

- fungi”, en *Molecular Ecology*, vol. 22 (2013), pp. 5271-5277.
- Koske, A. G., y B. Tessier, “A convenient, permanent slide mounting medium”, en *Mycological Society of American Newsletter*, vol. 34 (1983), pp. 59.
- Lee, E-H., J-K. Eo, K-H. Ka, y A-H. Eom, “Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems”, en *Mycobiology*, vol. 41 (2013), pp. 121–125.
- Manoharachary, C., I.K. Kunwar, y K.G. Mukerji, “Arbuscular Mycorrhizal fungi - identification, taxonomic criteria, classification, controversies and terminology”, en Mukerji K.G., C. Manoharachary, y B.P. Chamola (eds.), *Techniques in mycorrhizal studies*, Dordrecht, Springer, 2002, pp. 249-272.
- Morton, J.B, y G.L. Benny, “Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acausporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae”, en *Mycotaxon*, vol. 37 (1990), pp. 471-491.
- Oehl, F., G. Alves Da Silva, B.T. Goto, L. Costa Maia, E. Sieverding, “Glomeromycota: two new classes and a new order”, en *Mycotaxon*, vol. 116 (2011), pp. 365-379.
- Öpik, M., M. Metsis, T.J. Daniell, M. Zobel, y M. Moora, “Large scale parallel 454 sequencing reveals host ecological group specificity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreonemoral forest”, en *New Phytologist*, vol. 184 (2009), pp. 424-437.
- _____, M. Moora, J. Liira, y M. Zobel, “Composition of root colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe”, en *Journal of Ecology*, vol. 94 (2006), pp. 778-790.
- Pandey, R., y N. Garg, “Arbuscular mycorrhizal symbiosis: genetic and functional diversity”, en A. Varma, A.R. Prasad, y N. Tutela (eds.), *Mycorrhiza- Ecology, secondary metabolites, nanomaterials*, Switzerland, Springer International Publishing, 2017, pp. 149-182.
- Polo-Marcial, M., L.A. Lara-Pérez, G.B. Tomio, X. Margarito-Vista, A. Andrade-Torres, “Glomeromycota in Mexico, a country with very high richness”, en *Sydowia*, vol. 74 (2021), pp. 33-
- Redecker, D., R. Kodner, y L.E. Graham. 2000. “Glomalean fungi from the

- Ordovician”, en *Science*, vol. 289 (2000), pp. 1920-1921.
- _____, A. Schüßler, H. Stockinger, S.L. Stürmer, J.B. Morton, y C. Walker, “An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota)”, en *Mycorrhiza*, vol. 23 (2013), pp. 515-531.
- Schüßler, A. y C. Walker, *The Glomeromycota: A species list with new families and new genera*, 2010, consultado en: <http://www.amf-phylogeny.com/>.
- Smith, S. E., y D. J. Read, *Mycorrhizal symbiosis*, 3a ed. London, Academic Press, 2008.
- _____, y F.A. Smith, 2011. “Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales”, en *Annual Review Plant Biology*, vol. 62 (2011), pp. 227-250.
- Soka, G., y M. Ritchie, “Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: Prospects for future research in tropical soils”, en *Open Journal of Ecology*, vol. 4 (2014), pp. 11-22.
- Spatafora, J.W., Y. Chang, G.L. Benny, K. Lazarus, M.E. Smith, M.L. Berbee, et al., “A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data” en *Mycologia*, vol. 108 (2016), pp. 1028-1046.
- Tedersoo, L., S. Sánchez-Ramírez, U. Kõljalg, M. Bahram, M. Döring, D. Schigel, T. May, M. Ryberg, K. Abarenkov, “High-level classification of the fungi and tool for evolutionary ecological analyses”, en *Fungal Diversity*, vol. 90 (2018), pp. 135-159.
- Téllez, V.O, “Flora, vegetación y fitogeografía de Nayarit, México”, en *Ciencias*, vol. 38, (1995), pp. 52- 54.
- Trejo, D., D.R. Ferrera-Cerrato, M.A. Escalona, y A. Rivera, “Ecología de la endomicorriza arbuscular en el cultivo del café (*Coffea arabica* L.)” en *La Ciencia y el Hombre*, vol.23 (1998), pp. 7-20.
- _____, I. Barois, y W. Sangabriel-Conde, “Disturbance and land use effect on functional diversity of the arbuscular mycorrhizal fungi”, en *Agroforestry Systems*, vol. 90 (2016), pp. 265-279.
- van Dam, N.M., y M. Heil, “Multitrophic interactions below and above ground: en route to the next level”, en *Journal of Ecology*, vol. 99 (2011), pp. 77-88.
- van der Heijden, M., R.D. Bardgett, y N.M. van Straalen, “The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems”, en *Ecology Letter*, vol. 11 (2008), pp. 296-310.

- Varela, L., L. V. Hernández-Cuevas, E. Chimal-Sánchez y M. M. Montaña, “Diversidad taxonómica de hongos micorrizógenos arbusculares citados de México”, en Álvarez-Sánchez F. J., P. Rodríguez y A. Alarcón (coords.), *Biodiversidad de microorganismos de México, importancia, aplicación y conservación*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2019, pp. 108-162.
- Vega-Frutis, R., G. Luna-Esquivel, y E.M. Figueroa-Esquivel, “Land-use change impact on mycorrhizal symbiosis in female and male plants of wild *Carica papaya* (Caricaceae)”, en *Symbiosis*, vol. 76 (2018), pp. 209-219.
- Violi, H.A., A.F. Barrientos-Prieto, S.F. Wright, E. Escamilla-Prado, J.B. Morton, J.A. Menge, C.J. Lovatt, “Disturbance changes arbuscular mycorrhizal fungal phenology and soil glomalin concentrations but not fungal spore composition in montane rainforest in Veracruz and Chiapas, Mexico”, en *Forest Ecology and Management*, vol. 254 (2008), pp. 276-290.
- Voroney, R.P., y R.J. Heck, “The soil habitat” en Paul, E.A (ed), *Soil microbiology, ecology and biochemistry*, Academic Press, USA, 2015, pp. 15-40.
- Wardle, D.A, *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*, USA, Princeton University Press, 2013.
- Wang, B., y Y-L. Qiu, “Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants”, en *Mycorrhiza*, vol. 16 (2006), pp. 299-363.
- Williams-Linera, G. “El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos?” en *Madera y Bosques*, vol. 21 (2015), pp.51-61.
- Wijayawardene, N.N., K.D. Hyde, L.K.T. Al-Ani, L. Tedersoo, D. Haelewaters, K.C. Rajeshkumar, et al., “Outline of *Fungi* and fungus-like taxa”, en *Mycosphere*, vol. 11 (2020), pp. 1060-1456.
- Zhu, Y.G., y R.M. Miller, “Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems”, en *Trends in Plant Science*, vol. 8 (2003), pp. 407-409.

APÉNDICE IV.1

Técnica de tamizado húmedo y decantación (Gedermann y Nicolson, 1963), y centrifugación con sacarosa.

Materiales y equipo. Balanza analítica, centrifugadora, vaso de precipitado de 1000 ml, tamices de 500 y 37 μm , tubos de plástico para centrifugadora, cajas Petri, microscopio estereoscópico, solución de sacarosa al 70%.

Procedimiento

1. Se colocaron 100 g de la muestra de suelo seco en un vaso de precipitado con 500 ml de agua.
2. Se agitó la solución por un minuto y se dejó reposar unos 30 segundos. Posteriormente la solución se vertió a través de dos tamices anidados, el primero de mayor apertura y el segundo de menor (500 y 37 μm).
3. El material retenido en el tamiz de menor apertura se llevó a un tubo para centrífuga con sacarosa al 70% y se centrifugó a 2,000 rpm durante 2 minutos.
4. El sobrenadante se trasladó a un tamiz de apertura pequeña (37 μm) y se lavó con agua de la llave para eliminar la sacarosa y se reservó en un tubo limpio para su observación.
5. En una caja Petri se vertió una cantidad de la muestra (1 ml aproximadamente) y se observó bajo el microscopio estereoscópico (Leica EZ4 HD con cámara integrada), separando las esporas por morfotipos según su tamaño y su color con ayuda de una aguja de disección. Al separar las esporas en morfotipos se puede tener registro de su potencial abundancia.

APÉNDICE IV.2

Montaje de esporas en preparaciones fijas (Koske y Tissier, 1983).

Materiales y equipo. Portaobjetos, cubreobjetos, PVLG (alcohol polivinílico), PVLG + reactivo de Melzer, aguja de disección, microscopio óptico.

Procedimiento

1. De las esporas separadas por morfotipos, se colocaron en un portaobjetos al menos 5 esporas de cada morfotipo en una gota de alcohol polivinílico y 5 esporas en una gota de alcohol polivinílico con reactivo de Melzer, posteriormente se coloca un cubreobjetos. El reactivo de Melzer es una solución yodatada que reacciona con el contenido intracelular de las esporas y puede producir una reacción amiloidea, que torna una coloración azul, o reacción dextrinoide si la coloración es rojiza o marrón en las esporas.
2. Se aplica presión ligera con una aguja de disección sobre cada grupo de esporas hasta abrirlas, con la finalidad de exponer los estratos de la pared y su posible reacción con Melzer.
3. Las preparaciones se observaron bajo el microscopio óptico (Leica DM750 con cámara digital ICC50 HD de Leica Microsystems integrada) con los objetivos de 40x y 100x para describir las características presentes en las esporas como: ornamentación de la pared externa, color, tamaño, presencia de paredes germinales, presencia y tipo de inserción de la hifa de sostén y reacción con el reactivo de Melzer. Considerando tales descripciones la identificación de morfoespecies se realizó mediante comparación con descripciones reportadas

en el INVAM (2021), considerando las descripciones realizadas por Dr. Janusz Blaszkowski (2021) y siguiendo las descripciones reportadas en Schüßler y Walker (2010).

V CONSIDERACIONES FINALES

Rocío Vega-Frutis

En el estado de Nayarit el bosque mesófilo de montaña (BMM) está representado por fragmentos relictuales que tienen la distribución más septentrional en el país, y pocos estudios se han realizado en el estado sobre la diversidad de los organismos de este BMM. Por lo tanto, esta obra colectiva representa una aportación al conocimiento de los BMM en el estado, incluyendo plantas vasculares del sotobosque, briofitas y hongos micorrizógenos arbusculares (HMA).

El BMM es el tipo de vegetación que más especies por unidad de área concentran a nivel nacional. Además, son importantes por la captación de agua, captura de carbono y conservación del suelo. Pero a pesar de su valor ecológico, se conserva menos del 50% de su cobertura original. La conservación de este ecosistema debe ser fundamental para los mexicanos ya que tiene la menor extensión territorial en el país, y con la mayor biodiversidad con respecto a su área, pero también con el mayor número de especies amenazadas y en peligro de extinción. De tal modo que conservando estos pequeños fragmentos de BMM se preserva una gran biodiversidad.

Si bien una gran cantidad de estudios se han realizado para plantas vasculares, no existe un registro suficientemente detallado de la composición florística de este ecosistema en el país. Por lo tanto, es fundamental hacer investigaciones florísticas a nivel regional que aporten información al inventario nacional. En el presente estudio, se encontró que el fragmento de BMM tiene elementos propios de este ecosistema, como los helechos arborescentes, y aunque el BMM tuvo una mayor riqueza de especies de plantas del sotobosque comparado con el cafetal, es claro que el cambio de uso de suelo para cultivo de café, ha llevado a un aumento en la vegetación secundaria, y especies indicadoras de perturbación antropogénica están presentes en el sitio de estudio (Capítulo

II). Por otro lado, el 32% de las 25 especies colectadas de briofitas son nuevos registros para Nayarit. El estudio de este grupo de plantas es relevante debido a las funciones que tienen dentro del ecosistema, además de ser bioindicadoras de la salud de los mismos (Capítulo III).

Estudiar la diversidad de los organismos del suelo es importante, dado que estos se encuentran estrechamente relacionados con la gran diversidad de plantas que hay en la Tierra. Especialmente aquellos organismos que viven en simbiosis con las plantas, como los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA). Este grupo de hongos además de beneficiar a las plantas, son importantes para la calidad y estabilidad del suelo, por lo tanto, pueden ser usados en iniciativas de rehabilitación. Para el estado de Nayarit no existen estudios (ya sea basados en morfología o en análisis molecular) que hayan estimado la diversidad de los HMA. Por lo tanto, este estudio es el primer esfuerzo en conocer la diversidad de morfoesporas de los HMA en el estado, y especialmente en un ecosistema que se encuentra en prioridad crítica (Capítulo IV).

Finalmente, es deseable continuar trabajando con estos grupos, así como ampliar el estudio a otros grupos biológicos y otros fragmentos de BMM en el estado. Además de involucrar a los pobladores de las localidades que son parte fundamental de este sistema socio-ecológico, en el que se puedan conjugar las alternativas de conservación a través de la investigación colaborativa y transdisciplinaria, devolviendo y aplicando el conocimiento producido en la práctica tanto académica como social (participación ciudadana). Para ello se requiere el compromiso y participación social, académica, y de la autoridad local y estatal, para afrontar este gran reto.

ÍNDICE

Agradecimientos	8
Autores	9
I. Introducción	11
Un vistazo a la biodiversidad de México	11
El bosque mesófilo de montaña	14
Los bosques mesófilos de montaña en Nayarit	16
Presentación	18
Sitio de estudio	19
Diseño de colecta para los estudios presentados	22
Bibliografía.....	24
II. Plantas vasculares sotobosque.....	27
Introducción	27
Colecta de plantas del sotobosque	29
Principales hallazgos	31
Discusión	38
Bibliografía.....	41
Apéndice II.1	45
Apéndice II.2	50
III. Briofitas.....	53
¿Quiénes son las Briofitas?	53
¿Dónde y cómo viven las briofitas?	54
Conocimiento de las briofitas en México	54
Colecta	56
Principales hallazgos	59
Discusión	61

Bibliografía	64
Apéndice III.1	68
Apéndice III.2	71
IV. Composición de la comunidad de hongos micorrizogenos arbusculares. . .	81
Introducción	81
Muestreo de suelo en campo	86
Análisis de muestras de suelo para conocer la comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares	87
Hallazgos importantes	88
Discusión	101
Bibliografía	104
Apéndice IV.1	109
Apéndice IV.2	110
V. Consideraciones finales	113

Este libro reúne algunas de las investigaciones que surgieron a raíz de una pregunta inicial. ¿Qué efecto ha tenido, sobre la diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares, la producción de café sobre el área que ocupaba el bosque mesófilo de montaña en Nayarit? En la búsqueda de un sitio adecuado para llevar a cabo el estudio, donde colindara bosque y cafetal, dimos con Cumbres de Huicicila, en el municipio de Compostela. Ahí, en las partes menos accesibles de las cañadas que ahora producen café bajo sombra, saltan a la vista los imponentes helechos arborescentes que indican la presencia de pequeños fragmentos a los que ha sido reducido el bosque mesófilo. Esta comunidad vegetal destaca por su diversidad y fragilidad; es la que más especies de plantas presenta si se considera la poca superficie de terreno que ocupa (zonas húmedas y protegidas de macizos montañosos) y la mayoría de sus especies no son capaces de vivir en otros ambientes. Además de su importancia en el mantenimiento de patrones naturales en el flujo de arroyos y ríos que nacen de su escorrentía. Durante el desarrollo de esta investigación, surgieron otros temas que fueron abordados también, como conocer la diversidad de plantas que crecen bajo los árboles en el bosque y el cafetal, así como la diversidad de musgos y sus parientes en el bosque.

Finalmente, este libro es una invitación y una provocación a conocer algunos de los aspectos de este importante ecosistema y pretende motivar a las futuras generaciones de biólogos y sociedad en general a valorar y conservar los pocos bosques mesófilos de montaña que aún tenemos.



Universidad
Autónoma
de Nayarit



ALI
CHUMACERO
Editorial
UAN