



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**MUSGOS EPÍFITOS EN BOSQUES MESÓFILOS DE
MONTAÑA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P R E S E N T A

M. EN C. PATRICIA HERRERA PANIAGUA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MAHINDA MARTÍNEZ Y DÍAZ DE SALAS

QUERÉTARO, QRO.

DICIEMBRE 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

MUSGOS EPÍFITOS EN BOSQUES MESÓFILOS DE
MONTAÑA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Doctor en Ciencias Biológicas

Presenta:

M. en C. Patricia Herrera Paniagua

Dirigido por:

Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas

Sinodales

Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas
Presidente

Dr. Claudio Delgadillo Moya
Secretario

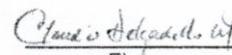
Dr. José G. García Franco
Vocal

Dr. Luis Hernández Sandoval
Suplente

Dr. Rubén Pineda López
Suplente

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca
Directora de la Facultad

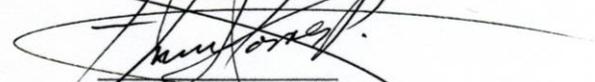

Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Diciembre 2013
México

RESUMEN

Los bosques húmedos de montaña de México son sitios diversos en especies, pero constantemente están sujetos a perturbación y fragmentación. Las plantas epífitas son características de este tipo de vegetación. Ante el desconocimiento sobre la diversidad de los musgos epífitos en el país y la pérdida de este tipo de vegetación, se determinó la riqueza y composición florística de estas plantas y su relación con las variables ecológicas del hábitat. El área de estudio comprende los estados de Querétaro y San Luis Potosí (Región Terrestre Prioritaria Sierra Gorda-Río Moctezuma) e Hidalgo. A lo largo de un transecto longitudinal se seleccionaron siete sitios con diferentes grados de alteración. La estructura y composición de la vegetación leñosa se evaluó utilizando el método de Gentry (1982). Se seleccionaron 10 forofitos en los fragmentos de bosque y cinco en los árboles aislados ($n=60$). Se colectaron todos los musgos del tronco (parte baja, media y alta). A partir de la riqueza de musgos epífitos observada ($S_{\text{observada}}$) en cada árbol, se hizo una estimación de la misma (S_{estimada}) para cada sitio, empleando el modelo no paramétrico Chao 2. La rareza de cada especie corresponde a su frecuencia en los sitios y forofitos. Para analizar la composición de las especies de los musgos y su correlación con las variables ambientales se utilizó la técnica NMDS y *envfit*. Los fragmentos de bosque mostraron una variación en la diversidad y estructura de plantas leñosas. El número de especies de musgos varió para cada sitio. Se registraron 93 especies y cinco variedades de musgos en 62 géneros y 26 familias. De las especies, 23 son nuevos registros para la región de estudio de estudio. En todos los sitios se encuentran especies únicas, sólo *Sematophyllum subpinnatum* fue común a todos. Las partes bajas de los árboles fueron ricas en especies. La composición de musgos es característica para cada sitio. La riqueza y composición de las epífitas estuvo relacionada principalmente con las variables del forofito. Las comunidades de estos fragmentos de bosque muestran ser ricas en especies tanto de distribución amplia como restringida, lo cual está de acuerdo con lo observado en otros grupos de plantas y tiene implicaciones importantes sobre su conservación.

Palabras clave: briofitas, Sierra Gorda, bosque mesófilo de montaña

ABSTRACT

The humid mountain forests of Mexico are rich in species, but they are under perturbation and fragmentation effects every time. Epiphyte plants are typical of this kind of vegetation. Dealing with the little knowledge about epiphytic mosses and the loss of their habitat, the objective of this job was to determine richness and floristic composition of this plants and their relation with the ecological variety of the habitat. Queretaro, San Luis Potosi (Priority Area Sierra Gorda-Moctezuma river) and Hidalgo incorporate the study area. Lengthwise measuring was done in 7 sites with different alteration level. It was determined structure and composition of woody vegetation using Gentry methods (1982). There were selected 10 phorophytes in fragmented forest and 5 in isolated trees (n=60). All mosses of tree trunks were collected (low, half and upper areas). From epiphytic mosses richness in every tree trunk (S_{observed}) it was made the estimation of each study site ($S_{\text{estimated}}$) using Chao's 2 parametrical model. Weiridness of each species was related with frequency in every site and phorophyte. In order to analyze mosses species composition and their relation with environmental variable the NMDS and envfit technique was used. The humid mountain forest fragments were diverse and structured about woody. Each site had different number of mosses species. 93 species and 5 varieties were recorded, within 62 genus and 26 families. On these findings 23 are new registers in the study area. In every study site there were found unique species, being *Sematophyllum subpinnatum* the only one in common. Low parts of trees were rich in species. Mosses composition was distinctive in every area. Richness and composition was related with the phorophyte parameters. The humid mountain forest fragmented communities were very rich in species of both, wide and restricted distribution, according to the observed in other plant groups and has implication over their conservation.

Key words: biodiversity, bryophytes, cloud forest, Sierra Gorda

RECONOCIMIENTO

Al Proyecto FOMIX (Qro-2008-C01-96464) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por las becas de doctorado.

A la Dirección de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales, durante la administración del Dr. Humberto Suzán Azpiri, por el apoyo otorgado para las inscripciones.

A mi tutora la Dra. Mahinda Martínez por el impulso y el apoyo académico, material, monetario y moral.

Al Dr. Claudio Delgadillo Moya por su asesoría y su tiempo para este trabajo, además de las facilidades para trabajar en la Colección de Briofitas del Herbario Nacional (MEXU).

A MI FAMILIA

Gracias Tere y Andrés por amarme, estar conmigo y apoyarme siempre

Gracias Andrés, Mónica y María José por estar aquí

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Querétaro, a través de la Facultad de Ciencias Naturales por albergarme durante la formación recibida.

A la Dra. Mahinda Martínez por aceptar ser parte de mi formación. Gracias por apoyarme y darme todas las facilidades para desarrollar el proyecto. ¡Agradecida de verdad!

Al Dr. Claudio Delgadillo Moya por apoyarme siempre en mi formación académica.

Al Dr. Luis Hernández Sandoval por sus asesoría, aliento y dedicarme *algo* de su tiempo.

Al Dr. José García Franco por aceptar formar parte de esta tesis, por su asesoría y comentarios para la elaboración de la misma.

Al Dr. Rubén Pineda López por su tiempo y recomendaciones que hizo para este trabajo; por todo su apoyo en general.

Al Dr. José Luis Villaseñor Ríos por escucharme, por hacerme pensar y compartir sus ideas.

A la Mtra. Ángeles Cárdenas Soriano por la asesoría y acogerme siempre de buena manera en el IBUNAM.

A Hugo Alberto Castillo por su apoyo en TODO el trabajo de campo, determinación y herborización de algunas plantas leñosas. ¡Mil gracias!

A Enrique Ortiz por los mapas, por su paciencia y la amistad que siempre me ha mostrado.

A Mónica Figueroa por su asesoría en estadística y encaminarme en el mundo *R*, además de su amistad.

A la Mtra. Maricela Gómez Sánchez por escucharme, apoyarme y orientarme cuando lo necesité.

Al Dr. Robert Jones por sus correcciones en los textos en inglés.

A los amigos que me escucharon, me animaron y me soportaron en mis momentos de histeria, frustración y hasta me ayudaron en las salidas de campo: Adriana, Lucy, Lalo, Marcela, Olga; Silvia, Fer, Chabe, Berta.

A los que en algún momento fueron ayudantes de campo: Hailen, Demetrio y Fernando.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
RECONOCIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 1. Fragmentos de bosque húmedo de montaña en la Sierra Madre Oriental: estructura, composición y riqueza de plantas leñosas	11
Resumen.....	12
Introducción.....	12
Materiales y Métodos.....	14
Resultados.....	15
Discusión.....	17
Literatura citada.....	20
CAPÍTULO 2. Musgos de bosques húmedos de montaña en la Sierra Madre Oriental: nuevos registros regionales	31
Resumen.....	32
Introducción.....	32
Materiales y Métodos.....	33
Resultados.....	34
Discusión.....	44
Literatura citada.....	46
CAPÍTULO 3. Riqueza y rareza de musgos epífitos en el bosque húmedo de montaña de la Sierra Madre Oriental, México	52
Resumen.....	53

Introducción.....	53
Materiales y Métodos.....	55
Resultados.....	57
Discusión.....	60
Literatura citada.....	64
CAPÍTULO 4. Importancia de las variables ambientales y la escala de estudio en la diversidad alfa y beta de musgos epífitos en el bosque húmedo de montaña	
	75
Resumen.....	76
Introducción.....	76
Materiales y Métodos.....	77
Resultados.....	79
Discusión.....	83
Literatura citada.....	86
CONCLUSIONES GENERALES.....	109
ANEXOS	
1. Especies de árboles y arbustos registradas en los fragmentos de bosque húmedo de montaña estudiados en la Sierra Madre Oriental. Sitios de estudio. C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. Estatus de conservación de acuerdo con <i>Red List of Mexican Cloud Forest Trees</i> (González-Espinosa et al., 2011). Pc. Preocupación menor – Ca. Casi amenazado – Vu. Vulnerable – Ep. En peligro – Epc. En peligro crítico. *Endémico. Nomenclatura basada en la Flora del Bajío y Regiones Adyacentes (INECOL) y Villaseñor (2010).....	110
2. Frecuencia de los musgos epífitos registrados en los fragmentos de bosque húmedo de montaña estudiados y árboles aislados de la Sierra Madre Oriental. Tipo de epífita. O. Obligada – F. Facultativa. Sitios de estudio. C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. L. Lolotla – O. San Onofre – P. El Pemoche. Escala. RE. Región – FR. Fragmento – Á. Árboles aislados. Categoría de rareza. C. Común – F. Frecuente – R. Rara. Forofito. Al. <i>Alnus</i> – Ca. <i>Carya</i> – Cl. <i>Clethra</i> – Cr. <i>Crataegus</i> – Er. <i>Erythrina</i> – Eu. <i>Eugenia</i> – He. <i>Heliocarpus</i> – Il. <i>Ilex</i> – Lig. <i>Ligustrum</i> – Li. <i>Liquidambar</i> – Pi. <i>Pinus</i> – Pr. <i>Prunus</i> – Qu. <i>Quercus</i> –	

Rh. <i>Rhus</i> – Sam. <i>Sambucus</i> – Sa. <i>Savia</i> – Ul. <i>Ulmus</i> – Za. <i>Zanthoxylum</i> – P4R. Forofito desconocido de El Retén.....	115
3. Listado de musgos epífitos registrados en los sitios de estudio, forofitos y zonas de los árboles. Abrev. Abreviaciones de los taxones utilizadas en la ordenación NMDS. Tipo de epífita. O. Obligada – F. Facultativa. Sitios de estudio. C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. L. Lolotla – O. San Onofre – P. El Pemoche. Zonas del árbol. ZB. Zona basal – ZM. Zona media – ZA. Zona alta. Número de forofito. Copalillos (1-10) – Los Xililites (11-20) – El Retén (21-30) – Neblinas (31-40) – Lolotla (41-50) – San Onofre (51-55) – El Pemoche (56-59)...	122

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Fragmentos de bosque húmedo de montaña estudiados en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Querétaro y San Luis Potosí, México.....	25
Figura 2. Estructura vertical, basada en la altura de los individuos, de los fragmentos de bosque húmedo de montaña de la Sierra Madre Oriental estudiados. Estratos: sotobosque (≤ 10 m), dosel intermedio (10.1-20 m) y dosel superior (> 20 m). Sitios de estudio: C (Copalillos), X (Los Xililites), R (El Retén) y N (Neblinas).....	26
Figura 3. Análisis de correspondencias aplicado a los sitios de estudio con base en su composición florística leñosa.....	27

CAPÍTULO 2

Figura. 1. Localización de los fragmentos de bosque húmedo de montaña (BHM) estudiados en los estados de San Luis Potosí y Querétaro, México.....	49
--	----

CAPÍTULO 3

Figura 1. Fragmentos de bosque húmedo de montaña (Copalillos, Los Xililites, El Retén, Neblinas, Lolotla) y árboles aislados (El Pemoche, San Onofre) estudiados en la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, México.....	69
Figura 2. Riqueza de especies de musgos epífitos en los sitios de estudio. N = Neblinas, P = El Pemoche, L = Lolotla, X = Los Xililites, R = El Retén, O = San	

Onofre, C = Copalillos. Se aplicó una ANOVA de una vía seguida de una prueba de Shapiro-Wilk. Se encontraron diferencias significativas en la riqueza de especies $P < 0.05$. Las diferencias se encontraron entre N-C y O-N (prueba de Tukey, $P < 0.05$)..... 70

Figura 3. Número de especies de musgos epífitos registrados en los diferentes géneros de forofitos muestreados en los fragmentos de bosque húmedo de montaña y árboles aislados. Se indica el número de individuos por género arbóreo estudiado. Hospederos: Al = *Alnus*, Ca = *Carya*, Cl = *Clethra*, Cr = *Crataegus*, Er = *Erythrina*, Eu = *Eugenia*, He = *Heliocarpus*, Il = *Ilex*, Li = *Liquidambar*, Pi = *Pinus*, Pr = *Prunus*, Qu = *Quercus*, Rh = *Rhus*, Sam = *Sambucus*, Sa = *Savia*, Ul = *Ulmus*, Za = *Zanthoxylum*, P4R = forofito desconocido de El Retén 71

Figura 4. Número de especies de musgos epífitos de acuerdo a su categoría de rareza en los sitios de estudio. Categoría: Co. Común – Fr. Frecuente – Ra. Rara. Sitios de estudio: C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. L. Lolotla – O. San Onofre – P. El Pemoche. Fragmento de bosque: Común (7-10 forofitos) – Frecuente (4-6) – Rara (1-3). Árboles aislados: Común (5 forofitos) – Frecuente (3-4) – Rara (1-2)..... 72

CAPÍTULO 4

Figura 1. Fragmentos de bosque húmedo de montaña (Copalillos, Los Xililites, El Retén, Neblinas, Lolotla) y árboles aislados (El Pemoche, San Onofre) estudiados en la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, México..... 90

Figura 2. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los sitios de estudio. Stress = 0.459 . (a) Sitios de estudio. C. Copalillos. X. Xililites. R. El Retén. N. Neblinas. L. Lolotla. O. San Onofre. P. El Pemoche. (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Cric, Eham, Sinc – 2. Amar, Cdup, Eser, Hgla, Lbre, Nchl, Opac, Orig, Sleu, Zpat – 3. Hguy, Lecr, Pden – 4. Vil, Cand, Fste, Lfle, Mter, Psha, Drug, Spar, Tcri – 5. Opyc, Long, Tbra – 6. Cmin, Samp – 7. Bsys, Elon, Gtom, Thum. La abreviación de las especies combina la

primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa ($p < 0.05$): CD. Cobertura de dosel..... 91

Figura 3. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los fragmentos de bosque. Stress = 0.1512. (a) Fragmentos de bosque. C. Copalillos – X. Xililites – R. El Retén. N. Neblinas. L. Lolotla. (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Amar, Atris, Cdup, Eser, Hgla, Lbre, Sleu, Zpat – 2. Fcil, Spro – 3. Cric, Eham, Sinc – 4. Aoer, Cfil, Cmal, Smat – 4. Ljul, Agua, Sswa – 5. Vil, Cand, Fste, Lfle, Mter, Psha, Rpra, Drug, Spar, Tcri – 6. Cdim, Mtten, Sjam, Dcom – 7. Cmin, Mpun, Samp, Tdel – 8. Emac, Mill, Pnig, Ptde. La abreviación de las especies combina la primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa ($p < 0.05$): BIO2. Rango promedio de temperaturas diarias ($T_{max} - T_{min}$)..... 93

Figura 4. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los árboles estudiados. Stress = 0.2113. (a) Forofitos. Copalillos (1-10), Xililites (11-20), El Retén (21-30), Neblinas (31-40), Lolotla (41-50), San Onofre (51-55). El Pemoche (56-59). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Lfle, Psha – 2. Amar, Hgla, Cdup, Lbre – 3. Opyc, Lang. La abreviación de las especies combina la primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa: ALT. Altura ($p < 0.1$) – CD. Cobertura de dosel ($p < 0.1$) – DAP. Diámetro a la altura del pecho ($p < 0.01$). *La variable AB (área basal) ($p < 0.05$) no se muestra porque se superpone con DAP..... 95

Figura 5. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los árboles estudiados. Stress = 0.2113. (a) Forofitos de fragmentos. Copalillos (1-10), Xililites (11-20), El Retén (21-30), Neblinas (31-40), Lolotla (41-50). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Lfle, Psha – 2. Amar, Hgla,

Cdup, Lbre – 3. Opyc, Lang. La abreviación de las especies combina la primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa: AB. Área basal ($p < 0.05$) – ALT. Altura ($p < 0.1$) – DAP. Diámetro a la altura del pecho ($p < 0.05$). El tipo de corteza representa los centroides: CORe (corteza escamosa), CORf (corteza fisurada), CORl (corteza lisa) y CORr (corteza rugosa)..... 97

Figura 6. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de las zonas de los árboles estudiados en los sitios. Stress =0.0767. (a) Zonas de los forofitos. 1. 15a (zona alta del forofito 15), 19m (zona media). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. Spar=*Syrrhopodon parasiticus*, Dcom=*Donnellia commutata*..... 99

Figura 7. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de las zonas de los árboles estudiados en los fragmentos. Stress =0.0830. (a) Zonas de los forofitos. 13b (zona baja del árbol 13); 1. 15a (zona alta del forofito 15), 19m (zona media); 49m (zona media). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. Rpra=*Rauiella praelonga*, Tcri=*Trichostomun brachydontium*, Spar=*Syrrhopodon parasiticus*, Dcom=*Donnellia commutata*..... 101

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO 1

Cuadro 1. Riqueza de especies leñosas en los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental. Riqueza de plantas leñosas observada ($S_{OBSERVADA}$) y estimada ($S_{ESTIMADA}$; Jackknife 2 estimador). Especies únicas en cada sitio, porcentaje de muestreo completado, así como el índice de diversidad de Shannon-Weaver..... 28

Cuadro 2. Estructura de la vegetación leñosa (árboles y arbustos) de los fragmentos de bosques húmedos de montaña de la Sierra Madre Oriental estudiados. Se muestran sólo las primeras cinco especies con los valores de importancia relativos (VIR) más altos. D. Densidad – DR. Densidad relativa – AB. Área basal – DoR. Dominancia relativa – F. Frecuencia – F. Frecuencia

relativa..... 28

Cuadro 3. Matriz de disimilitud obtenida por el coeficiente de Bray-Curtis, de los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental..... 30

CAPÍTULO 2

Cuadro 1. Distribución mundial generalizada de los nuevos registros de musgos epífitos de bosques húmedos de montaña para los estados de Querétaro y San Luis Potosí. Las especies pueden estar en todos, en varios o en un sólo país de las zonas señaladas, para más detalles refiérase a LATMOSS (Delgadillo, 2010) y al portal GBIF (2013). Las abreviaturas corresponden a las zonas de distribución: NA1 (Canadá), NA2 (Estados Unidos), NA3 (México), CA (Centro América), SA1 (Colombia, Venezuela, Guyana, Surinam, Guyana Francesa), SA2 (Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Islas Galápagos), SA3 (Chile, Paraguay, Argentina, Uruguay, Islas Juan Fernández), ANT (Antillas Mayores y Menores), AFR (África), EUR (Europa), AS (Asia), OC (Oceanía)..... 50

CAPÍTULO 3

Cuadro 1. Características de los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental. Datos ambientales basados en WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005). Datos biológicos basados en los árboles hospederos (media±DS). DAP – Diámetro a la altura del pecho a 1.3 m..... 73

Cuadro 2. Riqueza de musgos epífitos en los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental. Riqueza de especies de epífitas observada ($S_{OBSERVADA}$) y estimada ($S_{ESTIMADA}$; Chao2 estimador). Número de especies de epífitas facultativas y estrictas. Especies únicas en cada sitio. Porcentaje de muestreo completado..... 74

CAPÍTULO 4

Cuadro 1. Conjunto de variables ambientales usadas en los análisis. (a) Variables bioclimáticas obtenidas de la base de datos climática global WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005). (b) Variables de los sitios. (c) Variables obtenidas de los árboles de estudio..... 102

Cuadro 2. Variables ambientales y biológicas de los sitios de estudio de la Sierra Madre Oriental. Ver tabla para especificaciones de las variables.

Media±Desviación estándar. Forofitos: fragmentos (1-10) y árboles aislados (1-5).	104
Cuadro 3. Diversidad alfa promedio ((± desviación estándar) en los árboles y zonas de los árboles de los fragmentos y árboles aislados de BHM estudiados en la Sierra Madre Oriental. Media ± Desviación estándar de las zonas y árboles.....	106
Cuadro 4. Coeficientes de regresión del modelo lineal generalizado obtenidos en el análisis de riqueza de los sitios y variables ambientales. Las iniciales corresponden al cuadro 1. Ninguna variable fue significativa.....	107
Cuadro 5. Coeficientes de regresión del modelo lineal generalizado. Las palabras en negritas indican las variables incluidas en el mejor modelo para explicar la riqueza de especies en las zonas de los forofitos. DAP – diámetro a la altura del pecho. AB – área basal. CD – cobertura de dosel. Devianza residual = 366.87.96 (d.f. 169). Pseudo- r^2 = 0.22 (forofitos todos), 0.27 (forofitos fragmentos), 0.17 (zonas todas) y 0.19 (zonas fragmentos). * $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$	108

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las briofitas (*sensu lato*) son componentes importantes de los bosques, pero en los húmedos de las zonas tropicales y templadas es donde presentan una mayor biomasa, cobertura y diversidad. A continuación se presenta información relevante del Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) o Bosque Húmedo de Montaña (BHM) en donde las briofitas, en particular los musgos epífitos, tienen un alto significado florístico, ecológico e histórico en México. Además de indicar su diversidad general e importancia ecológica, se proporcionan los antecedentes sobre su estudio en México.

BOSQUES MESÓFILOS DE MONTAÑA O BOSQUES HÚMEDOS DE MONTAÑA

Los bosques nublanos (*cloud forest*), en México denominados bosques mesófilos de montaña (BMM, *sensu* Rzedowski, 1978) o bosques húmedos de montaña (BHM, *sensu* Villaseñor, 2010), se encuentran en las principales regiones montañosas de nuestro país, representando potencialmente entre menos del 1% al 7% de la superficie del territorio nacional (Challenger, 1998; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2012). Estos bosques generalmente se encuentran entre los 1 000 y 3 000 metros de altitud, en lugares templados, húmedos y frescos (Villaseñor, 2010).

La humedad atmosférica es el principal factor ambiental que promueve la persistencia y distribución de los BMM, encontrándose que variables como la precipitación pluvial de los meses más húmedos del año, la altitud y la evotranspiración real anual, influyen también en su riqueza de plantas vasculares (López-Mata *et al.*, 2012). El número de especies varía en ellos, existiendo zonas con 500 hasta 2 324 especies, encontrándose los bosques más ricos en el sureste de México (López-Mata *et al.*, 2012). En conjunto, este tipo de vegetación concentra el 10% de la flora de plantas vasculares del país (6 790 especies), de las cuales el 20.3% es endémica (Villaseñor, 2010).

Los BMM también se caracterizan por su heterogeneidad en estructura, afinidad florística y composición de especies que muestran tanto en altitud como en latitud (Vázquez-García, 1995; Luna *et al.*, 2001; CONABIO, 2010). Existen cerca de 13 familias de plantas vasculares exclusivas a casi exclusivas a los BMM (e.g. Chloranthaceae, Nyssaceae, Podocarpaceae) y algunos de los géneros restringidos a

característicos son *Clethra*, *Hamamelis*, *Liquidambar* y *Quercus* (Rzedowski, 1996; Villaseñor, 2010).

En cuanto a formas de vida, las epífitas se señalan como particulares y distintivas de estos bosques (Rzedowski, 1996, Luna *et al.*, 2001). La presencia de las epífitas no vasculares en los BMM se relaciona con su alta disponibilidad de agua, y aunque existen en otros tipos de vegetación con igual abundancia y diversidad, su composición y participación en los ciclos hidrológicos y de nutrientes es indiscutible (Hietz, 2010).

Hoy en día los BMM se consideran uno de los sistemas más frágiles a escala mundial debido a los procesos de degradación por el uso excesivo y su conversión a sistemas agrícolas y campos de pastoreo (Brown & Kappelle, 2001). México se encuentra entre los principales países con superficies de BMM afectadas (0.3-0.4. Mkm²) (Mulligan, 2010). Algunas estimaciones indican que el 50% de los BMM en nuestro país han sido reemplazadas por otras formas de uso de suelo, principalmente por ganado y plantaciones de café (Challenger, 1998; Toledo-Aceves *et al.*, 2011). En particular, los BMM de la Sierra Madre Oriental presentan un alto nivel de fragmentación porque son perturbados constantemente por la ganadería extensiva, la agricultura, la construcción de caminos y la tala de rodales (Arriaga *et al.*, 2000; CONABIO, 2010). Estos BMM se categorizan por ser de “prioridad crítica” para su conservación ante las amenazas que presentan para su permanencia (Toledo-Aceves *et al.*, 2011).

BRIOFITAS EPÍFITAS Y BOSQUES MESÓFILOS DE MONTAÑA

Los musgos son el grupo mundo más diverso de briofitas pues incluye aproximadamente 12 800 especies en el mundo (Crosby *et al.*, 2000). En nuestro país el grupo incluye alrededor de 983 especies y variedades (Delgadillo, 2011). Los miembros de este taxón crecen en una amplia variedad de microhábitats, pero en los bosques templados y en algunas zonas tropicales los musgos tienen una diversidad y abundancia altas (Delgadillo, 1998). La corteza de árboles y arbustos es uno de sus microhábitats más característicos, siendo las briofitas epífitas elementos conspicuos de las comunidades forestales. Estas pueden ser obligadas, porque usualmente se restringen a la corteza, o facultativas, porque se les encuentra en más de un tipo de substrato (Smith, 1982).

Diversos estudios han señalado la importancia de las briofitas epífitas particularmente en el ciclo hidrológico en donde pueden contribuir con cerca del 6% de la interceptación de lluvia en los boques tropicales montanos lluviosos (Hölscher *et al.*, 2004). También es significativa su participación en la acumulación de nitrógeno atmosférico (Clark *et al.*, 1998). Otros estudios han encontrado que con la deposición de neblina en las epífitas, más del 50% de los iones atmosféricos entran al ecosistema (Chang *et al.*, 2002).

Se ha encontrado que las características del forofito como el tipo de corteza, la edad y el diámetro del hospedero son importantes, no solo para el establecimiento y ocurrencia de las briofitas epífitas, sino también para su composición y riqueza (e.g. Pócs, 1982; Holz & Gradstein 2005; Sporn *et al.*, 2010). La presencia de árboles maduros y su continuidad también es significativo para mantener la diversidad de briofitas epífitas. Éstos proveen condiciones microclimáticas óptimas para su desarrollo, y su persistencia permite que las especies puedan dispersarse y establecerse, lo cual refuerza la necesidad de conservar bosques primarios (e.g. Acebey *et al.*, 2003; Snäll *et al.*, 2004; Fenton & Frego, 2005; Cleavitt *et al.*, 2009).

Generalmente se ignora el papel de las briofitas en los ecosistemas y pasan desapercibidas en el área de la conservación (Hallingbäck & Hodgetts, 2000). Se predice que ante afectaciones como el cambio climático, las epífitas de los bosques tropicales son especialmente vulnerables pues los cambios en la humedad son determinantes para su diversidad, abundancia y distribución (Benzing, 1998). Un aumento en la temperatura incrementa la evaporación y afecta de manera directa sus actividades metabólicas, por lo que es más probable el daño por desecación (Zotz & Bader, 2009). A nivel mundial, las epífitas de los BMM son las más vulnerables ante el cambio climático, pues ante la predicción de que este tipo de vegetación puede ser reemplazado por sistemas de baja altitud, las plantas tendrán dificultades para adaptarse o dispersarse a lugares más adecuados (Foster, 2001).

Algunos estudios se han enfocado a estudiar los efectos del cambio de uso de suelo sobre las comunidades de las briofitas epífitas de los BMM. De acuerdo con Gradstein (1992) los efectos de la perturbación en los bosques tropicales se ven reflejados principalmente en las comunidades de la epífitas distinguiéndose dos grupos

ecológicos. El primero incluye a las epífitas de sol, que se caracterizan porque están mejor adaptadas a la desecación y son comunes en las áreas perturbadas (e.g. *Syrrhodon parasiticus*). En cambio, las epífitas de sombra están menos adaptadas a la desecación y desaparecen del hábitat ante la perturbación (e.g. *Fissidens* spp.).

Drehwald (2003) comparó tanto bosques montanos como selvas bajas primarias, intervenidas y secundarias de Bolivia, Ecuador y Perú. Él observa que cada área de estudio tiene particularidades, pero en todas se observó una reducción de la diversidad de briofitas con el aprovechamiento del bosque, en donde el número de especies disminuye de forma lineal de acuerdo al grado de alteración.

En Indonesia, se hizo una comparación entre las comunidades de briofitas de bosques naturales, troncos selectivos y sistemas agroforestales de cacao. En este trabajo se encontró que la riqueza de especies no difiere significativamente entre los sitios, sólo su composición, pues algunas especies sensibles a la desecación (e.g. *Homaliodendron exiguum*) sólo se encontraron en los bosques naturales (Ariyanti *et al.*, 2008). Pero los autores sugieren que el manejo selectivo de los bosques puede contribuir a la conservación de algunas especies de briofitas del lugar.

En otro estudio, se analizó los efectos de la identidad del hospedero y la rotación forestal, que se hace por la explotación de los bosques mesófilos subtropicales en las Islas Canarias, sobre las briofitas epífitas. Se estudiaron tres hospederos y bosques que oscilaban en cuatro rangos de edades (8, 15, 25 y 60 años) encontrándose diferencias en la cobertura y riqueza de las briofitas. Los musgos mostraron generalmente una relación positiva entre estas variables y la edad de los árboles, en las tres especies de hospederos. Por lo que se sugiere que los periodos usados para la rotación no son suficientes para el restablecimiento de las comunidades de las briofitas epífitas, así que para un adecuado mantenimiento de su diversidad es necesario tomar en cuenta la identidad del hospedero y el tiempo transcurrido después del disturbio (Patiño *et al.*, 2009).

En México, los estudios sobre musgos se han enfocado a aspectos florísticos, taxonómicos y biogeográficos (e.g. Delgadillo 1979, 1998, 2003; Delgadillo & Cárdenas 2002; Herrera-Paniagua *et al.*, 2008), incluyendo los musgos de los BMM. Crum (1951) cita 202 especies y variedades de Tamaulipas, Nuevo León y San Luís Potosí, en

donde resalta la flora rica en especies de musgos de los BMM de Gómez Farías, Tamps. y de Xilitla, S.L.P.

Delgadillo (1979) presenta un listado de 194 especies y variedades de musgos en algunos bosques de *Liquidambar* de seis estados de México (Chiapas, Hidalgo, Puebla; San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz), además de un análisis fitogeográfico y citar cerca de 45 especies epífitas. Por otra parte, los musgos de fragmentos de BMM en Coatepec, Veracruz fueron estudiados por Juárez (1983) quien cita 126 especies y variedades de las cuales el 53% las encontró como epífitas. Algunas especies como *Papillaria deppei* estuvieron presentes en los bosques más alterados mientras que otras, entre ellas *Prionodon densus*, se encontraron restringidas a los sitios no alterados.

Rzedowski (1978) menciona a *Anomodon*, *Homalia*, *Papillaria* y *Pilotrichella* como algunos de los géneros de musgos más comunes en estos bosques. Recientemente, se utilizaron musgos para identificar la transición del bosque tropical y el BMM en Los Tuxtlas, Veracruz, registrándose 38 taxa para el BMM, pero para el estado hay al menos 141 especies en este tipo de vegetación (C. Delgadillo, com. pers.). En particular, sólo existe un estudio en nuestro país que ha tratado exclusivamente sobre musgos epífitos. Thornburgh & Sharp (1975) hacen un listado de 54 musgos colectados en selvas y BMM de los estados de Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz.

JUSTIFICACIÓN

Los musgos epífitos han recibido una nula atención en México, por lo que no se considera que estén adecuadamente caracterizados. Este grupo de plantas se considera un grupo vulnerable e indicador de la integridad forestal y las prácticas forestales (Frego, 2007). Algunos trabajos señalan que los musgos en nuestro país son afectados por la destrucción del hábitat y la constante perturbación (Delgadillo & Cárdenas 2002), pero se desconoce la medida en que la estructura de la vegetación afecta la diversidad de musgos. Ante el rápido cambio de uso de suelo en nuestro país el conocimiento sobre la diversidad de musgos existente en algunos lugares no se

sabrá y parece pertinente hacer un estudio de musgos epífitos para entender su participación en la estructura de los BMM.

HIPÓTESIS

La riqueza y composición florística de los musgos epífitos cambia en las distintas localidades de BMM disminuyendo en los bosques alterados.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la riqueza y composición florística de los musgos epífitos en fragmentos de BMM y árboles aislados en la Sierra Madre Oriental (SMO).

OBJETIVOS PARTICULARES

- (i) Determinar la estructura y composición de la vegetación leñosa de los sitios.
- (ii) Determinar la riqueza de musgos epífitos de los BMM de la SMO.
- (iii) Comparar la composición florística de los musgos entre sitios.
- (iv) Identificar si las variables del hábitat afectan la riqueza y composición de los musgos epífitos.
- (v) Identificar las especies de musgos que pueden servir como indicadoras de un bosque conservado.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

Se presentan los capítulos de la tesis como el artículo correspondiente que ya ha sido publicado o que est  en revisión. El capítulo 1 hace referencia a la estructura y composición de la vegetación leñosa de los fragmentos de BMM. El capítulo 2 trata sobre los nuevos registros de musgos epífitos en los BMM. En el capítulo 3 se presenta un análisis de la riqueza y rareza de los taxones de musgos registrados. El capítulo 4 comprende la riqueza y composición de los musgos epífitos en las diferentes escalas de análisis estudiadas así como relación con las variables ambientales. Con el capítulo 1 se da respuesta al primer objetivo particular, con los capítulos 2 y 3 al segundo y quinto

objetivos y con el capítulo 4 al tercero y cuarto objetivos. Finalmente se presenta una conclusión general.

LITERATURA CITADA

- Acebey, A., Gradstein, S.R. & Krömer, T. 2003. Species richness and habitat diversification of bryophytes in submontane rain forest and fallows of Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 19: 9-18.
- Ariyanti, N.S., Bos, M.M., Kartawinata, K., Tjitrosoedirdjo, S.S., Guhardja, E. & Gradstein, S.R. 2008. Bryophytes on tree trunks in natural forest, selectively logged forests and cacao agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. *Biological Conservation*, 141:2516-2527.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, L, coord. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. CONABIO [consultado en mayo 2012]. Disponible en:
<<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>>
- Benzing, D.H. 1998. Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes. *Climatic Change*, 39: 519-540.
- Brown, A.D. & Kappelle, M. 2001. Introducción a los bosques nublados del neotrópico: una síntesis regional. En: M. Kappelle & A.D. Brown, eds. *Bosques nublados del neotrópico*. Costa Rica: INBio, pp. 25-40.
- Chang, S.-C., Lai, I.-L. & Wu, J.-T. 2002. Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Atmospheric Research*, 64:159-167.
- Clark, K.L., Nadkarni, N.M. & Gholz, H.L. 1998. Growth, net production, litter decomposition, and net nitrogen accumulation by epiphytic bryophytes in a tropical montane forest. *Biotropica*, 30:12-23.
- Cleavitt, N.L., Dibble, A.C. & Werier, D.A. 2009. Influence of tree composition upon epiphytic macrolichens and bryophytes in old forest of Acadia National Park, Maine. *Bryologist*, 112:467-487.

- Crosby M.R., R. E. Magill, B. Allen & S. He. 2000. A checklist of the mosses. USA: Missouri Botanical Garden. Disponible en:
<<http://www.mobot.org/MOBOT/tropicos/most/checklist.shtml>>
- Crum, H. A. 1951. Lista de las especies de musgos del noreste de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 12:1-27.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J.L., López-Mata, L. & Ortiz, E. 2012. Potential distribution of humid mountain forest in Mexico. *Botanical Sciences* 90:331-340.
- Delgadillo M., C. 1979. Mosses and phytogeography of the *Liquidambar* forest of Mexico. *Bryologist*, 82: 432-449.
- Delgadillo M., C. 1998. Diversidad de la brioflora mexicana. En: T.P. Ramamoorthy , Bye, R., Lot, A. & Fa, F., eds. *Diversidad biológica de México, orígenes y distribución*. México: Instituto de Biología, UNAM, pp. 355-368.
- Delgadillo M., C. 2003. Patrones biogeográficos de los musgos de México. En: J.J. Morrone & Llorente, J. eds. *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*. México: Las Prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM, pp. 195-198.
- Delgadillo M., C. 2011. Los musgos, Veracruz y el Corredor Florístico del Golfo. En: Cruz A., A. ed. *La Biodiversidad en Veracruz. Estudio de Estado. Vol. II*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, pp. 89-96,
- Delgadillo M., C. & Cárdenas S., M.A. 2002. The Lacandon forest (Chiapas, México): a benchmark area for tropical mosses. *Bryologist* 105: 327-333.
- Drehwald, U. 2003. Cambios en la vegetación briofítica. En: J. Blanés, R.M. Navarro, U. Drehwald, T. Bustamante, A. Moscoso, F. Muñoz & A. Torres, eds. *Las zonas de amortiguamiento: un instrumento para el manejo de la biodiversidad. El caso de Ecuador, Perú y Bolivia*. Ecuador: RISPERGRAF, pp. 277-309.
- Fenton, N.J. & Frego, K.A. 2005. Bryophyte (moss and liverwort) conservation under remnant canopy in managed forest. *Biological Conservation* 122:417-430.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55:73-106.
- Frego, K.A. 2007. Bryophytes as potential indicators of forest integrity. *Forest Ecology and Management* 242: 65-75.

- Gradstein, S.R. 1992. Threatened bryophytes of the neotropical rain forest: a status report. *Tropical Bryology*, 6:83-93.
- Hallingbäck, T. & Hodgetts, N. 2000. Key habitats and their specific threats and recommendations. En: T. Hallingbäck & N. Hodgetts, eds. *Mosses, Liverworts and Hornworts. Status survey and conservation action plan for bryophytes*. Oxford: IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. pp 14-21.
- Herrera-Paniagua, P., Delgadillo M., C., Villaseñor R., J.L. & Luna-Vega, I. 2008. Floristics and biogeography of the mosses of the state of Querétaro. *Bryologist*, 111: 41-56.
- Hietz, P. 2010. Ecology and ecophysiology of epiphytes in tropical montane cloud forest. En: L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena & L.S. Hamilton, eds. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 67-76
- Hölscher, D., Köhler L., van Dijk, A.I.J.M. & Bruijnzeel, L.A. 2004. The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *Journal of Hydrology* 292: 308-322.
- Holz, I. & Gradstein, S.R. 2005. Cryptogamic epiphytes in primary and recovering upper montane oak forest of Costa Rica-species richness, community composition and ecology. *Plant Ecology* 178:89-109.
- Juárez G., G. 1983. Los musgos de Coatepec, Veracruz, México. *Biótica*, 8: 49-58.
- López-Mata, L., Villaseñor, J.L., Cruz-Cárdenas, G., Ortíz, E. & Ortíz-Solorio, C. 2012. Predictores ambientales de la riqueza de especies de plantas del bosque húmedo de montaña de México. *Botanical Sciences* 90:27-36.
- Mulligan, M. 2010. Modeling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. En: L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena & L.S. Hamilton, eds. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 14-38.
- Patiño, J., González-Mancebo, J.M., Fernández-Palacios, J.M., Arévalo, J.R. & Bermúdez, A. 2009. Short-term effects of clear-cutting on the biomass and

- richness of epiphytic bryophytes in managed subtropical cloud forest. *Annals of forest science* 66: 609-622.
- Pócs, T. 1982. Tropical forest bryophytes. En: A.J.E. Smith, ed. *Bryophyte Ecology*. London: Chapman & Hall, pp. 59-104.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. México: Limusa.
- Smith, A.J.E. 1982. Epiphytes and Epiliths. En: A.J.E. Smith, ed. *Bryophyte ecology*. London: Chapman and Hall, pp. 191-228.
- Snäll, T., Hagström, A., Rudolphi, J. & Rydin, H. 2004. Distribution pattern of epiphyte *Neckera pennata* on three spatial scales, important of past landscape structure, connectivity and local conditions. *Ecography* 27:757-766.
- Sporn, S.G., Bos, M.M., Kressler, M. & Gradstein, S.G. 2010. Vertical distribution of epiphytic bryophytes in an Indonesian rainforest. *Biodiversity and Conservation*, 19:745-760.
- Thornburgh, K.R. & Sharp, A.J. 1975. A preliminary list of mosses collected on tree branches in Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 35:51-58.
- Toledo-Aceves, T., Meave, J.A., González-Espinosa, M. & Ramírez-Marcial, N. 2011. Tropical montane cloud forest: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management* 92:974-981.
- Vázquez-García, J.A. 1995. Cloud forest archipelagos: preservation of fragmented montane ecosystems in tropical America. En: S. Hamilton, J.O. Jurik & F.M. Scatena, eds. *Tropical montane cloud forests*. Nueva York: Springer-Verlay, pp. 315-332.
- Zotz, G. & Bader, M.Y. 2009. Epiphytic plants in a changing world-global change effects on vascular and non-vascular epiphytes. En: U. Lüttge, W. Beyschlag, B. Büdel & D. Francis, eds. *Progress in Botany*, 70:147-170.

CAPÍTULO 1

**FRAGMENTOS DE BOSQUES HÚMEDOS DE MONTAÑA EN LA SIERRA MADRE
ORIENTAL: ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y RIQUEZA DE PLANTAS LEÑOSAS**

RESUMEN. Se describe la composición y riqueza de plantas leñosas de cuatro fragmentos (0.1 ha) de bosque húmedo de montaña de la Sierra Madre Oriental con diferentes grados de perturbación. Mediante un análisis de estimación de riqueza y uno de correspondencia se estudió la diversidad alfa y se clasificaron los fragmentos. De las especies registradas se reporta su estatus de conservación. Se registró la información de 968 individuos, que representan 42 especies, 38 géneros y 26 familias. La mayor riqueza se registró en Neblinas y la menor en Copalillos. El género más diverso fue *Quercus* y el único taxón en común a los cuatro sitios fue *Liquidambar styraciflua*. Se registraron 27 especies con algún estatus de conservación como en peligro y preocupación menor. En todos los sitios el sotobosque fue el estrato arbóreo dominante. Por el análisis de ordenación se identificaron cuatro comunidades, pues los dos fragmentos más parecidos (El Retén y Los Xililitos) tienen una sola especie en común. Los sitios de estudios son bosques alterados pero aún conservan especies características y una marcada heterogeneidad propia de los bosques húmedos de montaña.

INTRODUCCIÓN

En México, los bosques húmedos de montaña (BHM, *sensu* Villaseñor, 2010), también conocidos como bosques mesófilo de montaña (*sensu* Rzedowski, 1996) se caracterizan por presentarse en lugares con alta incidencia de humedad y contener especies de afinidad tropical y templada, pero también por la heterogeneidad en su estructura y composición de plantas vasculares (Rzedowski, 1996; Villaseñor, 2010). Debido a esta particularidad, estos bosques muestran diferentes relaciones tanto florísticas como biogeográficas (e.g. Alcántara & Luna, 1997; Luna *et al.*, 1999; García-Franco *et al.*, 2008).

Geográficamente, estos bosques se presentan de forma discontinua en el país y en conjunto comprenden potencialmente entre el 0.6% hasta el 7% de su superficie (Villaseñor, 2010; Cruz-Cárdenas *et al.*, 2012). Por el área que representa y considerando la riqueza (6790 especies) y endemismo (34.8% especies) de plantas vasculares que se han registrado en ellos, los BHM se consideran como uno de los tipos de vegetación más diversos (Villaseñor, 2010). Sin embargo, por su discontinuidad

y el constante cambio de uso que padecen, se estima que entre el 40-50% de su superficie original se ha perdido, lo cual ha contribuido aún más a su fragmentación y hace difícil su conservación; se considera que es uno de los tipos de vegetación más amenazados de México (Rzedowski, 1996; CONABIO, 2010; Villaseñor, 2010).

En la Sierra Madre Oriental los BHM se encuentran generalmente fragmentados y perturbados porque están sometidos a ganadería extensiva, agricultura, construcción de caminos y tala de rodales (Arriaga *et al.*, 2000; Cartujano *et al.*, 2002; CONABIO, 2010). La mayoría de los BHM de esta provincia fisiográfica se identifican como sitios de prioridad crítica para su conservación (CONABIO 2010; Toledo-Aceves *et al.*, 2011). Sin embargo, el estado de conservación de todos los BHM del país no se puede definir con exactitud pues no hay suficiente información sobre el tamaño de los fragmentos y la composición y estructura de sus comunidades (CONABIO, 2010; González-Espinosa *et al.*, 2012).

En particular, los BHM del suroeste de San Luis Potosí han recibido poca atención. Existen pocos trabajos como el de Montoya (2009) y Fortanelli *et al.* (2012) quienes hacen una evaluación tanto de la deforestación como de la riqueza de especies de este tipo de vegetación en el municipio de Tamasopo. Para Querétaro, está el trabajo de Cartujano *et al.* (2002) en los BHM del noreste en donde se reporta un inventario de plantas vasculares del municipio de Landa de Matamoros, considerando diferentes rangos altitudinales (800-2200 m). No obstante, ninguno de estos trabajos cuantificó la estructura de la vegetación con base a los individuos leñosos presentes en los bosques.

Los estudios enfocados a describir las comunidades vegetales de los BHM han permitido conocer su biodiversidad y su estado de conservación (e.g. Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2003; García-Franco *et al.*, 2008) lo cual es fundamental para establecer esquemas de manejo forestal adecuados (Cayuela *et al.*, 2006; CONABIO, 2010). Como parte de un estudio de riqueza de musgos epífitos se caracterizaron cuatro fragmentos de BHM de la Sierra Madre Oriental en términos de estructura, composición y riqueza florística de especies leñosas. Adicionalmente, se ubicaron los taxones en alguna categoría de conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se hizo en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, México (Ferrusquía, 1998) dentro de la Región Terrestre Prioritaria Sierra Gorda-Río Moctezuma (RTP-101 de CONABIO) que comprende el norte del estado de Querétaro y el oriente del estado de San Luis Potosí (Arriaga *et al.*, 2000). Aquí se localizan de forma discontinua fragmentos de BHM caracterizados en su mayoría por la presencia de *Liquidambar styraciflua* L., la cual es una de las especies restringidas a este tipo de vegetación, aunque también, generalmente se ve favorecida por la perturbación (Corral, 2002; Villaseñor, 2010).

A lo largo de un gradiente longitudinal en sentido NO-SE ($21^{\circ}51' - 20^{\circ}15' N$ y $99^{\circ}27' - 99^{\circ}03' W$), con el fin de incluir la variación florística natural de los BHM y ante la perturbación de los sitios de estudio, se seleccionaron cuatro fragmentos de bosque con superficies de 1000 m² y 500 m²: Copalillos, El Retén (San Luis Potosí), Los Xililites y Neblinas (Querétaro) (**Figura 1**). La altitud de los sitios varía de los 989 a los 1485 m y la temperatura media anual oscila entre los 21.6 y los 22.2°C, con una precipitación media anual de los 759 a 1324 mm (Hijmans *et al.*, 2005). En todos los sitios se observaron evidencias de impacto antropógeno. En Copalillos, el fragmento estuvo localizado en una ladera cerca de un cauce, rodeado de potreros. En El Retén, Los Xililites y Neblinas se observó agricultura de milpa colindante a ellos. También se observó aprovechamiento forestal, principalmente en El Retén.

Para conocer la estructura y composición florística se empleó el método de Gentry (1982) el cual se ha utilizado en numerosos estudios del Neotrópico y permite obtener información cualitativa y cuantitativa de la vegetación de un lugar a través de transectos estandarizados (Phillips *et al.*, 2002; Villareal *et al.*, 2006). En áreas de 1000 m² (Copalillos, Los Xililites y Neblinas) y 500 m² (El Retén) se hicieron 10 y cinco transectos de 50x2 m, respectivamente, distribuidos al azar y distanciados entre ellos por al menos 10 m. Se censaron todos los árboles y arbustos incluidos en los transectos, con una circunferencia a la altura del pecho (DAP; altura de 1.3 m) igual o mayor a 2.5 cm. Se registró el nombre de la especie, su DAP, una estimación visual de su altura y el transecto donde se le encontró. De las especies no identificadas en campo, se tomó un ejemplar de herbario y se determinaron en el laboratorio. La

nomenclatura está basada en la Flora del Bajío y Regiones Adyacentes (<http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/FLOBA.htm>) y Villaseñor (2010). Para identificar a las plantas también se consideró la distribución de las especies en la zona. Los ejemplares fueron depositados en el herbario QMEX. El estatus de conservación de las especies se designó de acuerdo a *The red list of Mexican cloud forest trees* (González-Espinosa *et al.*, 2011).

La representatividad del muestreo se estimó con el estadístico Jackknife 2 utilizando 100 aleatorizaciones sin reemplazamiento, en el programa EstimateS versión 8.1 (Colwell, 2006). Este estimador se seleccionó porque se le considera como uno de los más precisos para datos de incidencia y plantas leñosas (Walther & Moore, 2005; López-Gómez & Williams-Linera, 2006).

El valor de importancia relativa de cada especie se determinó en base al área basal, densidad y frecuencia de las especies en los transectos (Villareal *et al.*, 2006). Para analizar la estructura vertical de cada fragmento de BHM se determinó de manera subjetiva tres estratos: sotobosque (individuos con alturas menores o iguales a 10 m), dosel intermedio (individuos con una alturas de 10.1-20 m) y dosel superior (alturas mayores a 20 m).

La diversidad beta (recambio de especies entre los fragmentos de BHM) se calculó con base en el coeficiente de disimilitud de Bray-Curtis (Koleff *et al.*, 2003). Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de correspondencias para ordenar a los sitios con base en sus especies. Estos análisis se hicieron utilizando el paquete Vegan (Okasen *et al.*, 2012) en el programa estadístico R v.3.15.0 (R Development Core Team, 2011).

RESULTADOS

Se registraron los datos de 968 individuos leñosos, de los cuales 31 no se identificaron por la falta de estructuras reproductivas o caracteres diagnósticos y se asignaron a 12 morfoespecies en total. El resto (937), pertenecen a 42 especies, 38 géneros y 26 familias (**Apéndice 1**). El número de especies por sitio oscila de 16 (Copalillos) a 25 (Neblinas). En cada fragmento de bosque más del 60% de las especies presentes son únicas. De acuerdo con el estimador de riqueza (Jackknife 2) los

taxones observados representan entre el 54.52% al 81.6% del total estimado. Copalillos es el sitio con el muestreo más incompleto y Los Xililites el más completo (**Cuadro 1**).

Las familias más diversas fueron Lauraceae (6 especies) y Fagaceae (5 especies) (**Apéndice 1**). De las familias que se consideran características de los BHM (Rzedowski, 1996; Villaseñor, 2010) se encontraron cinco: Altingiaceae, Clethraceae, Cyatheaceae, Lauraceae y Thymelaceae. De acuerdo con su número de especies en los sitios, la importancia o presencia de estas familias varió. En Copalillos y Neblinas, se encontraron cuatro de estas familias, siendo este último el sitio con mayor riqueza de especies de Lauraceae (tres especies). En Los Xililites sólo se encontraron Altingiaceae y Clethraceae.

De las especies encontradas (**Apéndice 1**), 14 (33%) son endémicas al país, siendo *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez y *Quercus pinnativenulosa* C.H. Mull. taxones típicos de los BHM (Rzedowski & Guridi-Gómez, 1988; González-Espinosa *et al.*, 2011). Las especies restantes incluyen a taxones de distribución templada (e.g. *Alnus jorullensis* Kunth), tropical (e.g. *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch.) o de amplia distribución (e.g. *Solanum nudum* Dunal).

Se identificaron 27 especies que presentan algún estatus de conservación, (**Apéndice 1**; González-Espinosa *et al.*, 2011). Estas especies están agrupadas en cinco categorías, las más numerosas son la de preocupación menor (*least concern*) y en peligro (*endangered*), con ocho especies cada una. Los encinos se incluyen en alguna categoría de riesgo considerándose tanto vulnerables, como en peligro y en peligro crítico.

El único árbol en común a los cuatro sitios fue *Liquidambar styraciflua* L. El árbol, *Carya palmeri*, se encontró en Los Xililites, El Retén y Neblinas. La especie arbustiva más frecuente fue *Cnidoscolus multilobus* (Pax) I.M. Johnst, excepto en Los Xililites donde no se le encontró. Así, los fragmentos de BHM están constituidos por diferentes especies leñosas, por lo que cada uno tiene una estructura y composición característica (**Apéndice 1**).

La especie más frecuente y numerosa en Los Xililites, El Retén y Neblinas fue *L. styraciflua*. En Copalillos fue *Eugenia xalapensis* (Kunth) DC. Los encinos fueron especies estructuralmente importantes en Copalillos (*Quercus germana* Schldl. &

Cham.) y en Los Xililites (*Quercus aff. sartorii* Liebm.). En El Retén especies como *Dalbergia palo-escrito* Rzed. & Guridi-Gómez y *C. multilobus* mostraron ser frecuentes, pero la primera fue más dominante y con valores de área basal más altos. En Neblinas, taxones como *Cinnamomum effusum* (Meisn.) Kosterm. y *Arachnothryx heteranthera* (Brandege) Borhidi fueron importantes por su número de individuos y cobertura en el sitio (**Cuadro 2**).

La estratificación vertical mostró que en todos los sitios los individuos con una altura <10 m fueron los más comunes, seguidos por los que tienen una altura de 10-20 m (**Figura 2**). Los individuos mayores a los 20 m de altura (dosel superior) fueron escasos en todos los fragmentos de bosque estudiados. En El Retén sólo dos árboles (*L. styraciflua*) alcanzaban una altura de 21 m. En Los Xililites cinco individuos (*L. styraciflua* y *Quercus* sp.) tuvieron 20 m. En Copalillos, seis árboles (*Clethra pringlei*, *L. styraciflua*, *Quercus germana* y *Quercus pinnativenulosa*) tuvieron una altura de entre 20 a 26 m. En Neblinas se encontraron los árboles más altos (hasta 30 m) e importantes en número (27 individuos de *L. styraciflua*), por lo que tiene un dosel superior bien desarrollado.

Los valores de disimilitud de Bray-Curtis van de 0.58 (Los Xililites-El Retén) a 0.97 (Copalillos-Los Xililites), indicando la heterogeneidad que existe entre las comunidades de plantas leñosas de los fragmentos de BHM (**Cuadro 3**). En el análisis de correspondencia aplicado a los sitios, el primer eje (CA1) explica el 46.82% de la variación, mientras que el segundo eje (CA2) el 31.99% (**Figura 3**). En la ordenación se identifican cuatro comunidades evidenciando que la composición de especies leñosas es particular en cada sitio. Se observa en la ordenación que El Retén y Los Xililites están cercanos pero sólo tienen una especie en común, *Ternstroemia huasteca* B.M. Barthol.

DISCUSIÓN

Los fragmentos de BHM estudiados muestran la heterogeneidad y diversidad característica de estos tipos de vegetación (e.g. Rzedowski, 1996, Luna-Vega *et al.*, 2001, Villaseñor, 2010). Para el estado de Querétaro, el estudio más completo sobre diversidad en BHM es el de Cartujano *et al.* (2002) quienes inventariaron el noreste de

la entidad. Ellos registran 165 especies de árboles y arbustos, por lo que en los dos fragmentos queretanos (Los Xililites y Neblinas) se encontró el 10.30% y 15.15% respectivamente de dichas especies. Considerando los ejemplares que no se pudieron determinar, el número de especies por fragmento de BHM (1000 m²) es superior, pero es evidente que algunas de las especies registradas son favorecidas por la perturbación.

La riqueza de especies podría ser proporcional al área de estudio, pero otros estudios muestran que el número de especies leñosas en los BHM varía, no importando mucho el tamaño del área de estudio. Williams-Linera (2002) estudió la composición y estructura de varios fragmentos de bosque en Xalapa (Veracruz) entre los cuales estaban dos fragmentos con áreas de 4 ha con 24 y 8 especies tanto de árboles como de arbustos respectivamente. En otra área de Veracruz (Xico), la riqueza de árboles en tres áreas de 2000 m² fue de seis a nueve especies (García-De la Cruz *et al.*, 2013).

Los BHM conservados se identifican por la presencia de familias frecuentes en este tipo de vegetación (e.g. García-Franco *et al.*, 2008), mientras que los alterados por la falta de éstas (e.g. Ponce-Vargas *et al.*, 2006). En este estudio se encontraron cinco familias y algunas especies que son consideradas típicas de este tipo de vegetación, pero sólo se encontró a Altingiaceae, que es una de las nueve familias casi restringidas a BHM (Rzedowski, 1996). La proporción de estos elementos en los fragmentos de estudio varió por lo que es evidente el efecto antropogénico y concuerda con el estado de conservación de otros BHM (e.g. Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2003).

La presencia y dominancia de *L. styraciflua* en tres de los fragmentos puede indicar condiciones de perturbación porque generalmente es pionera en BHM perturbados (Corral, 2002; Carranza, 2004). Esto es característico en El Retén en donde más del 53% de los individuos pertenecen a este taxón, inclusive se observó la regeneración vegetativa de varios individuos. En este sitio también se encontró *D. palo-escrito* una especie característica de BHM, endémica y restringida a la parte central de la Sierra Madre Oriental (Rzedowski & Guridi-Gómez, 1988). En Los Xililites, también se observó la dominancia de *L. styraciflua* junto con otras especies consideradas frecuentes en la vegetación secundaria de BHM como *Crataegus aff. gracilior*

(Rzedowski & Calderón, 2005) pero sin ser abundante (sólo el 3% del total de los individuos).

En general, la proporción de especies endémicas (33.33%) corresponde a lo observado para el BHM (Villaseñor, 2010). El porcentaje de endemismos no se considera elevado porque estos bosques ocupan zonas intermedias entre otros tipos de vegetación, además de que su edad y posible origen vicariante han permitido que especies neotropicales y boreales sean comunes en este tipo de vegetación (e.g. Luna-Vega *et al.* 1999; Villaseñor, 2010).

Todas las especies endémicas están en una categoría de riesgo. Sin embargo, algunas de estas especies son favorecidas por la perturbación, como *Clethra pringlei* y *Nectandra salicifolia* (González-Villareal, 1996; Werff, 1997) por lo que para el Bajío no se consideran con problemas de supervivencia. Otras como *Carya palmeri* crecen en otros tipos de vegetación como bosques de pino (González-Espinosa *et al.*, 2011), pero en el área de estudio se presenta en pocas localidades y se considera en riesgo de desaparecer (Pérez-Cálix, 2001).

Los encinos fueron un componente estructural importante en algunos fragmentos. En Copalillos, la importancia de *Quercus germana* y *Q. pinnativenulosa* en el estrato arbóreo superior corresponde a lo señalado por Fortanelli *et al.* (2012). Todos los encinos registrados (**Apéndice 1**) son componentes frecuentes en los BHM (e.g. Puig *et al.*, 1983; Alcántara & Luna, 1997; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2003). Pero se observaron pocos individuos de estas especies, lo cual concide con lo señalado por González-Espinoza *et al.* (2011).

De acuerdo con Luna *et al.* (2001) los BHM que tienen un estrato arbóreo superior poco desarrollado y una dominancia del estrato inferior muestran el efecto antropogénico. Aunque también pueden existir causas naturales, como los huracanes (Arriaga, 2000), el cambio de uso de suelo en el área de estudio es frecuente (CONABIO, 2010). En particular, en Copalillos el uso de los encinos, *L. styraciflua* y *Clethra pringlei* para la construcción de viviendas, postes y combustible es frecuente (Montoya, 2009). En Querétaro los BHM son utilizados para establecer zonas agrícolas y ganaderas (Cartujano *et al.*, 2002).

Aún con tales afectaciones, y si bien se pueden considerar como BHM secundarios, los fragmentos estudiados tienen un contingente de elementos característicos de tal tipo de vegetación, con una marcada composición heterogénea entre ellos. Cada fragmento tiene un conjunto particular de especies, algunas de las cuales están consideradas bajo alguna categoría de riesgo. A pesar de que los fragmentos de bosque estudiados están incorporados en una Región Terrestre Prioritaria, no se garantiza su supervivencia si no se hace una planeación adecuada de los sitios.

LITERATURA CITADA

- Alcántara A., O. & Luna, I. 1997. Florística y análisis biogeográfico del bosque mesófilo de montaña de Tenango de Doria, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica*, 68:57-106.
- Arriaga, L. 2000. Types and causes of tree mortality in tropical montane cloud forest of Tamaulipas. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 623-636.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, L., coord. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. CONABIO [consultado en mayo 2012]. Disponible en:
<<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>>
- Carranza G., E. 2004. Familia Hamamelidaceae. *Flora del bajo y de regiones adyacentes, Fascículo 125*. México: Instituto de Ecología, CONACYT, CONABIO.
- Cartujano, S., Zamudio, S. Alcántara, O. & Luna, I. 2002. El bosque mesófilo de montaña en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 70: 13-43.
- Cayuela, L., Golicher, D.J. & Rey-Benayas, J.M. 2006. The extent, distribution, and fragmentation of vanishing montane cloud forest in the highlands of Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 38:544-554.
- Colwell, R.K. 2006. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species for samples. Vers. 8. Disponible en: <<http://www.purl.oclc.org/estimates>>

- Corral R., J.J. 2002. Estudios ecológicos y estructurales en el bosque mesófilo de montaña "El Cielo", Tamaulipas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. México. 65 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2010. *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. México: CONABIO.
- Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J., López-Mata, L. & Ortiz, E. 2012. Potential distribution of humid mountain forest in Mexico. *Botanical Sciences*, 90:331-340.
- Ferrusquía V., I. 1998. Geología de México: una sinopsis. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot & J. Fa, eds. *Diversidad biológica de México*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 3-108.
- Fortanelli M., J., García P., J. & Castillo P., P. 2012. Florística y estructura de la vegetación del relicto de bosque de niebla de Copalillos, San Luis Potosí, México. [Manuscrito inédito]. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, S.L.P.
- García-De la Cruz, Y., Olivares-López, L.A. & Ramos-Prado, J.M. 2013. Estructura y composición arbórea de un fragmento de bosque mesófilo de montaña en el estado de Veracruz. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19: 91-101.
- García-Franco, J.G., Castillo-Campos, G., Mehlreter, K., Martínez, M.L. & Vázquez, G. 2008. Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 83: 37-52.
- Gentry, A.H. 1982. Neotropical floristic diversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 69: 557-593.
- Godínez-Ibarra, O. & López-Mata, L. 2002. Estructura, composición, riqueza y diversidad de árboles en tres muestras de selva mediana subperennidolia. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica*, 73: 283-314.
- González-Espinosa, M., Meave, J.A., Lorea-Hernández, F.G., Ibarra-Manríquez, G. & Newton, A.C. (eds.). 2011. *The Red List of Mexican Cloud Forest Trees*. Cambridge: Fauna & Flora International [consultado en junio 2013]. Disponible en:
<http://www.globaltrees.org/downloads/RL_Mexican_Cloud_Forest_Trees.pdf>

- González-Espinosa, M., Meave, J.A., Ramírez-Marcial, N., Toledo-Aceves, T., Lorea-Hernández, F.G. & Ibarra-Manríquez, G. 2012. Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas*, 21:36-52.
- González-Villarreal, L.M. 1996. Clethraceae. *Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 47*. Instituto de Ecología, A.C.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Koleff, P., Gaston, K.J. & Lennon, J.J. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72:367-382.
- López-Gómez, A.M. & Williams-Linera, G. 2006. Evaluación de métodos no-paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 78:1-15.
- Luna-Vega, I., Alcántara A., O., Espinosa O., D. & Morrone, J.J. 1999. Historical relationships of the Mexican cloud forest: a preliminary vicariance model applying Parsimony Analysis of Endemicity to vascular plant taxa. *Journal of Biogeography*, 26:1299-1305.
- Luna-Vega, I., Velázquez, A. & Velázquez, E. 2001. México. En: M. Kapelle & A.D. Brown (eds.). *Bosques nublados del neotrópico*. Costa Rica: Editorial INBio, pp. 183-229.
- Montoya T., J.N. 2009. Diagnóstico participativo de los procesos de deforestación en dos comunidades de la Sierra Madre Oriental del estado de San Luis Potosí. Tesis de maestría. Programa multidisciplinario de posgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 114 p.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. & Wagner, H. 2012. Vegan: community ecology package, R package version 2.0-3.
- Phillips, O. & James, M. 2002. *Global patterns of plant diversity. Alwyn H. Gentry's forest transect data set*. U.S.A.: Missouri Botanical Garden Press. 319 p.
- Pérez-Calix, E. 2001. Juglandaceae. *Flora del bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 96*. Instituto de Ecología, A.C.

- Ponce-Vargas, A. Luna-Vega, I., Alcántara-Ayala, O. & Ruíz-Jiménez, C. 2006. Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77:177-190.
- Puig, H., Bracho, R. & Sosa, V. 1983. Composición florística y estructura del bosque mesófilo en Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Biótica*, 4: 339-359.
- R. Development Core Team. 2011. R: a language and environment for statistical computing. Disponible en: <<http://www.R-project.org>>
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35:25-44.
- Rzedowski, J. & Guridi-Gómez, L. 1988. El palo escrito, árbol de madera preciosa –una nueva especie mexicana de *Dalbergia* (Leguminosae, Papilionoideae). *Acta Botánica Mexicana*, 4:1-8. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57400401>>
- Rzedowski, J. & Calderón R., G. 2005. Rosaceae. *Flora del bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 135*. Instituto de Ecología.
- Sánchez-Rodríguez, E.V., López-Mata, L., García-Moya, E. & Cuevas-Guzmán, R. 2003. Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra de Manantlán, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 73:17-34.
- Toledo-Aceves, T., Meave, J.A., González-Espinosa, M. & Ramírez-Marcial, N. 2011. Tropical montane cloud forest: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 92:974-981.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. & Umaña, A.M. 2006. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Programa de inventarios de biodiversidad. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 236 p.
- Villaseñor, J.L. 2010. *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico*. México: Comisión Nacional para el

Conocimiento y Uso de la Biodiversidad – Universidad Nacional Autónoma de México.

Walther, B.A. & Moore, J.L. 2005. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography*, 28: 815-829.

Werff, H. 1997. Lauraceae. *Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 56*. Instituto de Ecología, A.C.

Williams-Linera, G. 2002. Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation*, 11:1825-1843.

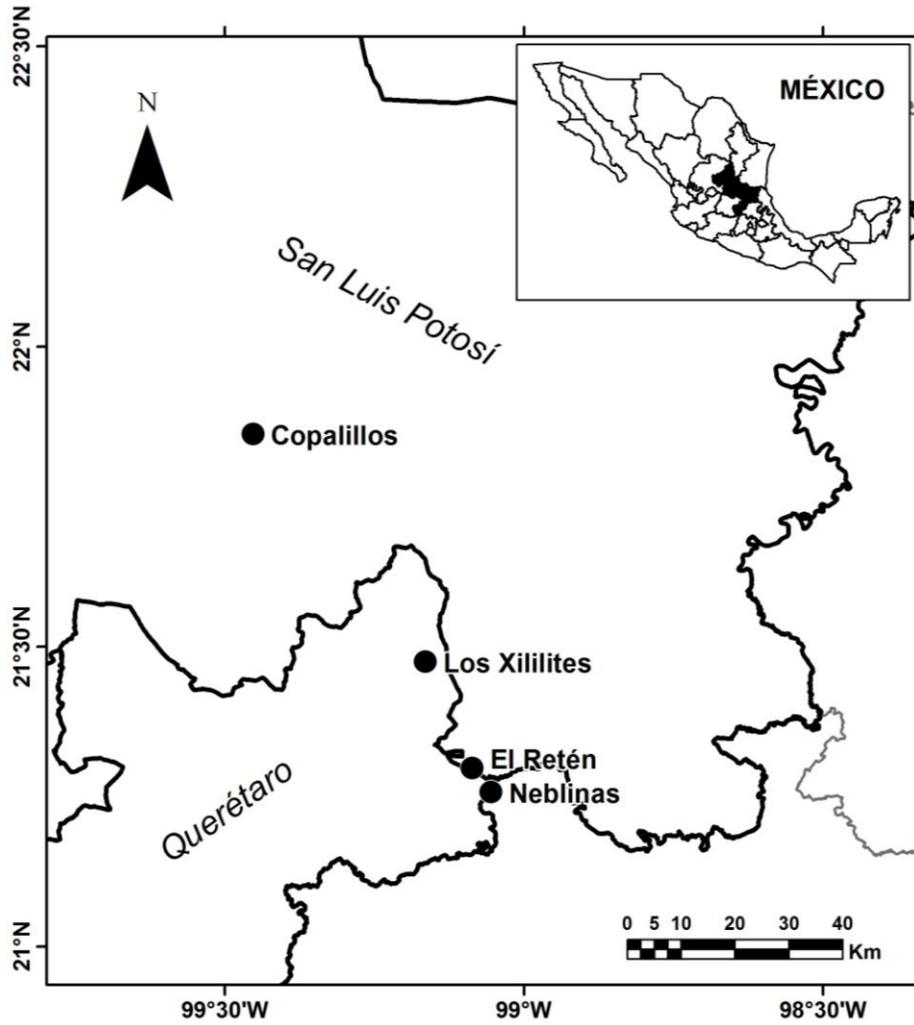


Figura 1. Fragmentos de bosque húmedo de montaña estudiados en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Querétaro y San Luis Potosí, México.

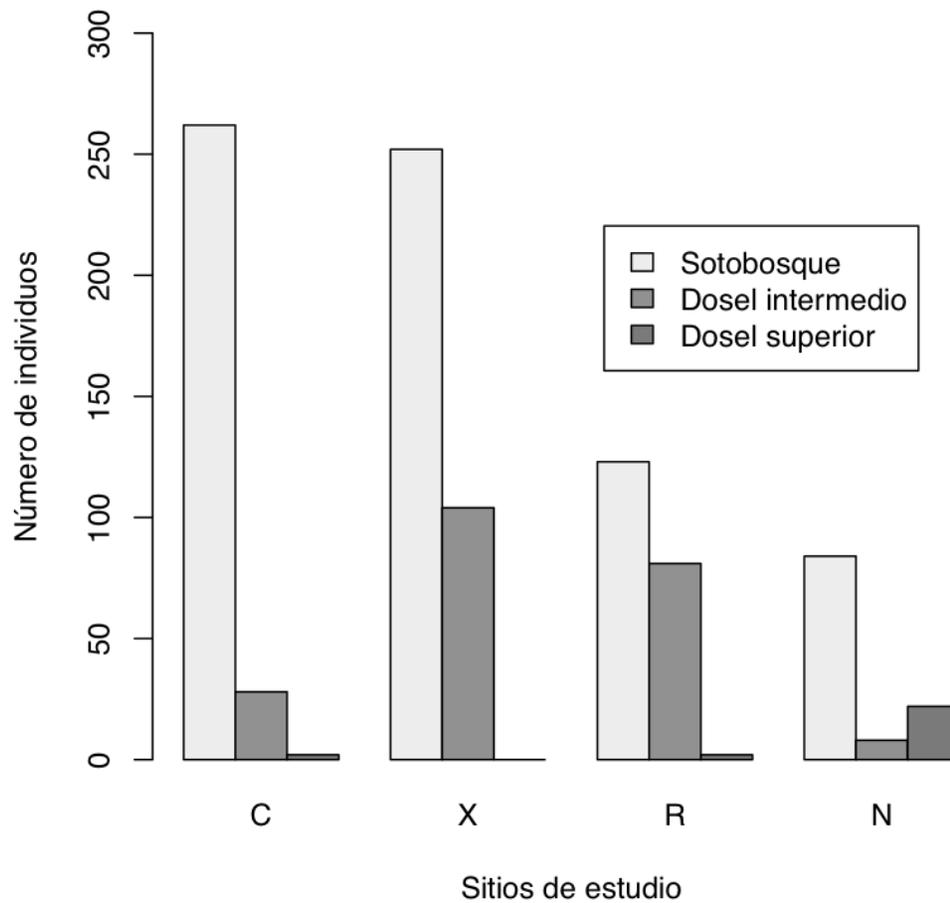


Figura 2. Estructura vertical, basada en la altura de los individuos, de los fragmentos de bosque húmedos de montaña de la Sierra Madre Oriental estudiados. Estratos: sotobosque (≤ 10 m), dosel intermedio (10.1-20 m) y dosel superior (> 20 m). Sitios de estudio: C (Copalillos), X (Los Xililites), R (El Retén) y N (Neblinas).

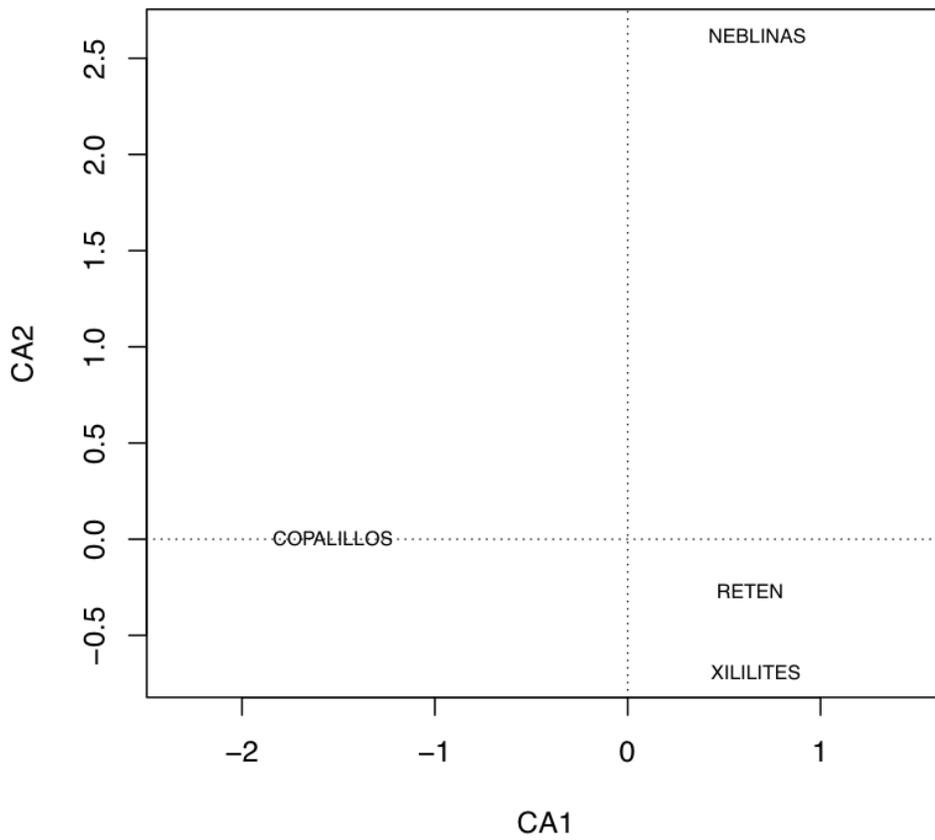


Figura 3. Análisis de correspondencias aplicado a los sitios de estudio con base en su composición florística leñosa.

Cuadro 1. Riqueza de especies leñosas en los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental. Riqueza de plantas leñosas observada ($S_{OBSERVADA}$) y estimada ($S_{ESTIMADA}$; Jackknife 2 estimador). Especies únicas en cada sitio, porcentaje de muestreo completado, así como el índice de diversidad de Shannon-Weaver.

LOCALIDAD	INDIVIDUOS REGISTRADOS	$S_{OBSERVADA}$	ESPECIES ÚNICAS (%)	$S_{ESTIMADA}$	MUESTREO COMPLETADO (%)	SHANNON-WEAVER
COPALILLOS	292	16	87.5	27	54.52	0.86
LOS XILILITES	356	19	94.73	23	81.6	1.89
EL RETÉN	206	18	66.66	23	77.41	1.73
NEBLINAS	114	25	80	37	68.04	2.70

Cuadro 2. Estructura de la vegetación leñosa (árboles y arbustos) de los fragmentos de bosques húmedos de montaña de la Sierra Madre Oriental estudiados. Se muestran sólo las primeras cinco especies con los valores de importancia relativos (VIR) más altos. D. Densidad – DR. Densidad relativa – AB. Área basal – DoR. Dominancia relativa – F. Frecuencia – F. Frecuencia relativa.

LOCALIDAD/ TAXA	D (IND HA ⁻¹)	DR (%)	AB (M ² HA ⁻¹)	DoR (%)	F	FR (%)	VIR (%)
COPALILLOS							
<i>Eugenia xalapensis</i> (Kunth) DC.	241	82.53	3.33	40.40	1	21.73	48.22
<i>Clethra pringlei</i> S. Watson	13	4.45	1.15	13.94	0.8	17.39	11.92
<i>Quercus germana</i> Schldl. & Cham.	7	2.39	1.53	18.59	0.6	13.04	11.34
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	9	3.08	1.25	15.15	0.7	15.21	11.15

<i>Carya ovata</i> (Mill.) K. Koch	5	1.71	0.12	1.52	0.2	4.34	2.52
LOS XILILITES							
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	164	46.06	27.20	44.29	1	18.18	36.18
<i>Quercus aff. sartorii</i> Liebm.	11	3.08	9.68	15.77	0.3	5.45	8.10
<i>Quercus</i> sp.	8	2.24	9.65	15.72	0.3	5.45	7.80
<i>Rapanea myricoides</i> (Schltdl.) Lundell	56	15.73	1.11	1.81	0.3	5.45	7.66
<i>Pinus</i> sp.	27	7.58	3.45	5.62	0.5	9.09	7.43
EL RETÉN							
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	110	53.39	36.64	88.09	1	13.15	51.55
<i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. & Guridi-Gómez	36	17.47	2.15	5.18	0.8	10.52	11.06
<i>Cnidocolus multilobus</i> (Pax) I.M. Johnst	6	2.91	0.16	0.39	0.8	10.52	4.61
<i>Daphnopsis mollis</i> (Schltdl. & Cham.) Standl.	10	4.85	0.05	0.14	0.6	7.89	4.29
<i>Carya palmeri</i> W.E. Manning	6	2.91	1.08	2.61	0.4	5.26	3.59
NEBLINAS							
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	32	28.07	47.16	74.90	0.9	12.5	38.49
<i>Cinnamomum effusum</i> (Meisn.) Kosterm.	10	8.77	5.31	8.44	0.5	6.94	8.05
<i>Arachnothryx heteranthera</i> (Brandeggee) Borhidi	10	8.77	0.75	1.20	0.4	5.55	5.17
<i>Persea aff. americana</i> Mill.	7	6.14	0.78	1.24	0.6	8.33	5.23
Morfoespecie 3	6	5.26	3.30	5.24	0.3	4.16	4.89

Cuadro 3. Matriz de disimilitud obtenida por el coeficiente de Bray-Curtis, de los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental.

CALIDAD	COPALILLOS	LOS XILILITES	EL RETÉN
LOS XILILITES	0.972		
EL RETÉN	0.955	0.583	
NEBLINAS	0.945	0.855	0.756

CAPÍTULO 2

MUSGOS DE BOSQUES HÚMEDOS DE MONTAÑA EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL: NUEVOS REGISTROS REGIONALES

Patricia Herrera-Paniagua & Mahinda Martínez

Botanical Sciences (en prensa)

RESUMEN. Se registran 23 especies de musgos nuevos para la flora de los estados de Querétaro y San Luis Potosí, de distribución tanto restringida como amplia. Destacan *Cyclodictyon richardsii* y *Pylaisiadelpha sharpii* por ser plantas inconspicuas y endémicas al país, además de *Donnellia commutata*, conocida para México, pero sin material mexicano en los herbarios nacionales. Se discuten las características taxonómicas distintivas de las especies, su hábitat y distribución.

PALABRAS CLAVE: biodiversidad, epífitas, Querétaro, San Luis Potosí, Sierra Gorda.

Para los estudios de musgos en México, la obra de Sharp *et al.* (1994) es una base importante por los datos taxonómicos y de distribución de las especies que contiene. Sin embargo, y a pesar de las áreas estudiadas en diferentes partes del país (véanse, por ejemplo, Delgadillo 1984; Delgadillo y Cárdenas, 1996; Cárdenas, 1999), aún hay lugares y hábitats cuyo conocimiento brioflorístico es parcial o donde no hay ningún estudio formal; por ejemplo, los estados de Aguascalientes y Tabasco (Delgadillo, 1998). El estado de Querétaro también se encontraba en esta situación, hasta que Herrera-Paniagua *et al.* (2008) hicieron un estudio en el que se mostró que la flora de musgos comprendía 212 especies. El estudio incluyó la recolecta en todos los municipios y tipos de vegetación del estado, pero se consideró que el número podría incrementarse con la exploración minuciosa de lugares tan diversos como la Sierra Gorda. Otros estados como San Luis Potosí, han recibido más atención por parte de los investigadores, lo que incluye la descripción de algunas especies nuevas para la ciencia (Ando y Higuchi, 1983). La flora de musgos de México (Sharp *et al.*, 1994) cita 210 especies para San Luis Potosí, pero hay varias zonas sin explorar (p. ej. el suroeste), por lo que su conocimiento florístico también se considera parcial.

En México son pocos los estudios de musgos en bosques húmedos de montaña (BHM, *sensu* Villaseñor, 2010), como los de Delgadillo (1979) y Juárez (1983), quienes citan 194 y 146 especies respectivamente. Sobre epífitas existe sólo un trabajo que incluye una lista de 54 especies presentes en ramas de árboles de algunos BHM y selvas (Thornburgh y Sharp, 1975). Por lo anterior, se ha desarrollado un estudio en torno a los musgos epífitos en BHM de la región terrestre prioritaria Sierra Gorda-Río Moctezuma (RTP 101; Arriaga *et al.*, 2000) de los estados de Querétaro y San Luis

Potosí. Como parte del estudio se han identificado nuevos registros para la región. Algunos de ellos son especies mal representadas en el Herbario Nacional (MEXU) y parecen tener una distribución restringida. Para otras se amplía su área de distribución. La identificación taxonómica fidedigna y la ubicación de estas especies permiten establecer con mayor precisión sus áreas de distribución, lo cual es relevante para situar zonas prioritarias a conservar (Hallingbäck y Hodgetts, 2000). En este trabajo se proporciona una breve descripción de los nuevos registros, se señalan sus características más distintivas, microhábitat, afinidad florística y su distribución en el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

De octubre del 2009 a octubre del 2011 se colectaron las epífitas en cuatro fragmentos de BHM (Figura 1), en las localidades de Copalillos (21° 51' 12.18" N, 99° 27' 9.18" O, 1,252 m s.n.m.) y El Retén (21° 17' 49.38" N, 99° 85' 10.98" O, 1,485 m s.n.m.), en San Luis Potosí. En Querétaro se colectaron ejemplares en Los Xililitos (21° 28' 27.84" N, 99° 09' 52.32" O, 1,294 m s.n.m.) y Pozo del Limón (21° 15' 26.8" N, 99° 03' 17.5" O, 989 m s.n.m.). Las muestras provienen de los troncos de árboles (0-8 m de altura), excepto un musgo que se colectó sobre suelo. Se incluyen tres ejemplares colectados por A. Cárdenas en Ahuacatlán (21° 18' N, 99° 03' O, San Luis Potosí) y en La Cercada (21° 28' N, 99° 07' O, Querétaro) por S. Zamudio y V. Steinman (**Figura 1**).

Los ejemplares se determinaron en el laboratorio, según Sharp *et al.* (1994), Buck (1998), Allen y Magill (2007) y Pursell (2007). La nomenclatura y los datos de distribución mundial están conforme a la versión electrónica de LATMOSS (Delgadillo, 2010) e información de distintos herbarios proporcionada por GBIF (2013). Los datos de la distribución nacional se tomaron de Sharp *et al.* (1994) y de la UNIBIO (2012). Los elementos fitogeográficos siguen el criterio de Delgadillo (1987, 2004) con la modificación del concepto Mesoamericano que se consideró para las especies que se presentan solo en México y Centro América. Los ejemplares están depositados en el Herbario de la Universidad Autónoma de Querétaro "Dr. Jerzy Rzedowski" (QMEX), excepto los ejemplares de Cárdenas y de Zamudio y Steinmann que se encuentran en la Colección de Briofitas del Herbario Nacional (MEXU).

RESULTADOS

En total se contabilizaron 23 nuevos registros, de los cuales 12 son nuevas especies para la flora de musgos del estado de Querétaro, cinco para San Luis Potosí y seis para ambos. Por su distribución mundial (**Cuadro 1**), sólo ocho de estas especies mostraron estar bien representadas en el mundo: *Isopterygium tenerum* (Sw.) Mitt. se presenta en varios continentes (amplia distribución); *Hildebrandtiella guyanensis* (Mont.) W.R.Buck y *Syrrhopodon incompletus* Schwägr. var. *incompletus* se encuentran tanto en América como en África (amplia distribución bicéntrica); *Fissidens serratus* Müll.Hal. var. *serratus*, *Syrrhopodon parasiticus* (Brid.) Besch. y *Syrrhopodon prolifer* Schwägr. var. *prolifer* se encuentran en las principales zonas tropicales del mundo (pantropicales); y *Anomodon rostratus* (Hedw.) Schimp. y *Fissidens dubius* P.Beauv. se registran en el Hemisferio Norte (boreales). El resto de las especies (15) sólo se conocen en el continente Americano, presentan registros en varios países, sin incluir a las Antillas (Americanas; cuatro) o incluyéndolas (del Caribe; ocho). Sólo *Sphaerotherciella pachycarpa* (Schimp. ex Besch.) Manuel se encuentra tanto en México como en Centroamérica (estrictamente Mesoamericana) y *Cyclodictyon richardsii* Bowers & Magill y *Pylaisiadelpha sharpii* H.A.Crum están restringidas al país (endémicas).

Anomodon rostratus (Hedw.) Schimp., Syn. Musc. Eur. 488. 1860. (Anomodontaceae). Se caracteriza por su hojas ovadas, acuminadas y aristadas, con márgenes revolutos y células densamente papilosas (Buck, 1998). Algunos ejemplares colectados mostraron variaciones morfológicas como carecer de las hojas aristadas, con los márgenes ligeramente revolutos, aurículas ligeramente desarrolladas y células foliares arregladas en series regulares y las células basales sin papilas. Tales variaciones pueden ser producto del estado juvenil de las plantas (C. Delgadillo, com. pers.).

Distribución y hábitat. Troncos de *Liquidambar styraciflua* L. Es una especie de distribución boreal (Delgadillo, 2004) y en México se le ha encontrado desde Nuevo León y Tamaulipas (Rancho El Cielo) hasta Chiapas (UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 22 de agosto de 2009 P. Herrera 1187b.

Atrichum oerstedianum (Müll.Hal.) Mitt., J. Linn. Soc., Bot. 12: 605. 1869.

(Polytrichaceae). Son plantas robustas que se distinguen por sus hojas rizadas cuando secas, erectas y esparcidas cuando húmedas, no envainantes en la base, la costa con lamelas de 1-3 células de alto y células lisas (Cárdenas y Delgadillo, 2009).

Distribución y hábitat. Raíz de *Alnus jorullensis* Kunth cubiertas con suelo. Especie Americana, en México es conocida de Tamaulipas a Chiapas.

Ejemplares examinados. San Luis Potosí. Mpio. Xilitla, El Retén, 3 de octubre de 2009, *P. Herrera 1221*.

Campylopus anderssonii (Müll.Hal.) Jaeg., Ber. Thätigk. St. Gallischen Naturwiss. Ges. 1870–71: 436 (Gen. Sp. Musc. 1: 140). 1872. (Dicranaceae). Entre sus características están las hojas que se estrechan gradualmente, no miden más de 10 mm de largo, con la costa angosta, las células laminares superiores son cortas, rectangulares y en sección transversal muestran hialocistos, además de que las células alares están poco diferenciadas (Frahm, 1991). Los miembros de la familia se caracterizan por ser estrictamente acidófilos, en substratos con un pH < 6 (Frahm, 1991).

Distribución y hábitat. Sobre *Rhus schiedeana* Schlecht. y *Pinus* sp. Por su distribución se le considera Americana. En México, se conocía solamente para Chiapas, Hidalgo y Oaxaca (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012), por lo que el estado de Querétaro es el límite septentrional de su distribución.

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 4 de octubre del 2009, *P. Herrera 1307c, 1309c, 1312a, 1488c*.

Cyclodictyon richardsii Bowers & Magill, Bryologist 78: 470.1975. (Pilotrichaceae).

Plantas que se caracterizan por ser pequeñas pues sólo alcanzan hasta 1.5 cm de largo y 1.5 mm de ancho con todo y hojas, de un color amarillo-verdoso; sus hojas son ovadas, corto acuminadas, con un borde generalmente de dos células en la base, extendiéndose hasta la parte superior, pero sin llegar al ápice; los márgenes foliares son serrulados en la parte distal; en la parte abaxial de la hoja llevan yemas filamentosas (Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Sobre *Liquidambar styraciflua*. Esta es especie endémica de México; la localidad tipo es Xilitla (San Luis Potosí), en BHM. Recientemente, también se le ha encontrado en Veracruz (C. Delgadillo, com. pers.).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 21 de octubre de 2011, *P. Herrera 1510c*.

Donnellia commutata (Müll.Hal.) W.R. Buck, Bryologist 91: 134. 1988.

(Sematophyllaceae). Esta especie se puede confundir con *Sematophyllum adnatum* (Mx.) E.Britton; no obstante, las hojas de *D. commutata* tienen las células alares ligeramente infladas, con las supra-alares rectangulares formando grupos triangulares (Sharp *et al.*, 1994). La distinción inequívoca de la especie es por medio del esporofito, con su seta corta (3-4 mm de largo) y peristoma simple de color blanco en estado seco; dientes ligeramente papilosos distalmente, endostoma ausente o muy corto. En contraste, en *S. adnatum* el peristoma es doble (Buck, 1988).

Distribución y hábitat. Esta especie se encontró sobre *Rhus schiedeana*. Con una distribución del Caribe, en México Sharp *et al.* (1994) la registran para Veracruz. No hay ejemplares de esta en México, representadas en MEXU (Delgadillo, 2011).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 4 de octubre de 2009, *P. Herrera 1315, 1317a*.

Entodon hampeanus Müll.Hal., Linnaea 18(6): 705. 1844. (Entodontaceae). Los tallos son fuertemente aplanados, de un color verde brillante, con las hojas agudas y cortamente acuminadas. El esporofito es la característica distintiva de la especie, pues tiene la seta color amarillo, los dientes del exostoma son estriolados externamente en la parte basal y ligeramente papilosos en la distal, mientras que el endostoma es liso o ligeramente papiloso (Sharp *et al.* 1994; Cárdenas y Delgadillo, 2009).

Distribución y hábitat. Sobre *Liquidambar styraciflua*. Por su distribución mundial se considera parte del elemento del Caribe (Delgadillo, 2004). En México se distribuye en los estados de Chiapas, Distrito Federal, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz (Crum, 1951; Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 22 de agosto de 2009, *P. Herrera 1184a*; ± 3km (por aire) al SE de La Cercada, por el camino a La Mesa, 24 de Octubre de 2002, *Zamudio y Steinmann 12010* (MEXU).

Entodon jamesonii (Taylor) Mitt., J. Linn. Soc., Bot. 12: 528. 1869. (Entodontaceae). Plantas ligeramente aplanadas, con hojas acuminadas y lanceoladas, serradas, las células alares son cuadradas o cortamente rectangulares y alcanzan la costa en las hojas angostas, pero no en las más anchas. El exostoma es estriolado casi hasta el ápice; el endostoma liso a ligeramente papiloso (Sharp *et al.*, 1994; Cárdenas y Delgadillo, 2009).

Distribución y hábitat. Sobre *Liquidambar styraciflua*. Especie Americana; se le ha registrado en 11 estados, incluyendo Hidalgo, Puebla, Tamaulipas y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012), por lo que era de esperarse su presencia en Querétaro. Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 21 de octubre de 2011, *P. Herrera 1534c*.

Entodon serrulatus Mitt., J. Linn. Soc., Bot. 12: 632. 1869. (Entodontaceae). Esta especie se diferencia de la anterior en que las células basales están muy bien desarrolladas y siempre alcanzan la costa, además de que su endostoma es fuertemente papiloso, por lo que es necesaria la presencia del esporofito para su identificación inequívoca (Sharp *et al.* 1994).

Distribución y hábitat. Sobre *Clethra* aff. *kenoyeri* Lundell y *Liquidambar styraciflua*. Considerada del Caribe, se distribuye en México en los estados de Chiapas, Distrito Federal, Hidalgo, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. San Luis Potosí. Mpio. Tamasopo, Copalillos, 18 de marzo de 2010, *P. Herrera 1319f, 1341b, 1399e*.

Fissidens dubius P. Beauv., Prodr. Aethéogam. 57. 1805. (Fissidentaceae). Es una de las especies más grandes del género (hasta 2.5 cm de largo), con hojas cuyos

márgenes son irregularmente serrados, con las células marginales de un color más claro que las interiores; láminas foliares irregularmente biestratificadas (Sharp *et al.* 1994).

Distribución y hábitat. Sobre suelo cubriendo rocas. Es una especie de distribución boreal (Delgadillo, 2004); ha sido registrada en los estados de Chiapas, Sonora y Veracruz (Pursell, 2007); Hidalgo, Puebla, San Luis Potosi y Tamaulipas (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 4 de octubre de 2009, *P. Herrera 1277*.

Fissidens serratus Müll.Hal. var. *serratus*, Bot. Zeitung (Berlin) 5: 804. 1847.

(Fissidentaceae). Entre las características que distinguen a la especie se encuentran su crecimiento palmeado con tallos cortos, hojas lanceoladas y agudas, con márgenes dentados, células unipapilosas y costa percurrente (algunas veces llegando hasta ocho células abajo del ápice); esta variedad no presenta un borde diferenciado en la lámina vaginante (Pursell, 2007).

Distribución y hábitat. Sobre *Clethra kenoyeri*, *Eugenia xalapensis* (Kunth) DC., *Liquidambar styraciflua* y *Sambucus* sp. Se considera de distribución pantropical (Delgadillo y Cárdenas, 2002). Se le ha registrado en Campeche, Chiapas, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; Pursell, 2007; UNIBIO, 2012).

Ejemplares representativos. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 22 de agosto de 2009, *P. Herrera 1166b, 1171b*; Los Xililites, San Juan de los Durán, 20 de agosto de 2010, *P. Herrera 1496c*. San Luis Potosí. Mpio. Xilitla, El Retén, 3 de octubre de 2010, *P. Herrera 1200c, 1438b*; Mpio. Tamasopo, Copalillos, 18 de marzo de 2010, *P. Herrera 1322b, 1349b*.

Hildebrandtiella guyanensis (Mont.) W.R. Buck, Brittonia 43: 97. 1991. (Pterobryaceae).

Sus plantas son estipitadas, en donde las hojas están espiralmente insertadas; las hojas de los tallos son generalmente oblongas y cóncavas, sin costa; las células alares no están muy diferenciadas del resto; usualmente tienen yemas (Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Sobre *Eugenia xalapensis* y *Quercus* sp. Se le considera de amplia distribución bicéntrica (Delgadillo, 2004). En México se ha reportado para los estados Chiapas, Oaxaca, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 20 de agosto de 2010, *P. Herrera 1466b, 1473, 1475a*.

Isopterygium tenerum (Sw.) Mitt., J. Linn. Soc., Bot. 12: 499. 1869. (Hypnaceae).

Plantas postradas, complanado-foliadas, verde amarillentas, con pseudoparafilios filamentosos; sus hojas generalmente de menos de 1 mm de largo, ovado-lanceoladas, acuminadas; las células alares diferenciadas en un grupo pequeño; el esporofito con cápsulas inclinadas u horizontales sobre setas de 5-12 mm de largo (Cárdenas y Delgadillo, 2009).

Distribución y hábitat. Sobre *Clethra* sp. y *Pinus* sp. Especie de amplia distribución. En México es común (Sharp *et al.*, 1994) y debido a que ya se registraba en localidades cercanas al área de estudio como Xilitla (Sharp 5935; San Luis Potosí; UNIBIO, 2012) era probable encontrarla en Querétaro.

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 21 de octubre del 2011, *P. Herrera 1527a*; Los Xililites, San Juan de los Durán, 20 de agosto de 2010, *P. Herrera 1489c*.

Leucobryum crispum Müll.Hal., Syn. Musc. Frond. 1: 78. 1848. (Leucobryaceae). Se caracteriza porque sus plantas son blanquecino-verdosas, con las hojas crispadas, hasta de 9 mm de largo; en sección transversal de la parte más ancha de la hoja se encuentran clorocistos con cuatro ángulos y de 3-4 capas de leucocistos (Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Sobre suelo y *Liquidambar styraciflua*, *Pinus* sp. y *Rhus schiedeana*. Por su distribución mundial se considera del Caribe y en México sólo se le reportaba en Chiapas (Sharp *et al.*, 1994). Los nuevos registros en Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz (C. Delgadillo com. pers.) amplían su distribución.

Ejemplares representativos. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 4 de octubre de 2009, *P. Herrera 1276, 1308a, 1309b, 1490*. San Luis Potosí. Mpio. Tamasopo, Copalillos, 18 de marzo de 2010, *P. Herrera 1397c*.

Orthostichella pachygastrella (Müll.Hal. ex Ångstr.) B.H.Allen & Magill, *Bryologist* 110: 16. 2007. (Neckeraceae). Las plantas de este género son largas, estolonadas, delgadas, los tallos secundarios estipitados e irregularmente ramificados, colgantes; algunas especies como *O. pachygastrella* tienen hojas deciduas (Allen y Magill, 2007). Este género puede confundirse con *Pilotrichella*, pero este último es más robusto, sus hojas no tienen costa y las células alares están bien desarrolladas en grupos frecuentemente abultados (Allen y Magill, 2007).

Distribución y hábitat. Sobre *Ilex rubra* S.Watson y *Prunus* sp. Por su distribución mundial se le considera Americana. En México se le registra en Chiapas, Veracruz y Tabasco (Allen y Magill, 2007).

Ejemplares examinados representativos. San Luis Potosí. Mpio. Tamasopo, Copalillos, 18 de marzo de 2010, *P. Herrera 1360, 1371a*.

Pylaisiadelpha sharpii H.A. Crum, *Bryologist* 89: 27. 1986. (Sematophyllaceae). Esta especie, nombrada en honor de Aaron J. Sharp, se caracteriza por tener hojas menores a 1 mm de largo, células alares moderadamente infladas, cápsulas inclinadas a péndulas y un endostoma bien desarrollado, con una membrana basal alta y con cilios (Crum, 1986). Algunos autores consideran que las características del peristoma no concuerdan con el concepto genérico (Ando *et al.*, 1989), pero sigue siendo una especie reconocida (Delgadillo, 2010).

Distribución y hábitat. Se le encontró sobre *Pinus* sp. Esta especie es endémica de México y se conoce de Chiapas, Michoacán y Puebla (Sharp *et al.*, 1994; Delgadillo y Cárdenas, 2002; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 20 de agosto de 2010, *P. Herrera 1488b*.

Schlotheimia jamesonii (Arnott) Brid., Bryol. Univ. 1: 742. 1826. (Orthotrichaceae). Esta especie se parece a *S. rugifolia* (Hook.) Schwägr., pero generalmente sus hojas no son rugosas y son oblongo-lanceoladas, acuminadas o con un apículo ancho; las hojas periqueciales están diferenciadas, hasta 3.4 mm de largo y altamente envainantes (Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Sobre *Crataegus mexicana* DC., *Liquidambar styraciflua*, *Quercus* sp. y *Rhus schiedeana*. Por su distribución mundial se considera del Caribe y en México se le registra para los estados de Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares representativos examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 4 de octubre de 2010, *P. Herrera 1269, 1278b, 1302a*.

Sematophyllum cuspidiferum Mitt., J. Linn. Soc., Bot. 12: 480. 1869.

(Sematophyllaceae). Se caracteriza por su hábito postrado y ser de tamaño grande, en comparación con las otras especies del género, de un color amarillo a dorado verdoso; las hojas son cóncavas, oblongo-ovadas y subuladas con el acumen plano (Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Sobre *Clethra pringlei* S. Watson, *Liquidambar styraciflua*, *Savia* sp. y *Zanthoxylum* sp. Por su distribución mundial se considera del Caribe (Delgadillo, 2004) y en México se ha registrado en varios estados que forman parte de la Sierra Madre Oriental (e.g. Hidalgo, Tamaulipas y Veracruz) (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 20 de agosto de 2010, *P. Herrera 1496f*. San Luis Potosí. Mpio. Xilitla, El Retén, 20 de marzo de 2010, *P. Herrera 1452, 1456a, 1462a*; 3 km al W de Ahuacatlán, 22 de Agosto de 1978, *Cárdenas 147* (MEXU); Mpio. Tamasopo, Copalillos, 18 de marzo de 2010, 18 de marzo del 2010, *P. Herrera 1419c*.

Sematophyllum swartzii (Schwägr.) Welch & H.A. Crum, Bryologist 62: 176. 1959.

(Sematophyllaceae). La principal característica que distingue a esta especie de las otras

del género, son sus hojas estrechamente acuminadas y falcadas-secundas (Cárdenas y Delgadillo, 2009).

Distribución y hábitat. Sobre *Clethra pringlei* y *Liquidambar styraciflua*. Su distribución mundial la ubica dentro del elemento del Caribe (Delgadillo, 2004). Se ha registrado en varios estados (p. ej. Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Sinaloa; Sharp *et al.*, 1994) y tipos de bosque, incluyendo los BHM como en el Rancho El Cielo (Tamaulipas) (UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 20 de agosto de 2010, *P. Herrera 1492a*; ± 3km (por aire) al SE de La Cercada, por el camino a La Mesa, 24 de Octubre de 2002, *Zamudio y Steinmann 12100* (MEXU). San Luis Potosí. Mpio. Xilitla, El Retén, 20 de marzo de 2010, *P. Herrera 1426a, 1427a*.

Sphaerotheciella pachycarpa (Schimp. ex Besch.) Manuel, J. Hattori Bot. Lab. 49: 136. 1981. (Cryphaceae). El aspecto de esta planta es similar al de *Cryphaea*, pero en el esporofito los dientes del peristoma son lisos o en la base lisos y ligeramente papilosos distalmente; las esporas germinan precozmente en la urna (Sharp *et al.*, 1994). Las hojas de esta especie son generalmente ovadas a elípticas y agudas a acuminadas y enteras o ligeramente serruladas en el ápice (Sharp *et al.*, 1994; Rao, 2000).

Distribución y hábitat. Sobre *Zanthoxylum* sp. De distribución Mesoamericana, en México se le ha encontrado en Chiapas, Hidalgo, México, Oaxaca, Puebla y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. San Luis Potosí. Mpio. Xilitla, El Retén, 20 de marzo de 2010, *P. Herrera 1457a*.

Squamidium leucotrichum (Taylor) Broth., Nat. Pflanzenfam. I: 809. 1906. (Meteoriaceae). Ayuda a identificar a la especie el hábito colgante, con hojas oblongas a abruptamente subuladas terminando en un pelo, con costa, células lisas, con un grupo de células alares pequeño pero evidente, (Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Sólo se encontró una muestra exigua sobre *Quercus germana* Schlttdl. & Cham. Por su distribución mundial se considera del Caribe y se le ha

registrado en los estados de Chiapas, Michoacán, Oaxaca, Puebla y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. San Luis Potosí. Mpio. Tamasopo, Copalillos, 18 de marzo de 2010, *P. Herrera 1396c*.

Syrrhopodon incompletus Schwägr. var. *incompletus*, Sp. Musc. Frond., Suppl. 2: 119. 1824. (Calymperaceae). En ausencia de esporofitos y de teniola algunas especies se pueden confundir con *Calymperes*. En esta variedad la lámina tiene el borde engrosado y dentado; las cancelinas son persistentes y la base foliar hialina con hombros poco prominentes; yemas en los ápices de las hojas (Allen, 1994; Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Se le encontró sobre *Clethra pringlei*. Esta variedad de amplia distribución bicéntrica (América-África) (Delgadillo, 2004) se ha registrado tanto en el sur del país (e.g. Yucatán) como en el norte (Tamaulipas) (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 21 de octubre de 2011, *P. Herrera 1526b, 1539b*.

Syrrhopodon parasiticus (Brid.) Besch., Ann. Sci. Nat., Bot., sér. 8, 1: 298. 1895. (Calymperaceae). Las plantas de esta especie tienen la teniola incompleta y las hojas, en estado seco, son ligeramente torcidas; las características distintivas son las hojas liguladas-lanceoladas, con las células dorsalmente unipapilosas y las yemas ubicadas en la superficie adaxial a lo largo de la costa (Allen, 1994; Sharp *et al.*, 1994).

Distribución y hábitat. Sobre *Clethra pringlei*, *Crataegus mexicana* y *Rhus schiedeana*. Esta especie de distribución pantropical (Delgadillo, 2004) se ha encontrado en los estados de Campeche, Chiapas, Jalisco, Nayarit, Puebla, Quintana Roo, Veracruz y Yucatán (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Los Xililites, San Juan de los Durán, 4 de octubre de 2009, *P. Herrera 1293d, 1316c, 1318c, 1494*.

Syrrhopodon prolifer Schwägr. var. *prolifer*, Sp. Musc. Frond., Suppl. 2: 99. pl. 180. 1827. (Calymperaceae). A diferencia de las especies anteriores, en ésta las hojas están

más rectas cuando secas, de un color verde; presenta un borde de células hialinas alargadas en toda la hoja, con los hombros de las hojas ligeramente marcados, pero irregular y ligeramente dentados, con la lámina distal más larga que la base; las células son pluripapilosas en ambas superficies (Allen, 1994; Sharp *et al.*, 1994). Aunque generalmente no presentan yemas, un ejemplar sí las mostró.

Distribución y hábitat. Sobre *Liquidambar styraciflua* y *Sambucus* sp. También es de distribución pantropical y en México se le ha registrado en Chiapas, Hidalgo, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz (Sharp *et al.*, 1994; UNIBIO, 2012).

Ejemplares examinados. Querétaro. Mpio. Landa de Matamoros, Pozo del Limón, aprox. 3 km al sur de Neblinas, 22 de agosto de 2009, P. Herrera 1165, 1532a.

DISCUSIÓN

Con los nuevos registros, la flora de musgos del estado de Querétaro comprende ahora 225 especies y 221 para San Luis Potosí. Sin embargo, el número de especies para esta última entidad se debe tomar con prudencia, porque aunque se revisó la información taxonómica pertinente de las especies registradas en este trabajo, es necesaria la actualización nomenclatural de las especies de musgos mencionadas por Sharp *et al.* (1994). No obstante, tomando en cuenta esta riqueza de musgos y considerando las 983 especies reconocidas para México (Delgadillo, 2011), en estas entidades está representada el 22.88% (Querétaro) y el 22.48% (San Luis Potosí) de la flora de musgos del país. Esta diversidad, aunque no comparable con la de los estados de Chiapas, Oaxaca y Veracruz (Delgadillo, 2011), es significativa por los taxones que contiene.

De los nuevos registros, dos especies son endémicas de México, como *Cyclodictyon richardsii* que sólo se le localiza, hasta ahora, en el centro de la Sierra Madre Oriental. En cambio, *Pylaisiadelpha sharpii* aunque se le conoce en otros estados del país, se le considera un taxón inconspicuo por los pocos registros existentes en MEXU.

Donnellia commutata, una especie incluida en la flora de musgos de México pero sin ejemplares de referencia en MEXU, se encontró en el área de estudio. Esta especie

se colectó en el tronco de *Rhus schiedeana*, a una altura mayor a los 1.3 m del suelo, lo cual coincide con lo descrito por Buck (1988), quien menciona que es frecuente a esta altura y hasta los 2.5 m del suelo. Por lo anterior, y aunado a las características taxonómicas, las ecológicas también son necesarias de tomar en cuenta para distinguirla de *Sematophyllum adnatum*, que se puede encontrar en cualquier parte del árbol.

Los otros nuevos registros son comparativamente mejor conocidos en otras áreas del país, pero su presencia en Querétaro y San Luis Potosí aumenta su área de distribución y sugiere que dichas entidades requieren una mejor caracterización de la flora de musgos. La protección de un área por su riqueza de plantas vasculares y vertebrados no siempre garantiza la conservación de la diversidad de briofitas (Hallingbäck y Hodgetts, 2000; Chiarucci *et al.*, 2007). Por el momento, la presencia de las especies señaladas indica la importancia de la región terrestre prioritaria Sierra Gorda-Río Moctezuma.

Aunque son pocas las especies tratadas en este trabajo, no sorprende que su área de distribución sea más bien tropical; la presencia de especies de distribución boreal muestra que entre los musgos la mezcla de especies tropicales y templadas en el bosque húmedo de montaña también es frecuente, como lo señala Delgadillo (1979). La continuación de los estudios sobre la flora regional de musgos y su distribución son aún necesarios para documentar su presencia y su significado ante la pérdida de hábitats en nuestro país.

AGRADECIMIENTOS

A Claudio Delgadillo quien revisó el manuscrito y proporcionó valiosos comentarios, además de resolver dudas taxonómicas. Ángeles Cárdenas apoyó con la identificación de algunos ejemplares. Hugo A. Castillo apoyó en el trabajo de campo y en la determinación de las plantas leñosas. Enrique Ortiz Bermudes elaboró el mapa. A Deneb García y a un revisor anónimo, por sus correcciones, comentarios y sugerencias. La primera autora agradece el apoyo de la Universidad Autónoma de Querétaro y la beca del CONACYT (48348).

LITERATURA CITADA

- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, L., coords. 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad [consultado en mayo 2012]. Disponible en:
<<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>>
- Allen, B. 1994. Moss Flora of Central America. Part 1. Sphagnaceae-Calymperaceae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 49:1-242.
- Allen, B. & Magill, R.E. 2007. A revision of *Orthstichella* (Neckeraceae). *Bryologist*, 110:1-45.
- Ando, H. & Higuchi, M. 1983. *Homomallium sharpii*, a new moss species from Mexico. *Bryologist*, 86:374-377.
- Ando H., Seki, T. & Schofield, W.B. 1989. Generic distinctness of *Brotherella* from *Pylaisiadelphina* (Musci). *Bryologist*, 92:209-215.
- Buck, W.R. 1988. *Donnellia* (Sematophyllaceae) resurrected and refound in Florida after 110 years. *Bryologist*, 91:134-135.
- Buck, W.R. 1998. Pleurocarpous Mosses of the West Indies. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 82:1-400.
- Cárdenas S., A. 1999. Los musgos pleurocárpicos del Valle de México, México. *Tropical Bryology*, 16:109-116.
- Cárdenas S., A. & Delgadillo M., C. 2009. *Musgos del Valle de México*. México: Cuadernos del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chiarucchi, A., D'auria, F. & Bonini, I. 2007. Is vascular plant species diversity a predictor of bryophyte species diversity in Mediterranean forest? *Biodiversity and Conservation* 16: 525-545.
- Crum, H.A. 1951. Index of Appalachian-Ozarkian element in the moss flora of Mexico with a check-list of all know Mexican mosses. Tesis doctoral. University of Michigan, Ann Arbor. 504 pp.
- Crum, H. 1986. Taxonomic and nomenclatural addenda to the Mexican moss flora. *Bryologist*, 89:23-27.

- Delgadillo M., C. 1979. Mosses and phytogeography of the *Liquidambar* forest of Mexico. *Bryologist*, 82:432-449.
- Delgadillo M., C. 1984. Mosses of the Yucatan Peninsula, Mexico. III. Phytogeography. *Bryologist*, 87:12-16.
- Delgadillo M., C. 1987. Moss distribution and the phytogeographical significance of the Neovolcanic Belt of Mexico. *Journal of Biogeography*, 14:69-78.
- Delgadillo M., C. 1998. Diversidad de la brioflora mexicana. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot & J. Fa, eds. *Diversidad Biológica de México, Orígenes y Distribución*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 355-368.
- Delgadillo M., C. 2004. Musgos. En: I. Luna, J.J. Morrone & D. Espinosa, eds. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. México: Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 127-135.
- Delgadillo M., C. 2010. LATMOSS 2010. [consultado en agosto 2012]. Disponible en: <<http://www.ibiologia.unam.mx/briologia/www/index/latmoss.html>>
- Delgadillo M., C. 2011. Los musgos, Veracruz y el Corredor Florístico del Golfo. En: A.A. Cruz, ed. *La Biodiversidad en Veracruz. Estudio de Estado. Vol. II*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C., pp. 89-96.
- Delgadillo M., C. & Cárdenas, S. A. 1996. A preliminary checklist of the mosses of Guanajuato, Mexico. *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes, Fascículo Complementario XI*:1-14.
- Delgadillo M., C. & Cárdenas, S. A. 2002. The Lacandon forest (Chiapas, México): a benchmark area for tropical mosses. *Bryologist*, 105:327-333.
- Frahm, J.-P. 1991. Dicranaceae: Campylopodioideae, Paraleucobryoideae. *Flora Neotropica Monograph*, 54:1-238.
- GBIF [Global Biodiversity Information Facility] Portal de acceso a datos de ocurrencia de musgos publicados por Australian National Herbarium, National Herbarium of New South Wales y Missouri Botanical Garden. 2013 [consultada en febrero del 2013]. Disponible en: <<http://www.data.gbif.org/welcome.htm>>

- Hallingbäck T. & Hodgetts N. 2000. Key habitats and their specific threats and recommendations. En: T. Hallingbäck & N. Hodgetts, comps. *Mosses, Liverworts and Hornworts. Status survey and conservation action plant for bryophytes*. Oxford: IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, pp 14-21.
- Juárez G., G. 1983. Los musgos de Coatepec, Veracruz, México. *Biótica*, 8:49-58.
- Herrera-Paniagua P., Delgadillo M., C., Villarseñor R., J.L. & Luna-Vega, I. 2008. Floristics and biogeography of the mosses of the state of Querétaro, Mexico. *Bryologist*, 111:41-56.
- Pursell, R.A. 2007. Fissidentaceae. *Flora Neotropica Monograph* 101:1-278.
- Rao, P. 2000. *Sphaerotheciella koponenii* (Bryopsida, Cryphaceae), a New species from China. *Bryologist*, 103:739-741.
- Sharp, A.J., Crum, H. & Eckel, P.M. eds. 1994. The Moss Flora of Mexico. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 69:1-1113.
- Thornburgh K.R. & Sharp A.J. 1975. A preliminary list of mosses collected on tree branches in Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 35: 51-58.
- UNIBIO [Unidad de Informática para la Biodiversidad] Colecciones Biológicas Nacionales. 2012. [consultada en mayo 2012]. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <<http://www.unibio.unam.mx>>
- Villaseñor, J.L. 2010. *El Bosque Húmedo de Montaña en México y sus Plantas Vasculares: Catálogo Florístico-Taxonómico*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad –Universidad Nacional Autónoma de México.

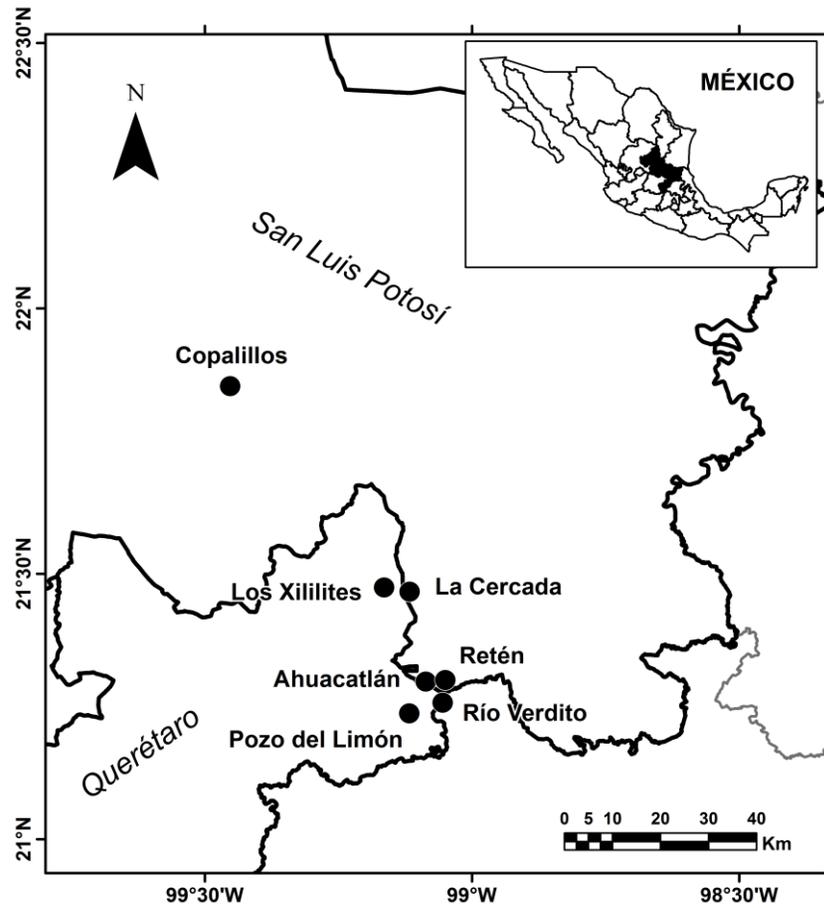


Figura. 1. Localización de los fragmentos de bosque húmedo de montaña (BHM) estudiados en los estados de San Luis Potosí y Querétaro, México.

Cuadro 1. Distribución mundial generalizada de los nuevos registros de musgos epífitos de bosques húmedos de montaña para los estados de Querétaro y San Luis Potosí. Las especies pueden estar en todos, en varios o en un sólo país de las zonas señaladas, para más detalles refiérase a LATMOSS (Delgadillo, 2010) y al portal GBIF (2013). Las abreviaturas corresponden a las zonas de distribución: NA1 (Canadá), NA2 (Estados Unidos), NA3 (México), CA (Centro América), SA1 (Colombia, Venezuela, Guyana, Surinam, Guyana Francesa), SA2 (Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Islas Galápagos), SA3 (Chile, Paraguay, Argentina, Uruguay, Islas Juan Fernández), ANT (Antillas Mayores y Menores), AFR (África), EUR (Europa), AS (Asia), OC (Oceania).

Taxa	NA1	NA2	NA3	CA	SA1	SA2	SA3	ANT	AFR	EUR	AS	OC
Anomodantaceae												
<i>Anomodon rostratus</i> (Hedw.) Schimp.	X	X	X	X				X		X	X	
Calymperaceae												
<i>Syrrhopodon incompletus</i> Schwägr. var. <i>incompletus</i>		X	X	X	X	X	X	X	X			
<i>Syrrhopodon parasiticus</i> (Brid.) Besch.		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
<i>Syrrhopodon prolifer</i> Schwägr. var. <i>prolifer</i>			X	X	X	X	X	X	X		X	X
Cryphaceae												
<i>Sphaerotheciella pachycarpa</i> (Schimp. ex Besch.) Manuel			X	X								
Dicranaceae												
<i>Campylopus anderssonii</i> (Müll.Hal.) Jaeg.			X	X	X	X						
Entodontaceae												
<i>Entodon hampeanus</i> Müll.Hal.		X	X	X	X	X		X				
<i>Entodon jamesonii</i> (Taylor) Mitt.			X	X	X	X						
<i>Entodon serrulatus</i> Mitt.			X	X				X				
Fissidentaceae												
<i>Fissidens dubius</i> P.Beauv.	X	X	X	X				X		X	X	
<i>Fissidens serratus</i> Müll.Hal. var. <i>serratus</i>		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X

Hypnaceae											
<i>Isopterygium tenerum</i> (Sw.) Mitt.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Leucobryaceae											
<i>Leucobryum crispum</i> Müll.Hal.		X	X	X	X	X	X				
Meteoriaceae											
<i>Squamidium leucotrichum</i> (Taylor) Broth.		X	X	X	X				X		
Neckeraceae											
<i>Orthostichella pachygastrella</i> (Müll.Hal. ex Ångstr.) B.H.Allen & Magill		X	X		X	X					
Orthotrichaceae											
<i>Schlotheimia jamesonii</i> (Arnott) Brid.		X	X	X	X	X	X				
Pilotrichaceae											
<i>Cyclodictyon richardsii</i> Bowers & Magill		X									
Polytrichaceae											
<i>Atrichum oerstedianum</i> (Müll.Hal.) Mitt.	X	X	X	X	X	X					
Pterobryaceae											
<i>Hildebrandtiella guyanensis</i> (Mont.) W.R.Buck		X	X	X	X	X	X	X	X		
Sematophyllaceae											
<i>Donnellia commutata</i> (Müll.Hal.) W.R.Buck	X	X	X	X	X				X		
<i>Pylaisiadelphina sharpii</i> H.A.Crum		X									
<i>Sematophyllum cuspidiferum</i> Mitt.		X	X	X	X				X		
<i>Sematophyllum swartzii</i> (Schwägr.) Welch & H.A.Crum		X	X	X	X				X		

CAPÍTULO 3

RIQUEZA Y RAREZA DE MUSGOS EPÍFITOS EN EL BOSQUE HÚMEDO DE MONTAÑA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, MEXICO

RESUMEN. Los bosques húmedos de montaña de México son sitios diversos en especies, pero están sujetos a constante perturbación y fragmentación. Ante la falta de antecedentes de los musgos epífitos en el país, se hizo un inventario de estas plantas en cinco fragmentos de bosque y árboles aislados ubicados en un transecto longitudinal en la Sierra Madre Oriental. Todos los musgos presentes en el tronco de los árboles se colectaron. La riqueza de epífitas de los sitios se comparó mediante ANOVAs y ANCOVAs y se estimó utilizando el algoritmo Chao 2. El patrón de rareza de los musgos se determinó en tres escalas: región, fragmentos y árboles aislados. Se encontraron 93 especies y cinco variedades de musgos en 62 géneros y 26 familias. Se registraron 19 géneros de forofitos, siendo *Quercus* el más rico en especies de musgos. La riqueza cambia a lo largo del transecto longitudinal mostrando diferencias significativas. El área de los sitios no mostró tener efecto en la riqueza. De los taxones, 32 fueron epífitas estrictas y 61 facultativas. El 59.14% de especies fueron raras en el área de estudio, el 27.27% de las epífitas estrictas están restringidas a uno o dos forofitos. El área de estudio es rica en especies de musgos epífitos de distribución amplia y restringida.

INTRODUCCIÓN

Las briofitas (*sensu lato*) en América tropical comprenden cerca de 4 000 especies, de las cuales 2 600 son musgos (Gradstein *et al.*, 2001). Se distribuyen en diversos ecosistemas, pero la disponibilidad de agua y la altitud son factores importantes en determinar su diversidad y biomasa por lo que en los bosques tropicales húmedos son frecuentes en troncos y ramas (Frahm, 1990). En los bosques de niebla (“cloud forest”), conocidos en México como bosques húmedos de montaña (BHM, *sensu* Villaseñor, 2010) o bosques mesófilos de montaña (*sensu* Rzedowski, 1996), las briofitas epífitas generalmente son elementos conspicuos que contribuyen a su diversidad y al mantenimiento del ciclo hidrológico (e.g., Köhler *et al.*, 2010; Gehring-Downie *et al.*, 2011).

En México los BHM ocupan el 0.6% de su superficie, se encuentran en forma fragmentaria en los principales sistemas montañosos (e.g. Sierra Madre Occidental y Oriental) y se consideran uno de los tipos de vegetación más diversos (6790 especies

de plantas vasculares; Rzedowski, 1996; Villaseñor, 2010). Su heterogeneidad florística y estructural es una de sus características, lo cual dificulta su delimitación, pero sus especies restringidas y frecuentes ayudan a su reconocimiento (Villaseñor, 2010).

Los BHM en México, se estima que han perdido un 68.4% de su superficie original (Mulligan, 2010). Los riesgos que enfrentan estos bosques como el desarrollo de áreas urbanas, de zonas de ganadería y actividades agrícolas como las plantaciones de café, lo hacen el tipo de vegetación más amenazado de México (Challenger, 1998; CONABIO, 2010). En particular, los BHM de la Sierra Madre Oriental presentan un alto nivel de fragmentación por lo que se categorizan por ser de “prioridad crítica” para su conservación ante las amenazas que presentan para su permanencia (Arriaga *et al.*, 2000; CONABIO, 2010; Toledo-Aceves *et al.*, 2011).

En México pocos son los trabajos sobre briofitas de BHM, como el de Delgadillo (1979) quien hace un listado y análisis fitogeográfico de 194 especies y variedades de algunos bosques de *Liquidambar* de seis estados del país (Chiapas, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz). Por otra parte, la flora de musgos de los fragmentos de BHM en Coatepec, Veracruz, contienen 146 especies y variedades, de las cuales 49 son epífitas (Juárez, 1983). Otros autores han citado algunos musgos que pueden encontrarse en los BHM, pero sólo como parte de floras regionales (e.g. Herrera-Paniagua *et al.*, 2008). Solo existe un trabajo sobre musgos epífitos mexicanos, una lista de 54 especies que crecen en ramas de árboles de algunos BHM y selvas (Thornburg & Sharp, 1975).

Se sabe que el efecto negativo de las actividades antrópicas en las briofitas epífitas es inmediato, porque la fragmentación y deforestación del hábitat produce la pérdida de los árboles, además de provocar la pérdida de humedad y aumentar la insolación, por lo que muchas de ellas llegan a desaparecer, pero otras pueden favorecerse (e.g. Hallingbäck & Hodgetts, 2000; Acebey *et al.*, 2003; Drehwald, 2003; Holz & Gradstein, 2005; Pereira & Cavalcanti, 2007). Las epífitas que crecen preferentemente en los troncos, a diferencia de las que se encuentran en el dosel, son poco tolerantes a la desecación y en períodos prolongados de sequía pueden morir (Pardow & Lakatos, 2013). Ante factores globales como el cambio climático se predice

que habrá modificaciones o desaparición de las comunidades de epífitas en los BHM (Benzing, 1998; Nadkarni, 2010).

No obstante, además de identificar qué especies viven en los bosques, se necesita saber qué tan comunes o raras son y si son capaces de sobrevivir a la perturbación (Hallingbäck & Hodgetts, 2000). Para determinar la rareza de las briofitas, además de considerar el tamaño de su área de distribución, su especificidad al hábitat y su abundancia local (Rabinowitz, 1981), es importante tomar en cuenta las características de sus ciclos de vida (p.ej. producción de esporofitos o diásporas; Cleavitt, 2005; Söderstrom & Daring, 2005). Sin embargo, ante el desconocimiento que hay de este grupo de plantas en varios lugares, los datos de ocurrencia y distribución pueden servir inicialmente (Heinlen & Vitt, 2003).

En este estudio se intentó (1) determinar cuáles son los musgos epífitos de tronco que habitan fragmentos y árboles aislados de BHM en un transecto longitudinal en la Sierra Madre Oriental; y (2), conocer qué tan comunes, frecuentes o raras fueron las epífitas utilizando dos escalas de estudio, región y sitio de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se hizo en la parte central de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, México (Ferrusquía, 1998) (**Figura 1**), dentro de dos regiones prioritarias para la conservación en México. La mayor área de estudio forma parte de la Región Terrestre Prioritaria Sierra Gorda-Río Moctezuma (RTP-101) que comprende el norte del estado de Querétaro y el oriente del estado de San Luis Potosí. La segunda, la Región Terrestre Prioritaria Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental (RTP-102), se localiza en el estado de Hidalgo (Arriaga *et al.*, 2000).

En general, los bosques de esta región son sitios para la ganadería extensiva, agricultura, construcción de caminos y tala de rodales, por lo que la mayoría de los BHM de este lugar están fragmentados y perturbados (Arriaga *et al.*, 2000; Cartujano *et al.*, 2002; CONABIO, 2010). Por lo tanto, a lo largo de un gradiente longitudinal en sentido NW-SE (21°51' -20°51' N y 99°27' -98°40' W), con el fin de evitar las zonas más perturbadas y de incluir la variación florística natural de los BHM, se seleccionaron cinco

fragmentos de bosque con superficies de 1000 m² y 500 m²: Copalillos, El Retén (San Luis Potosí), Los Xililites y Neblinas (Querétaro) y Lolotla (Hidalgo) (**Figura 1**).

Adicionalmente se incluyeron los árboles aislados que estuvieron dentro de un área de 500 m² en dos sitios, El Pemoche y San Onofre (Querétaro).

La altitud de los sitios estudiados varía de los 989 a los 1485 m. La temperatura media anual oscila entre los 19.5 y los 22.5°C, mientras que la precipitación media anual de los 759 a 1340 mm (Hijmans *et al.*, 2005). La heterogeneidad florística observada en los sitios de estudio es una característica de los BHM, pero los fragmentos y árboles aislados se distinguieron por la presencia de *Liquidambar styraciflua* L., especie restringida al BHM, y de varias especies de *Quercus* (**Cuadro 1**) (Villaseñor, 2010).

Trabajo de campo y de herbario

En cada fragmento de bosque se seleccionaron al azar 10 árboles (n = 50) y en los árboles aislados cinco (n = 10) con un DAP \geq 6 cm (**Cuadro 1**). Los árboles muestreados en los fragmentos estuvieron separados entre ellos al menos por una distancia \geq 10 m. Este criterio no se aplicó en los árboles aislados por la falta de una continuidad arbórea. Todos los musgos presentes en el tronco de los forofitos, hasta las primeras ramificaciones (\leq 8 m), se colectaron utilizando una navaja o una garrocha.

Las especies arbóreas se colectaron para su determinación en el laboratorio. Los musgos se determinaron siguiendo a Allen (1994, 2002), Sharp *et al.* (1994), Buck, (1998) y Pursell (2007). La nomenclatura sigue la versión electrónica de LATMOSS (Delgadillo, 2010). De acuerdo con Smith (1982), las especies se pueden clasificar en epífitas estrictas (confinadas a corteza) o facultativas (creciendo no sólo en corteza sino también en suelo o roca). Para tal clasificación se utilizó la información del microhábitat proporcionada por Sharp *et al.* (1994). Los ejemplares determinados, tanto de los árboles como de los musgos, se depositaron en el Herbario QMEX.

Análisis de datos

Para saber qué tan completo fue el muestreo, a partir de la riqueza de musgos epífitos observada ($S_{\text{observada}}$) en cada árbol, se hizo una estimación de la misma

($S_{estimada}$) para cada sitio. Se empleó el modelo no paramétrico Chao 2, utilizando 100 aleatorizaciones sin reemplazamiento, en el programa EstimateS versión 8.1 (Colwell, 2006). Este estimador se seleccionó porque se le considera como uno de los más precisos para datos de incidencia (Walther & Moore, 2005).

Se utilizó un análisis de varianza de un factor (one-way ANOVA) para comparar la riqueza de especies encontradas en los árboles de todos los sitios de estudio y de los fragmentos de BHM. Una prueba de Tukey (HSD) se hizo para comparar las medias en un intervalo de confianza del 95%. Por medio de una ANCOVA, se determinó si había un efecto del tamaño del área de estudio (covariable) en la riqueza de musgos epífitos. El número de especies de cada árbol se transformó con raíz cuadrada para corregir la falta de homocedasticidad de esta variable (Quinn & Keough, 2002).

Debido a la escala del trabajo, se determinó el patrón de rareza de los musgos epífitos utilizando arbitrariamente tres categorías basadas en su número de ocurrencia (Heinlen & Vitt, 2003) tanto en la región (sitios de estudio, $n=7$) como en los fragmentos ($n=50$ forofitos) y en los árboles aislados ($n=10$ forofitos). A nivel región se consideró común a la especie cuando se le registró en seis o siete sitios, frecuente si estuvo en tres a cinco y rara si sólo se encontró en una o dos localidades. Para los fragmentos, una especie puede ser común (presente en 7-10 forofitos), frecuente (3-5 forofitos) o rara (1-3 forofitos). En los árboles aislados se consideró común si la briofita se encontró en los cinco árboles, frecuente cuando estuvo en tres a cuatro y rara cuando sólo se presentó en uno o dos forofitos. Todos los análisis estadísticos y gráficos se hicieron en el programa R v.2.15.0 (R Development Core Team, 2011).

RESULTADOS

En los 584 ejemplares colectados en campo (en los fragmentos 86-109 y 45-51 en árboles aislados) (**Cuadro 2**), se encontraron 93 especies y cinco variedades de musgos en 62 géneros y 26 familias (**Apéndice 2**). El 36.6% de las especies registradas, no habían sido reportadas por Delgadillo (1979) y Juárez (1983). Esta riqueza incluye musgos de distribución restringida a México (*Cyclodictyon richardsii* Bowers & Magill, *Neckera angustifolia* Müll. Hal. y *Pylaisiadelpha sharpii* H.A. Crum), así como característicos de BHM (e.g., *Leucobryum crispum* Müll. Hal.; Sharp *et al.*, 1994) y

de bosques abiertos (*Fabronia ciliaris* var. *polycarpa* (Hook.) W. R. Buck) (Gradstein *et al.*, 2001). En cuanto a diversidad taxonómica, las familias con más especies y en las cuales está contenida el 36.17% de la riqueza, fueron Meteroriaceae (11 especies), Orthotrichaceae (9 especies), Pottiaceae (7 especies) y Sematophyllaceae (7 especies). En los fragmentos de BHM, las mejor representadas ($5 \geq$ especies) fueron: Hypnaceae (El Retén), Meteororiaceae (Copalillos) y Orthotrichaceae (Los Xililites y Lolotla). En Neblinas fueron Anomodantaceae y Brachytheciaceae, con sólo tres especies cada una. En los árboles aislados (El Pemoche y San Onofre) la más diversa fue Meteororiaceae, con tres y cuatro especies en cada localidad, respectivamente.

Los patrones de riqueza de los musgos epífitos cambian a lo largo del transecto longitudinal. En particular, se encontró un intervalo de riqueza que oscila de 21 (El Pemoche) a 44 especies (Los Xililites) (**Cuadro 2**). Según el estimador de riqueza (Chao 2), el número de especies para cada sitio es de 22 a 60 especies. Por lo tanto, la riqueza observada ($S_{\text{observada}}$) representa entre el 61.7 y el 97% de la estimada. En los árboles aislados se obtuvo el muestreo más completo y en el fragmento Neblinas el más incompleto (**Cuadro 2**).

El número de especies de musgos epífitos cambia significativamente entre todos los sitios de estudio (ANOVA; $df=6, 52, F=3.96, P<0.05$) y entre los fragmentos de bosque (ANOVA; $df=4, 45, F=4.81, P<0.001$) (**Figura 2**). Específicamente, el análisis de Tukey indica que la riqueza de epífitas en los árboles de Neblinas es significativamente menor a la encontrada en los forofitos de Copalillos y San Onofre ($P<0.05$). El área de los sitios de estudio (0.05-0.1 ha) no mostró tener un efecto en la riqueza de especies (ANCOVA; $df=1, 57, F=1.71, P=0.1962$).

Los árboles tuvieron de 0 especies de musgos epífitos (un forofito aislado en El Pemoche) hasta 19 (un forofito del fragmento Copalillos), con una riqueza media de 8.3 ± 3.7 DE (desviación estándar) especies por árbol (**Cuadro 2**). En particular, Copalillos (12.2 ± 3.9 DE) y los árboles aislados de San Onofre tuvieron en promedio más especies de musgos (10.2 ± 2.7 DE) por hospedero que el resto de los sitios de estudio. Los árboles de San Onofre comparten musgos epífitos entre sí como *Papillaria deppei* (Hornsch. ex Müll. Hal.) A. Jaeger. y *Pilotrichella flexilis* (Hedw.) Aongstr.

En total, se encontraron 19 géneros de forofitos, de los cuales, *Liquidambar* y *Quercus*, con 19 y 14 individuos fueron los hospederos más comunes. Estos árboles sólo estuvieron ausentes en Lolotla (*Liquidambar*) y en El Retén (*Quercus*) (**Cuadro 1**). El género con más especies de musgos fue *Quercus*, pues en él se encontró el 67.7 % de la riqueza encontrada (**Figura 3**). *Entodon jamesonii* (Taylor) Mitt. y *Prionodon densus* (Hedw.) Müll. Hal. fueron las únicas epífitas estrictas en común a estos géneros arbóreos y sólo se les encontró en ellos (**Apéndice 2**).

El forofito *Clethra* también alberga muchas especies de musgos epífitos; en solo cinco individuos se encontraron 33 especies de epífitas. Este hospedero sólo se encontró en Copalillos, Los Xililites, Neblinas y Lolotla. Los 15 géneros arbóreos restantes comprenden sólo uno o dos individuos y se presentaron de en uno o dos sitios. En estos forofitos la riqueza fue de 19 a 2 especies de musgos epífitos. Dos árboles, con dos especies cada uno, fueron los hospederos más pobres en epífitas: *Ligustrum* (*Rhynchostegium serrulatum* (Hedw.) A. Jaeger y *Sematophyllum subpinnatum* (Brid.) E. Britton) y *Ulmus* (*Brachythecium ruderales* y *Sematophyllum adnatum*) (**Figura 3**).

Los taxa registrados están integrados por 32 especies de musgos epífitos estrictos y 61 facultativos, como *Hildebrandtiella guyanensis* (Mont.) W.R. Buck y *Anomodon attenuatus* (Hedw.) Huebener (**Cuadro 2; Apéndice 2**). En general, las especies estrictas representan entre el 26 y 38% de las especies de cada sitio, por lo que más del 62% son facultativas. Los sitios de estudio con más epífitas estrictas son El Retén y El Pemoche (con 30% y 33% de sus especies, respectivamente). En cambio, Lolotla y San Onofre fueron los que tuvieron más epífitas facultativas (73% de sus especies).

Sólo ocho especies (8.5%) fueron comunes en la región, presentándose en seis a siete sitios, como *Anomodon attenuatus* y *Papillaria deppei* (**Apéndice 2**). En los fragmentos de bosque o en los árboles aislados estas especies pueden ser comunes, frecuentes o raras (**Figura 4**). Por ejemplo, *Pilotrichella flexilis* fue común en Copalillos (8 forofitos), frecuente en Lolotla (6 forofitos) y en San Onofre (4 forofitos), pero rara en Los Xililites (1 forofito). La única especie presente en todos los sitios, *Sematophyllum subpinnatum*, fue frecuente en El Retén pero rara en los sitios restantes.

Las especies frecuentes en región fueron 30 (31.91% del total), 14 de las cuales presentaron dos a tres categorías de rareza en los fragmentos de bosque y en los árboles aislados (**Figura 4**). La epífita *Pireella pohlii* (Schwägr.) Cardot quien es común en Copalillos (7 forofitos) es rara (1 forofito) en Los Xililites y en San Onofre. Otra como *Fabronia ciliaris* var. *polycarpa* fue frecuente en San Onofre y rara en Copalillos y Neblinas. Las 16 especies restantes que conforman esta categoría, son raras en los fragmentos de bosque, siete de las cuales también son raras en los árboles (**Apéndice 2**).

De las 93 especies registradas en este estudio, 55 (59.14%) tienen una distribución limitada en el área de estudio, pues sólo se encontraron en un sitio o dos, por lo que se les considera raras (**Figura 4**). Sin embargo, en los fragmentos de bosque, una de estas especies fue común en Copalillos (*Orthostichella rigida* (Müll. Hal.) B. H. Allen & Magill) y otra lo fue en Lolotla, pero rara en El Retén (*Sphaerotherciella pachycarpa* (Schimp. ex Besch.) Manuel). Seis especies raras en la región fueron frecuentes en la localidad donde se encontraron como *Bryum billarderi* Schwägr. en Los Xililites. En los fragmentos de bosque se ubicaron 23 especies raras, 19 de las cuales son epífitas estrictas como las endémicas *Cyclodictyon richardsii* y *Pylaisiadelpha sharpii*.

En los árboles aislados se encontraron 11 especies raras a la región, de las cuales *Brachymenium systylium* (Müll. Hal.) A. Jaeger y *Syntrichia amphidiacea* (Müll. Hal.) R. H. Zander fueron frecuentes en ellos. Seis especies sólo se registraron en los árboles aislados, de las cuales *Leskea* aff. *angustata* Tayl. fue la única epífita estricta.

De las 23 epífitas estrictas y raras en el área de estudio, 15 se encontraron solo en uno o dos forofitos. Ocho especies se encontraron en un hospedero (p.ej. *Cyclodictyon richardsii* en Neblinas y *Squamidium leucotrichum* (Taylor) Broth. en Copalillos). Las otras siete, se encontraron en dos forofitos, en uno (p.ej. *Zelometeorium patulum* (Hedw.) Manuel, Copalillos) o en dos lugares (*Hildebrandtiella guyanensis* (Mont.) W. R. Buck en Copalillos y Neblinas) (**Apéndice 2**).

DISCUSIÓN

Este trabajo muestra que el área de estudio es rica en musgos epífitos. Los registros adicionales a lo reportado por Delgadillo (1979) y Juárez (1981) indican que el BHM contiene un contingente importante de especies epífitas. Puede deberse al énfasis en la colecta de esta forma de vida, pero en tan solo 5 500 m² está contenido el 9.5% de la flora de musgos de México (Delgadillo, 2011). Es notorio que esta proporción de riqueza sea cercana a la de las plantas vasculares, pues en los BHM se encuentra el 10% de las especies registradas para el país (Villaseñor, 2010).

Al igual que ocurre con algunas plantas leñosas presentes en los BHM, las familias más diversas de musgos son una mezcla de elementos característicos tanto de bosques tropicales como de templados. Meteoriaceae y Sematophyllaceae son familias frecuentes en los trópicos, en donde la mayoría de los miembros de las primera familia son epífitas (Gradstein *et al.*, 2001). Orthotrichaceae y Pottiaceae son de amplia distribución, distinguiéndose por sus especies xerofíticas, pero la primera prevalece en bosques tropicales montanos (Sharp *et al.*, 1994). Brachytheciaceae que se caracteriza por sus taxa pleurocárpicos es principalmente de climas templados (Gradstein *et al.*, 2001).

La importancia de estas familias es diferente para cada sitio, porque el número de especies cambia en cada uno de ellos (**Cuadro 2**). La riqueza depende del sitio, siendo Neblinas el lugar que incluye a los árboles menos ricos en especies. Algunos trabajos señalan que la riqueza de musgos epífitos es mayor en los bosques primarios que en los secundarios (e.g. Acebey *et al.*, 2003) y que cuando aumenta la intensidad del uso del suelo, las epífitas desaparecen (Zechmeister & Moser, 2000). Pero aquí se encontró que la riqueza de un fragmento de BHM era significativamente menor a la de un sitio con árboles aislados (**Figura 2**). Otras investigaciones hechas en bosques, con diferentes grados de perturbación, no han encontrado diferencias en su número de especies pero sí en su composición (e.g. Holz & Gradstein, 2005; Pereira & Cavalcanti, 2007).

La presencia o ausencia de musgos epífitos en los sitios pueden indicar variaciones en el microhábitat. Se puede sugerir que en los árboles aislados, las especies frecuentes y únicas a ellos como *Brachymenium systilium* y *Orthotrichum pycnophyllum* indican condiciones de aridez y mayor radiación de los sitios (Sharp *et al.*,

1994). Las especies indicadoras de bosques densos y húmedos, adaptadas a la sombra como *Hildebrandtiella guyanensis*, *Prionodon densus*, *Squamidium leucotricum* y *Toloxis imponderosa* (Sharp. *et al.*, 1994; León-Vargas *et al.*, 2006) que se encontraron en Copalillos y Los Xililites parecen indicar que son fragmentos de BHM mejor conservados, a pesar de que las dos primeras fueron raras. Es notorio que *Fabronia ciliaris* var. *polycarpa* (epífita estricta) al ser un taxón asociado a lugares secos y perturbados (Gradstein *et al.*, 2001; Cárdenas & Delgadillo, 2009), aunque fue frecuente en la región, en los fragmentos fue rara.

Se considera que las briofitas son comúnmente raras (independientemente del criterio usado), por lo que las alteraciones del hábitat disminuye aún más su capacidad de dispersión y establecimiento (Cleavitt, 2005; Söderström & During, 2005). La deforestación y fragmentación de los hábitats en las zonas tropicales afecta la diversidad de las epífitas (e.g. Hallingbäck & Hodgetts, 2000; Acebey *et al.*, 2003; Drehwald, 2003). La ausencia de los hospederos y de las condiciones microclimáticas adecuadas para algunas de ellas provoca su desaparición, pero otras como las epífitas generalistas o de sol pueden beneficiarse (e.g. Acebey *et al.* 2003; Pereira & Cavalcanti, 2007).

Papillaria deppei y *Pilotrichella flexilis* fueron las únicas epífitas estrictas que fueron comunes en la región, y comunes y frecuentes en los árboles aislados aunque en algunos fragmentos no se les encontró o fueron raros. Estas parecen ser tolerantes a ciertos cambios ambientales pues son frecuentes en los BHM (Delgadillo, 1979) y en vegetación secundaria y árboles aislados (Drehwald, 2003; Herrera-Paniagua *et al.*, 2008). En particular, *P. flexilis* ha mostrado tener una tolerancia mayor a la desecación y a la exposición solar en comparación con otras epífitas de los BHM (León-Vargas *et al.*, 2006), lo que en parte explicaría la amplitud de su distribución.

El resto de las especies comunes en la región son epífitas facultativas y pueden ser encontradas en otros tipos de vegetación y sustratos. *Sematophyllum subpinatum*, la única especie presente en todos los sitios de estudio, se encuentra también en bosques de *Quercus* y el género es uno de los más comunes en el neotrópico (Sharp *et al.*, 1994; Gradstein *et al.*, 2001). En los troncos generalmente prevalecen las especies facultativas pues en estos, sobre todo en sus bases, son sitios colonizados fácilmente

por las especies del suelo (Smith, 1982). Especies como *Atrichum oerstedianum* y *Tortella tortuosa* se encuentran generalmente en suelo, pero en este estudio se les encontró como epífitas (cf. Cárdenas & Delgadillo, 2009; **Apéndice 2**).

Las especies de musgos que se consideran características de los BHM (Sharp *et al.*, 1994) como *Leucobryum crispum* y *Cyclodictyon richardsii*, fueron raras tanto a la región como en los fragmentos y no se encontraron en los árboles aislados (**Apéndice 2**). La primera sólo se encontró en Copalillos y en Los Xililites, pero al ser una epífita facultativa podría estar sobre otros substratos en los otros sitios de estudio, pero no se le observó en el área muestreada. En el caso contrario está *C. richardsii*, pues es endémica a México y hasta ahora su distribución está limitada a tres sitios: (1) la localidad tipo en Xilitla, San Luis Potosí, (2) Neblinas (Querétaro) y (3) un bosque tropical lluvioso de Veracruz (Herrera-Paniagua & Martínez, en prensa; C. Delgadillo, com. pers.).

Para determinar la rareza en las briofitas se debe, idealmente, tomar en cuenta la biología y los requerimientos ecológicos de las especies (Cleavitt, 2005; Söderstrom & During, 2005), pero ante la falta de antecedentes, su distribución y ocurrencia pueden ser indicadores útiles (Heinlen & Vitt, 2003). En este trabajo se encontró que cerca del 60% de los musgos epífitos son raros en el área de estudio. Estos incluyen a especies facultativas, por lo que su presencia puede no depender de un hospedero, pero 23 de ellas son epífitas estrictas. La mayoría de éstas últimas (15 especies), como las endémicas *C. richardsii* y *Pylaisiadelphina sharpii*, sólo se encontraron en uno o dos hospederos en los fragmentos de BHM.

A excepción de las endémicas, aparentemente el resto de las epífitas estrictas raras en la región y raras en los fragmentos no son especies que estén limitadas a un hábitat y a un rango geográfico, pues se presentan en otros tipos de vegetación y otros países. Un ejemplo es *Zelometeorium patulum*, una especie del Caribe (Delgadillo, 2004), que es considerada como epífita generalista en Sudamérica (Pereira & Cavalanti, 2007) pero en Florida (USA) no se ha colectado desde 1940 (Ignatov & Reese, 2009). Su presencia está relacionada con la constante incidencia de humedad (Buck, 1998) y las colectas de México provienen principalmente del sur del país, en su mayoría de Chiapas (UNIBIO, 2013). Aunque tengan una especificidad hacia una

característica abiótica y una incidencia localmente estrecha, por su distribución geográfica global, este tipo de especies no están consideradas en alguna categoría de riesgo, aun representando una forma especial de rareza (Rabinowitz, 1981). Entonces, la tendencia en conservación está encaminada a preservar las especies endémicas con hábitats específicos (Cleavitt, 2005).

En México, hay 76 especies de musgos endémicos al país, 14 de los cuales están sujetos a protección especial, como *Acritodon nephophilus* H. Rob. una especie de BHM y conocida hasta ahora sólo de su localidad tipo (C. Delgadillo com. pers; Delgadillo, 1996). En situación similar, aunque no considerada en la legislación mexicana, *C. richardsii* también se conocía sólo de la localidad tipo, pero con la exploración de los sitios de estudio y otras áreas (Herrera-Paniagua & Martínez, en prensa) se amplió su distribución conocida. *P. sharpii* se registra de Chiapas, Michoacán y Puebla (UNIBIO, 2013), pero al igual que la anterior, no es abundante.

Ante los patrones de rareza encontrados en las epífitas estrictas y el aprovechamiento de los bosques que implica la extracción de los árboles, se predice que la tala afectará seriamente la diversidad de las epífitas de los fragmentos de BHM. Tanto las epífitas endémicas como las de mayor distribución son importantes de considerar en las agendas de conservación, pues la preservación de las especies en una escala local puede asegurar su existencia en una escala regional o nacional (Heinlen & Vitt, 2003). El conocimiento de los musgos en México aún no se ha completado, pero también es necesario conocer los factores que influyen en su riqueza, abundancia y distribución. Con estudios complementarios sobre la composición de especies de musgos y su relación con el hábitat, se podría conocer más sobre las características ecológicas de los bosques húmedos de montaña y sugerir cómo su estado de conservación afecta la diversidad de musgos en México.

LITERATURA CITADA

Acebey, A., Gradstein, S.R. & Krömer, T. 2003. Species richness and habitat diversification of bryophytes in submontane rain forest and fallows of Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 19: 9-18.

- Allen, B. 1994. Moss flora of Central America. Part 1. Sphagnaceae-Calymperaceae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 49: 1-242.
- Allen, B. 2002. Moss flora of Central America. Part 2. Encalyptaceae-Orthotrichaceae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 90: 1-699.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, L., coord. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. CONABIO [accessed Mayo 2012]. Available at:
<<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>>
- Benzing, D.H. 1998. Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes. *Climatic Change*, 39: 519-540.
- Brown, A.D. & Kappelle, M. 2001. Introducción a los bosques nublados del neotrópico: una síntesis regional. In: M. Kappelle & A. D. Brown, eds. *Bosques nublados del neotrópico*. Costa Rica: Editorial INBio, pp. 25-40.
- Buck, W.R. 1998. Pleurocarpous Mosses of West Indies. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 82: 1-400.
- Cárdenas S., M.A. & Delgadillo M., C. 2009. Musgos del Valle de México. *Cuadernos del Instituto de Biología*, 40: 1-283.
- Cartujano, S., Zamudio, S. Alcántara, O. & Luna, I. 2002. El bosque mesófilo de montaña en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 70: 13-43.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro*. México: CONABIO – Instituto de Biología, Agrupación Sierra Madre, pp. 443-518.
- Cleavitt, N.L. 2005. Patterns, hypotheses and processes in the biology of rare bryophytes. *The Bryologist*, 108: 554-566.
- Colwell, R.K. 2006. EstimaS: statistical estimation of species richness and shared species for samples. Vers. 8. Persistent URL:
<<http://www.purl.oclc.org/estimates>>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2010. *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. México: CONABIO.

- Delgadillo M., C. 1979. Mosses and phytogeography of the *Liquidambar* forest of Mexico. *Bryologist*, 82: 432-449.
- Delgadillo M., C. 1996. Moss conservation in Mexico. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica*, 67: 177-181.
- Delgadillo M., C. 2004. Musgos. In: I. Luna, J.J. Morrone & D. Espinosa, eds. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. México: Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, pp. 127-135.
- Delgadillo M., C. 2010. LATMOSS 2010 [online] [accessed August 2012]. Available at: <<http://www.ibiologia.unam.mx/briologia/www/index/Bases.html>>
- Delgadillo M., C. 2011. Los musgos, Veracruz y el Corredor Florístico del Golfo. En: Cruz A., A. Ed. *La Biodiversidad en Veracruz. Estudio de Estado. Vol. II*. pp. 89-96, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, México.
- Delgadillo M., C., Villaseñor, J.L. & Dávila A., P. 2003. Endemism in the Mexican Flora: a comparative study in three plant groups. *Annals of Missouri Botanical Garden*, 90: 25:34.
- Drehwald, U. 2003. Cambios en la vegetación briofítica. In: J. Blanés, R.M. Navarro, U. Drehwald, T. Bustamante, A. Moscoso, F. Muñoz & A. Torres (eds.). *Las zonas de amortiguamiento: un instrumento para el manejo de la biodiversidad. El caso de Ecuador, Perú y Bolivia*. Ecuador: RISPERGRAF, pp. 277-309.
- Ferrusquía V., I. 1998. Geología de México: una sinopsis. In: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot & J. Fa, eds. *Diversidad biológica de México*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 3-108.
- Frahm, J.P. 1990. Bryophyte phytomass in tropical ecosystems. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 104: 23-33.
- Gehrig-Downie, C., Obregón, A., Bendix, J. & Gradstein, S.R. 2011. Epiphyte biomass and canopy microclimate in the tropical lowland cloud forest of French Guiana. *Biotropica*, 45: 591-596.
- Gradstein, S.R., Churchill, S.P. & Salazar-Allen. 2001. Guide to the bryophytes of tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 86: 1-577

- Hallingbäck, T. & Hodgetts, N. 2000. Key habitats and their specific threats and recommendations. In: T. Hallingbäck & N. Hodgetts, eds. *Mosses, Liverworts and Hornworts. Status survey and conservation action plan for bryophytes*. Oxford: IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. pp 14-21.
- Heinlen, E.R. & Vitt, D.H. 2003. Patterns of rarity in mosses of the Okanogan Highlands of Washington state: an emerging coarse filter approach to rare moss conservation. *The Bryologist*, 106: 34-52.
- Herrera-Paniagua, P., Delgadillo M., C., Villarseñor R., J.L. & Luna-Vega, I. 2008. Floristics and biogeography of the mosses of the state of Querétaro. *Bryologist*, 111: 41-56.
- Herrera-Paniagua, P. & Martínez, M. 2013. Musgos de bosques húmedos de montaña en la Sierra Madre Oriental: nuevos registros regionales. *Botanical Sciences*, en prensa.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Holz, I. & Gradstein, S.R. 2005. Cryptogamic epiphytes in primary and recovering upper montane oak forest of Costa Rica-species richness, community composition and ecology. *Plant Ecology* 178:89-109.
- Ignatov, M. & Reese, W. 2009. *Zelometeorium*. Bryophyte flora of North America, provisional publication. Missouri Botanical Garden. [en línea] [revisado en Julio 2013]. Available at: <<http://www.mobot.org/plantscience/BFN/bfmenu.htm>>
- Juárez G., G. 1983. Los musgos de Coatepec, Veracruz, México. *Biótica*, 8: 49-58.
- Köhler, L., Hölscher, D., Bruijnzeel, L.A. & Leuschner, C. 2010. Epiphyte biomass in Costa Rican old-growth and secondary montane rain forest and its hydrological significance. En: L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena & L.S. Hamilton, eds. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge: Cambridge University Press, pp 268-274.
- León-Vargas, Y., Engwald, E. & Proctor, M.C.F. 2006. Microclimate, light adaptation and desiccation tolerance of epiphytic bryophytes in two Venezuelan cloud forest. *Journal of Biogeography*, 33: 901-979.

- Mulligan, M. 2010. Modeling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. In: L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena & L.S. Hamilton, eds. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 14-38.
- Nadkarni, N.M. 2010. Potential effects of global climate change on epiphytes in a tropical montane cloud forest: an experimental study from Monteverde, Costa Rica. In: L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena & L.S. Hamilton, eds. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 557-565.
- Pardow, A. & Lakatos, M. 2013. Desiccation tolerance and global change: implications for tropical bryophytes in lowland forests. *Biotropica*, 1: 27-36.
- Pereira A., L.D. & Cavalcanti P., K. 2007. Patch size and isolation effects on epiphytic and epiphyllous bryophytes in the fragmented Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation*, 134: 415-427.
- Pursell, R.A. 2007. Fissidentaceae. *Flora Neotropica Monograph*, 101: 1-279.
- Quinn, G.P. & Keough, M.J. 2002. *Experimental design and data analysis for biologist*. New York: Cambridge University Press.
- R. Development Core Team. 2011. R: a language and environment for statistical computing. Available at: <<http://www.R-project.org>>
- Rabinowitz, D. 1981. Seven forms of rarity. In: H. Synge, ed. *The Biological Aspects of Rare Plant Conservation*. London: Wiley & Sons, pp. 205-217.
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35: 25-44.
- Sharp, A.J., Crum, H. & Eckel, P.M. eds. 1994. The Moss Flora of Mexico. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 69: 1-1113.
- Smith, A.J.E. 1982. Epiphytes and epiliths. In: A.J.E. Smith, ed. *Bryophyte ecology*. New York: Chapman & Hall, pp. 191-227.
- Söderström, L. & During, H.J. 2005. Bryophyte rarity viewed from the perspectives of life history strategy and metapopulation dynamics. *Journal of Bryology*, 27: 261-268.

Thornburgh, K.R. & Sharp, A.J. 1975. A preliminary list of mosses collected on tree branches in Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 35: 51-58.

UNIBIO. Colecciones Biológicas. 2013. Universidad Nacional Autónoma de México. [accessed July 2013]. Available at: <<http://www.unibio.unam.mx>>

Villaseñor, J.L. 2010. *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad – Universidad Nacional Autónoma de México.

Walther, B.A. & Moore, J.L. 2005. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography*, 28: 815-829.

Zechmeister, H.G. & Moser, D. 2000. The influence of agricultural land-use intensity on bryophyte species richness. *Biodiversity and Conservation*, 10: 1609-1625.

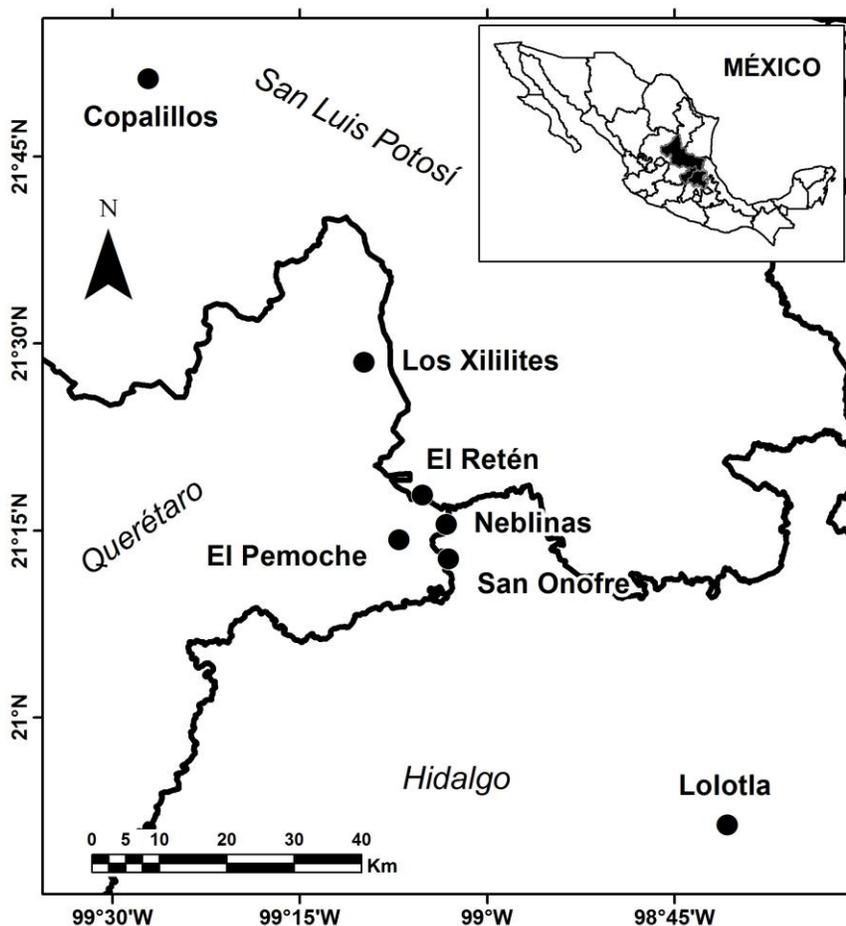


Figura 1. Fragmentos de bosque húmedo de montaña (Copalillos, Los Xililites, El Retén, Neblinas, Lolotla) y árboles aislados (El Pemoche, San Onofre) estudiados en la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, México.

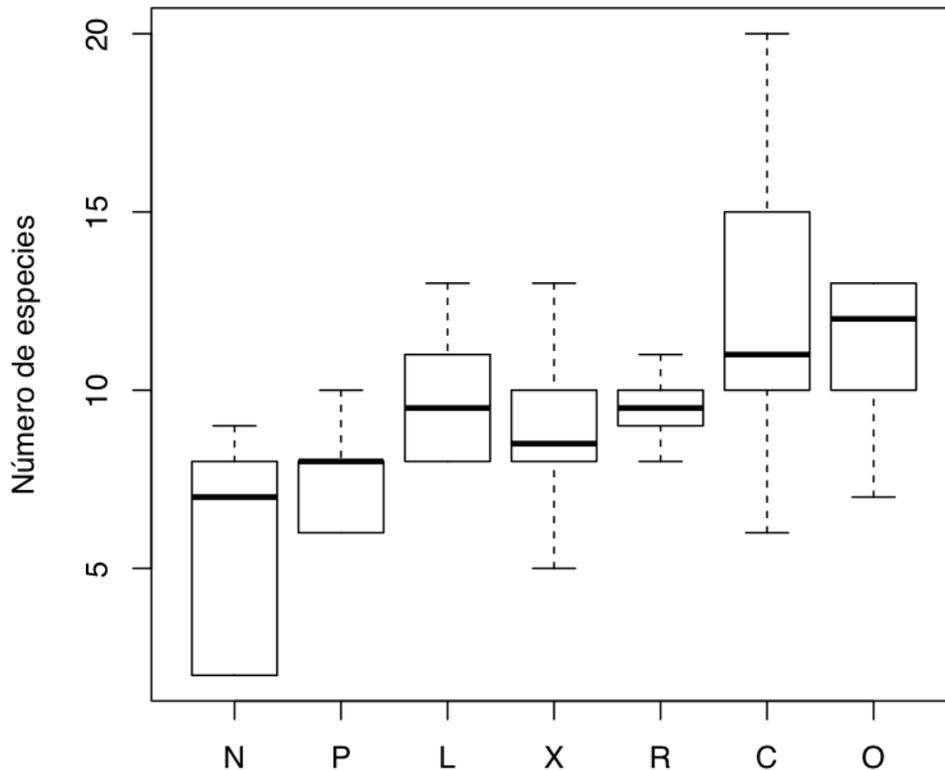


Figura 2. Riqueza de especies de musgos epífitos en los sitios de estudio. N = Neblinas, P = El Pemoche, L = Lolotla, X = Los Xililites, R = El Retén, O = San Onofre, C = Copalillos. Se aplicó una ANOVA de una vía seguida de una prueba de Shapiro-Wilk. Se encontraron diferencias significativas en la riqueza de especies $P < 0.05$. Las diferencias se encontraron entre N-C y O-N (prueba de Tukey, $P < 0.05$).

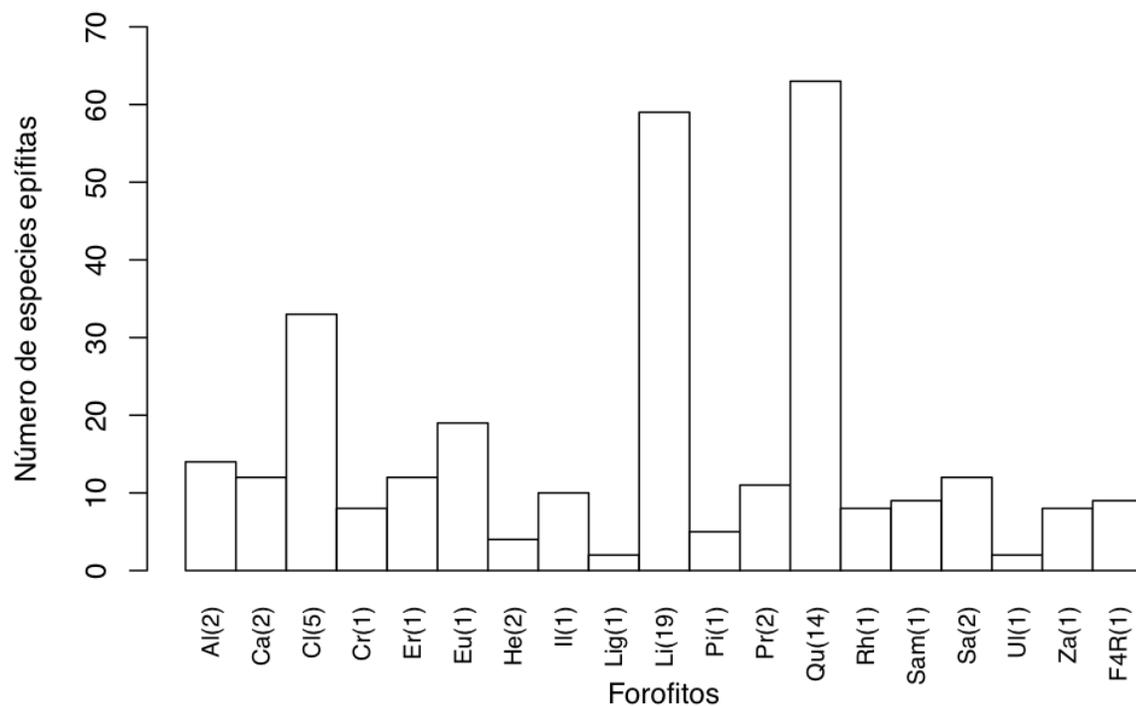


Figura 3. Número de especies de musgos epífitos registrados en los diferentes géneros de forofitos muestreados en los fragmentos de bosque húmedo de montaña y árboles aislados. Se indica el número de individuos por género arbóreo estudiado. Hospederos: Al = *Alnus*, Ca = *Carya*, Cl = *Clethra*, Cr = *Crataegus*, Er = *Erythrina*, Eu = *Eugenia*, He = *Heliocarpus*, Il = *Ilex*, Li = *Liquidambar*, Pi = *Pinus*, Pr = *Prunus*, Qu = *Quercus*, Rh = *Rhus*, Sam = *Sambucus*, Sa = *Savia*, Ul = *Ulmus*, Za = *Zanthoxylum*, P4R = forofito desconocido de El Retén.

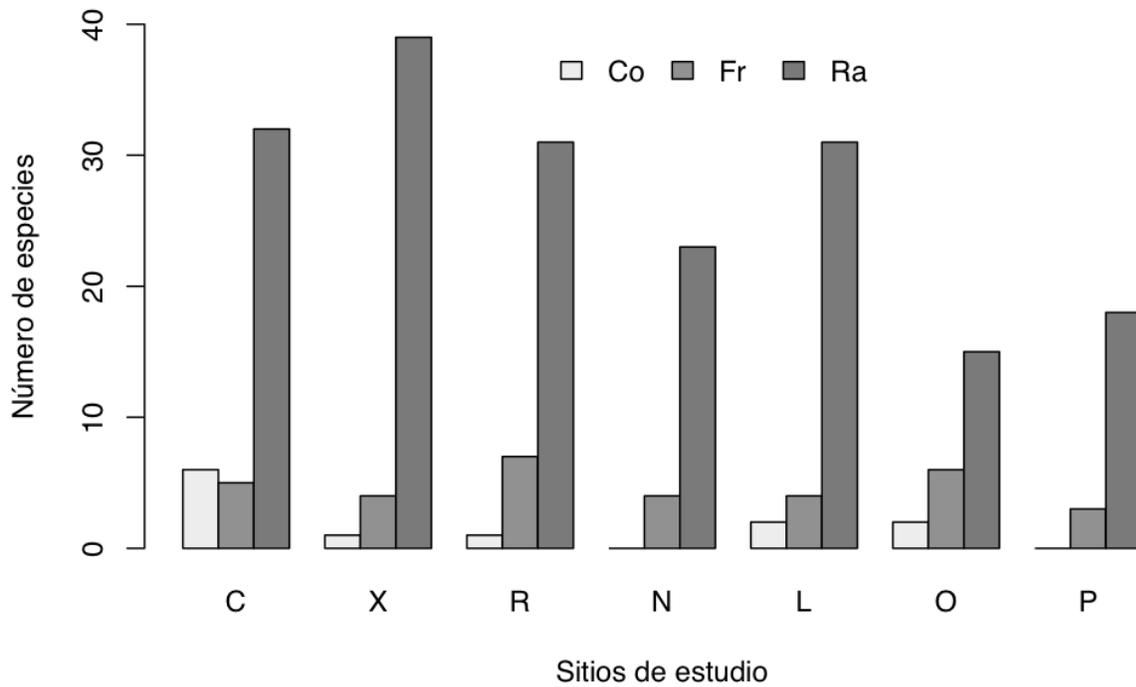


Figura 4. Número de especies de musgos epífitos de acuerdo a su categoría de rareza en los sitios de estudio. Categoría: Co. Común – Fr. Frecuente – Ra. Rara. Fragmento de bosque: C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. L. Lolotla – Común (7-10 forofitos) – Frecuente (4-6) – Rara (1-3). Árboles aislados: O. San Onofre – P. El Pemoche – Común (5 forofitos) – Frecuente (3-4) – Rara (1-2).

Cuadro 1. Características de los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental. Datos ambientales basados en WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005). Datos biológicos basados en los árboles hospederos (media±DS). DAP – Diámetro a la altura del pecho a 1.3 m.

	COPALILLOS	LOS XILILITES	EL RETÉN	NEBLINAS	LOLOTLA	EL PEMOCHE	SAN ONOFRE
ALTITUD (M)	1252	1294	1485	989	1050	1387	1091
ÁREA MUESTREADA (M ²)	1000	1000	500	1000	1000	500	500
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM)	759	1256	1203	1324	1340	995	1103
TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	22.2	21.9	21.6	22.5	19.5	21.08	21.9
ALTURA DEL FOROFITO (M)	15.25±6.67	11.32±5.24	11.98±2.68	15.4±7.64	19.1±4.50	12.25±4.49	23.4±6.18
DAP (CM)	38.61±21.22	29.60±14.67	24.22±14.75	51.15±18.67	23.93±10.02	44.88±11.64	48.31±16.68
FOROFITOS (ESPECIES)	<i>Clethra pringlei</i> , <i>C. aff. kenoyeri</i> , <i>Eugenia xalapensis</i> , <i>Ilex rubra</i> , <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Prunus sp.</i> , <i>Quercus germana</i> , <i>Q. pinnativenulosa</i> .	<i>C. pringlei</i> , <i>Crataegus mexicana</i> , <i>L. styraciflua</i> , <i>Pinus sp.</i> , <i>Rhus schiedeana</i> , <i>Q. aff. sartori</i> .	<i>Alnus jorullensis</i> , <i>L. styraciflua</i> , <i>Savia sessiliflora</i> , <i>Zanthoxylum sp.</i>	<i>C. aff. kenoyeri</i> , <i>Heliocarpus sp.</i> , <i>L. styraciflua</i> , <i>Sambucus sp.</i> , <i>Ulmus mexicana</i> .	<i>Alnus sp.</i> , <i>Carya palmeri</i> , <i>Clethra sp.</i> , <i>Ligustrum lucidum</i> , <i>Prunus serotina</i> , <i>Quercus affinis</i> , <i>Q. xalapensis</i> , <i>Quercus sp.</i>	<i>L. styraciflua</i> , <i>Q. polymorpha</i> , <i>Q. xalapensis</i> .	<i>Erythrina sp.</i> , <i>L. styraciflua</i> , <i>Quercus sp.</i>

Cuadro 2. Riqueza de musgos epífitos en los sitios de estudio en la Sierra Madre Oriental. Riqueza de especies de epífitas observada ($S_{OBSERVADA}$) y estimada ($S_{ESTIMADA}$; Chao2 estimador). Número de especies de epífitas facultativas y estrictas. Porcentaje de especies únicas en cada sitio. Media \pm desviación estándar de las especies presentes en los hospederos. Porcentaje de muestreo completado.

LOCALIDAD	EJEMPLARES COLECTADOS	$S_{OBSERVADA}$	OBLIGADAS	FACULTATIVAS	ÚNICAS (%)	NÚMERO DE ESPECIES POR ÁRBOL	$S_{ESTIMADAS}$	MUESTREO COMPLETADO (%)
COPALILLOS	101	43	13	30	10.6	12.2 \pm 3.9	57	77.5
LOS XILILITES	93	44	12	32	9.6	8.8 \pm 2.9	60	73.3
EL RETÉN	109	39	13	26	5.3	8.9 \pm 2.2	49	83.14
NEBLINAS	86	27	7	20	3.2	5.5 \pm 2.9	47	61.7
LOLOTLA	99	37	10	27	2.1	8.6 \pm 3.8	52	73.64
SAN ONOFRE	51	26	7	19	3.2	10.2 \pm 2.7	30	87.83
EL PEMOCHE	45	21	8	13	3.2	6.6 \pm 3.9	22	97
TOTAL	584	93	32	61	38.3	8.3 \pm 3.7	102	89.66

CAPÍTULO 4

IMPORTANCIA DE LAS VARIABLES AMBIENTALES Y LA ESCALA DE ESTUDIO EN LA DIVERSIDAD ALFA Y BETA DE MUSGOS EPÍFITOS EN EL BOSQUE HÚMEDO DE MONTAÑA

RESUMEN. Se estudiaron fragmentos de bosque húmedo de montaña y árboles aislados para conocer la diversidad alfa y beta de musgos epífitos. El tronco de cada forofito muestreado se dividió en tres zonas (base, media, alta) y se colectaron todos los musgos presentes en ellas. Se registraron variables de los forofitos y de los sitios de estudio. La riqueza de especies de musgos generalmente disminuye de la base a la parte alta del árbol. En promedio los forofitos tuvieron ocho especies de musgos. Los fragmentos fueron más ricos en especies en comparación a los árboles aislados. Ninguna variable ambiental y del forofito estuvo relacionada con la riqueza de los sitios, sólo con la de los forofitos y las zonas. Se encontró una mayor disimilitud en la composición de musgos a una escala mayor (sitios) que a una menor (zonas de los forofitos). La cobertura de dosel, la temperatura ambiental y características del forofito (e.g. diámetro a la altura del pecho) fueron significativas para explicar la composición de musgos. Los patrones de riqueza y de composición de musgos están de acuerdo con la heterogeneidad en plantas vasculares que presentan de los bosques húmedos de montaña.

INTRODUCCIÓN

En México, los bosques húmedos de montaña (BHM, *sensu* Villaseñor, 2010) destacan por su diversidad de plantas vasculares y por la heterogeneidad que presentan en su composición, observada tanto a nivel regional como entre sitios ubicados en un mismo bosque (e.g. Vázquez-García, 1995; Rzedowski, 1996; García-Franco, *et al.*, 2008). Los BHM también son característicos por su diversidad y cobertura de epífitas (tanto vasculares como no vasculares), considerándose uno de los tipos de vegetación más ricos en estas formas de vida (e.g., Pócs, 1982; Benzing, 1998; Gradstein *et al.*, 2001a; Flores-Palacios & García-Franco, 2008).

Diversos trabajos han documentado la riqueza y distribución vertical de las briofitas epífitas en los árboles (e.g. Gradstein *et al.*, 2001b; Sillet & Antoine, 2004; Fritz, 2009). Sin embargo, la presencia y distribución de las epífitas se ve afectada ante los cambios de uso de suelo en los bosques tropicales. En ese sentido, varios estudios se han enfocado a estudiar la diversidad de las epífitas en bosques primarios y secundarios (e.g. Acebey *et al.*, 2003; Drehwald, 2003; Ariyanti, *et al.*, 2008; Gradstein

& Culmsee, 2010). En ellos la diversidad alfa de las epífitas ha sido interpretada como el número de briofitas presentes en el área de estudio o en las zonas de los forofitos, pues se puede observar un gradiente de humedad vertical en ellos que influye en la distribución de las especies.

Por otro lado, la diversidad beta de las epífitas es entendida como el recambio de las especies entre los bosques perturbados y conservados, o entre diferentes escalas de análisis (micrositios-localidad) (e.g. Mills & MacDonald, 2004; Mota *et al.*, 2009; Mandl, 2010). En los bosques perturbados, la pérdida de especies refleja el cambio en su microclima y aunque el número de especies puede ser semejante al de los bosques primarios o conservados, la composición puede cambiar dramáticamente (e.g. Pardow & Lakatos, 2013).

Las variables ambientales, como la cantidad de luz y disponibilidad de agua, son características que se han relacionado con la riqueza y composición de las briofitas epífitas en los bosques primarios y secundarios (e.g. Pócs, 1982; Acebey *et al.*, 2003). Pero las características de los hospederos son las variables más comunes en los estudios de diversidad de epífitas. Así se ha encontrado que el tamaño del árbol (su diámetro a la altura del pecho y altura) y su tipo de corteza influyen en la diversidad alfa y beta de las briofitas epífitas (e.g. Mills & Macdonald, 2004; Friedel *et al.*, 2006; Ariyanti *et al.*, 2008).

La flora briológica en los BHM de México no ha sido adecuadamente caracterizada. Los pocos trabajos que existen comprenden listados o estudios florísticos regionales como el de Crum (1951) y Juárez (1983). El trabajo más amplio comprende la flora de 20 localidades de donde se reportan 194 especies y variedades de musgos, muchos de ellos epífitos (Delgadillo, 1979). De epífitas en BHM y selvas existía sólo una lista (Thornburg & Sharp, 1975). Ante tal escenario se inició la caracterización de los musgos epífitos en BHM de la Sierra Madre Oriental (Herrera-Paniagua & Martínez en prensa). En este trabajo el objetivo principal es el análisis de la riqueza y composición de los musgos epífitos considerando tres escalas: zona del forofito, forofito y localidad. Esto se investiga tanto en fragmentos de BHM como en árboles aislados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los sitios de estudio se localizan en un gradiente longitudinal en sentido NW-SE (21°51´-20°51´ N y 99°27´-98°4´0 W) dentro de las Regiones Terrestres Prioritarias para su conservación Sierra Gorda-Río Moctezuma (RTP-101; norte del estado de Querétaro y oriente de San Luis Potosí) y Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental (RTP-102; Hidalgo) (Arriaga *et al.*, 2000, **Figura 1**). Estas regiones se ubican en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, México (Ferrusquía, 1998) en donde las mayoría de sus BHM se encuentran fragmentados y perturbados por actividades antrópicas como la ganadería y la agricultura (Arriaga *et al.*, 2000; Cartujano *et al.*, 2002; CONABIO, 2010).

Las localidades de estudio incluyen cinco fragmentos de bosque con superficies de 1000 m² y 500 m²: Copalillos, El Retén (San Luis Potosí), Los Xililites y Neblinas (Querétaro) y Lolotla (Hidalgo) (**Figura 1**). Adicionalmente se incluyeron los árboles aislados que estuvieron dentro de un área de 500 m² en dos sitios, El Pemoche y San Onofre (Querétaro). Estos sitios tienen una altitud que va de los 989 a los 1485 m y una variación en sus características climáticas como temperatura y precipitación (**Cuadro 1 y 2**). Debido a la heterogeneidad florística que presentan los BHM, los sitios se distinguieron por la presencia de *Liquidambar styraciflua* L., especie restringida al BHM, y de varias especies de *Quercus* (Villaseñor, 2010; capítulo 1).

Trabajo de campo

Se seleccionaron al azar 10 árboles (n = 50) en los fragmentos de bosque y cinco (n = 10) en los árboles aislados, con un DAP ≥ 6 cm (**Cuadro 1**). Los árboles muestreados en los fragmentos estuvieron separados entre sí al menos por una distancia ≥ 10 m. Los datos de cada forofito incluyen (1) especie; (2) tipo de corteza (escamosa, fisurada, lisa o rugosa); (3) DAP (diámetro a la altura del pecho); (4) área basal (AB); (5) altura, determinada visualmente y (6) porcentaje de cobertura de dosel obtenida a partir de un densiómetro de espejo cóncavo Modelo-C.

El tronco de cada árbol se dividió arbitrariamente en tres zonas: parte basal (raíces expuestas-1.3 m), parte media (1.3-2 m) y parte alta (2-8 m o primeras ramificaciones). Todos los musgos presentes en las zonas se colectaron utilizando una

navaja o una garrocha. Los musgos se determinaron siguiendo a Allen (1994, 2002), Sharp *et al.* (1994), Buck, (1998) y Pursell (2007). La nomenclatura está de acuerdo con la versión electrónica de LATMOSS (Delgadillo, 2010). Los ejemplares determinados, se depositaron en el Herbario QMEX.

Análisis de datos

En este estudio se utilizaron tres escalas de análisis: zonas del árbol, forofitos y localidades. Las escalas se usaron en todas las localidades (incluyendo árboles aislados) o sólo los fragmentos de BHM. Las variables consideradas para los análisis incluyen tanto bioclimáticas, como las registradas en los sitios y en los árboles durante el estudio (**Cuadro 1 y 2**). Se emplearon modelos lineales generalizados (GLM) para saber si las variables ambientales estaban relacionadas con la riqueza de especies. Estos modelos permiten modelar las respuestas de las especies a una amplia variedad de datos ambientales (Yee & Mitchell, 1991). Los GLM se hicieron usando el total de especies presentes (riqueza de especies) en cada sitio, árbol o zona del forofito como una función de las variables que describen a los sitios (variables bioclimáticas y de los sitios), a los árboles y a las zonas (tipo de corteza, DAP, AB, altura y cobertura de dosel del árbol) (**Cuadro 2**). Debido a que las variables dependientes son conteos, se asumió una distribución de errores tipo Poisson. Se aplicó una prueba de bondad al modelo utilizando Cragg and Uhler's pseudo r-squared (Jackman *et al.*, 2013). Los análisis se hicieron con el programa estadístico R v.3.15.0 (R Development Core Team, 2011) con la adición del paquete pscl (Jackman *et al.*, 2013).

La estructura de la comunidad de musgos en las escalas de estudio (sitios, forofitos y zonas del forofito) y su relación con las variables ambientales se analizó utilizando la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) empleando las matrices de disimilitud obtenidas bajo el coeficiente de Bray-Curtis (función *binary*) y el paquete vegan (Okasen *et al.*, 2012) de la plataforma de R (R Development Core Team, 2011). Esta técnica es una de las más usadas y aceptadas en ecología para matrices de observaciones directas y para representar los objetos en el espacio con el número mínimo de dimensiones (Legendre & Legendre, 1998). Como se recomienda, durante el análisis se hicieron varias iteraciones hasta encontrar el valor más bajo de stress, graficándose los dos primeros ejes de la ordenación obtenida. Una vez

obtenidos los análisis de ordenación (NMDS) se utilizó la función *envfit*, con 1000 permutaciones, del paquete *vegan* (Okasen *et al.*, 2012) para examinar la correlación de las variables ambientales y la comunidad de musgos epífitos. Este método calcula el centroide de las réplicas de cada factor y determina su significancia estadística por permutaciones azarosas (Okasen *et al.*, 2012).

RESULTADOS

Riqueza de especies

En total se encontraron 93 especies y cinco variedades de musgos en 62 géneros y 26 familias (**Apéndice 3**). La distribución de la riqueza (número de especies) se encuentra de forma desproporcionada en las escalas de estudio (**Cuadro 3**). En las zonas de los forofitos se observó que la riqueza disminuye generalmente de la parte basal a la parte superior del tronco. La riqueza de la parte superior de los troncos en algunos sitios como Copalillos y Los Xililites, presentó más especies que la parte media.

Sólo el 34.73% de las especies se localiza preferentemente en una zona del forofito. La parte basal del tronco fue la principal zona (24.73% del 34.73%) y en esta estuvieron *Cyclodictyon richardsii* Bowers & Magill y casi todas las especies de *Entodon* (excepto *E. jamesonii*). El porcentaje de especies exclusivas de las zonas media y zona alta del tronco fue sólo del 5% en ambas. Ciertas especies como *Groutiella tomentosa* (Hornsch.) Wijk & Margad y *Leucodon julaceus* (Hedw.) Sull. se encontraron sólo en la parte media. En la zona alta estuvieron *Donnellia commutata* (Müll. Hal.) W. R. Buck y *Squamidium leucotrichum* (Taylor) Broth.

El 21.50 % de las especies se encontraron en dos zonas de los forofitos, como las partes basal y media (por ej. *Rhynchostegium serrulatum* (Hedw.) A. Jaeger); las partes media y alta (*Hildebrandtiella guyanensis* (Mont.) W. R. Buck); las partes baja y alta (*Schlotheimia rugifolia* (Hook.) Schwägr.). El resto de las especies (43%) se encontraron en todas las zonas, como *Fabronia ciliaris* var. *polycarpa* (Hook.) W. R., *Sematophyllum subpinnatum* (Brid.) E. Britton y *Syntrichia amphidiacea* (Müll. Hal.) R. H. Zander.

El promedio general de especies de musgos por árbol fue de ocho (± 3.7 desviación estándar, DE), siendo los forofitos de Copalillos los más ricos en musgos

epífitos (12) y Neblinas el de menos (5) (**Cuadro 3**). Los árboles aislados (en San Onofre y El Pemoche) presentaron entre 10 y 6 especies. El 29% de las especies se encontró en uno o dos árboles como *Anomodon tristis* (Ces.) Sull. & Lesq. y *Syrrhopodon incompletus* Schwägr. var. *incompletus*.

Los GLM de los sitios indicaron que su riqueza no tiene relación con ninguna de las variables examinadas (**Cuadro 4**). Sin embargo a nivel de forofitos y zonas del forofito, las características de los árboles sí tienen relación con el número de especies, siendo el DAP, el AB y tipo de corteza (lisa, fisurada y rugosa) estadísticamente significativas (**Cuadro 5**). El tipo de corteza escamosa no se encontró relevante en los modelos. De acuerdo con el valor de la pseudo- r^2 , estas variables explican el 22% de la riqueza en los forofitos de los sitios y el 27% de los fragmentos. Para la riqueza en las zonas de todos los sitios explican el 17% y el 19% en las zonas de los fragmentos.

Composición de especies

El análisis de ordenación aplicado a los sitios mostró que cada área de estudio tiene una composición de musgos epífitos característica y que la cobertura de dosel (CD) es una variable importante para explicarla (**Figura 2a; Cuadro 2**). Sólo una especie, *Sematophyllum subpinnatum* (Brid.) E. Britton, se registró en todos los sitios de estudio. En el análisis, los fragmentos de bosque, con los valores de cobertura de dosel mayores (**Cuadro 2**), se separan claramente de los árboles aislados. Las especies que mostraron estar asociadas con la CD se distribuyen en los extremos de los ejes y son en su mayoría especies únicas a los sitios (**Figura 2b**).

Los fragmentos de bosque tuvieron en común solo dos especies de musgos epífitos, *Brachythecium occidentale* (Hampe) A. Jaeger y *Rhynchostegium serrulatum* (Hedw.) A. Jaeger. Para los fragmentos de bosque, algunos taxa característicos son *Cyclodictyon richardsii* Bowers & Magill (grupo 1, **Figura 2b**; Cric; Neblinas), *Homalia glabella* (Hedw.) Schimp. (grupo 2; Hgla; Copalillos), *Schlotheimia rugifolia* (Hook.) Schwägr. (grupo 4; Srug; Los Xililites). En los árboles aislados, *Orthotrichum pycnophyllum* Schimp. ex Müll. Hal. (grupo 5; Opyc; El Pemoche) y *Brachymenium systylium* (Müll. Hal.) A. Jaeger (grupo 7; Bsys; San Onofre).

Al igual que la ordenación anterior, los fragmentos de BHM comparten pocas especies entre sí y el rango promedio de temperaturas diarias (BIO 2) fue la variable estadísticamente significativa para explicar la composición de musgos epífitos (**Figura 3a; Cuadro 2**). El sitio con el promedio de temperatura más alta (14.1°C) fue Neblinas (N), observándose en el extremo opuesto el sitio con el menor promedio (12.3°C), Lolotla (L) (**Cuadro 2**). Las especies con una distribución restringida a un solo fragmento de bosque se proyectan en los extremos de la ordenación, quedando al centro las especies compartidas entre ellos (**Figura 3b**). Por ejemplo, *Pterobryopsis mexicana* (Renauld & Cardot) M. Fleisch. (Pmex; Copalillos, Los Xililites y Lolotla) y *Pylaisiadelpha tenuirostris* (Bruch & Schimp.) W. R. Buck (Pten; Neblinas, El Retén y Los Xililites).

La ordenación de los forofitos en base a su composición de musgos epífitos mostró que a este nivel de estudio, hay mayor similitud en sus especies en comparación a los sitios (**Figura 4a y Figura 5a**). A excepción de la corteza, el resto de las variables consideradas (AB, DAP, ALT y CD) fueron determinantes en la composición de musgos de todos los forofitos estudiados (**Figura 4a**). Los árboles con un DAP, AB y CD mayor generalmente están en lado negativo del eje 1, como los forofitos de Copalillos (1-10) y Neblinas (31-40). En su mayoría, los árboles más altos o con las coberturas de dosel menores se situaron en el eje positivo del eje 1; por e.j. los forofitos de El Pemoche (55-59) y Lolotla (41-50). En la ordenación se observa que el único árbol que no se agrupa es el 18 (Los Xililites). En este forofito se encontraron cinco especies de las cuales sólo *Pylaisiadelpha sharpii* H.A. Crum (Psha) es única a él (**Figura 4b**). El árbol 39 (Neblinas) también está separado del resto y, al igual que el anterior, presentó una especie restringida, *S. incompletus* var. *incompletus*, pero el resto de sus musgos se encontraron en otros hospederos.

Analizando sólo los forofitos de los fragmentos de bosque, se observa el mismo patrón de ordenación encontrado para todos los árboles (**Figura 5a**). Nuevamente, las variables significativas para explicar la composición de musgos fueron el AB, DAP y ALT, junto con el tipo de corteza (COR) (**Cuadro 2**). Los árboles de Copalillos (1, 2, 5, 6, 9, 10) tienen principalmente corteza escamosa y los de Los Xililites (12, 14, 16, 17, 18, 20) la presentan fisurada (**Figura 5a; Tabla 2**). Las cortezas lisas se encontraron en

todos los sitios observándose principalmente en el eje positivo del eje 1 de la ordenación. Por ejemplo, árboles de El Retén (23, 24, 26, 30), Neblinas (34, 37) y Lolotla (46, 48, 49, 50). De todos los forofitos de los fragmentos, sólo cuatro se clasificaron con cortezas rugosas (15, 20, 22, 42) y estos aparecen dispersos en la ordenación (**Figura 5a**).

La composición de musgos epífitos en las zonas de los forofitos (zona baja, zona media y zona alta) mostró que a este nivel hay una mayor similitud, observándose un conglomerado en las ordenaciones (**Figura 6** y **Figura 7**). A esta escala, el DAP, la ALT y la CD fueron variables relacionadas con la composición de especies. El árbol 49, corresponde a una *Clethra* de Lolotla, la cual sólo presentó dos especies, *Sematophyllum adnatum* (Mx.) E. Britton y *Donnellia commutata* (Müll. Hal.) W. R. Buck. La primera estuvo en la base del árbol y la segunda en la parte media (49m). Las zonas 15a (parte alta de *Rhus*) y 19m (parte media de *Clethra*) tienen en común la presencia de *Syrrhopodon parasiticus* (Brid.) Besch., pero este taxón también se presentó en la base de *Crataegus* (13b). En la base de este último forofito se encontró a *Rauiella praelonga* (Schimp. ex Besch.) Wijk & Margad. y *Trichostomum crispulum* Bruch. El primer taxón también se encontró en los árboles aislados de El Pemoche y el último fue único al forofito. Estos forofitos son de Los Xililites (**Figura 6a**).

DISCUSIÓN

Como se mostró y discutió en el capítulo III, la riqueza de musgos epífitos es significativa pues el 9.5% de las especies registradas al país se encuentran en estos (Delgadillo, 2011). Sin embargo, la distribución de esta riqueza fue diferente en las tres escalas de estudio. El forofito se considera que es la unidad mínima ambiental para las epífitas (Flores-Palacios & García-Franco, 2008), pero éste se puede dividir en zonas. Las áreas de los árboles que generalmente se reconocen son la base, el tronco y la copa, cada una de ellas caracterizado generalmente por un número y composición de musgos epífitos (Smith, 1982).

La base de los forofitos en los BHM estudiados son los sitios más ricos en especies pues esta zona es sombreada y tiene una mayor retención de humedad lo que favorece a los musgos epífitos (Pócs, 1982). En los árboles de bosques templados las

briofitas se encuentran principalmente debajo de los 2 m (Fritz, 2009) pero en los árboles de los bosques tropicales pueden tener una distribución más amplia, incluyendo el dosel del bosque como un nicho característico (Gradstein *et al.*, 2001b).

Algunos estudios han mostrado que las briofitas siguen una distribución vertical en el forofito relacionada con el gradiente de humedad del sitio (Sillet & Antoine, 2004) por lo que los cambios en el hábitat influyen en la distribución y en la pérdida de especies (e.g. Drehwald, 2003). En este trabajo se encontró que más de la mitad de las especies (64.51%) habita en más de una zona del forofito. Algunas especies como *R. serrulatum*, a pesar de ser epífita facultativa también crece hasta la parte media del tronco en los fragmentos, aunque en los árboles aislados está ausente. En cambio, *F. ciliaris*, epífita estricta, se le asocia a bosques abiertos (Grandstein *et al.*, 2001a) y se le encontró en todas las zonas de los árboles aislados de El Pemoche y sólo en la parte media y alta de los de San Onofre. En los únicos fragmentos de BHM donde se le registró, Neblinas y Copalillos, no fue común.

La riqueza en los forofitos y en las zonas de los árboles se encontró asociada con el área basal (AB), diámetro a la altura del pecho (DAP) y tipo de corteza (**Cuadro 5**). Estas características, en algunos estudios, se han correlacionado positivamente con la riqueza de musgos epífitos, pues los árboles con DAP mayores y con cortezas agrietadas, representan árboles más grandes y maduros que permiten el establecimiento de varias especies de briofitas epífitas, en contraste con los de menor DAP y cortezas lisas (e.g. Aude & Poulsen, 2000; Friedel *et al.*, 2006).

Sin embargo, la riqueza en promedio de los forofitos es menor a la de las zonas (**Cuadro 3**). En este estudio se encontró que los árboles más grandes, con más de 60 cm de diámetro a la altura del pecho y $3.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal, no fueron los hospederos más ricos en especies (ver capítulo 3). La riqueza de los musgos epífitos es por lo tanto mayor a una escala menor (zonas del árbol) y parece estar relacionada positivamente con las variables de los árboles.

Los fragmentos de BHM en general tuvieron más especies que los árboles aislados pero ninguna variable ambiental se encontró en ambos relacionada con la riqueza. Por sus condiciones ambientales, los BHM se distinguen por su diversidad y cantidad de epífitas (e.g. Rzedowski, 1996). En las briofitas la influencia del clima

determina su diversidad y biomasa, con la humedad y la altitud como factores importantes (Frahm, 1990). En este estudio no se encontró tal efecto, como lo indican los datos para el sitio más húmedo (Neblinas) y para el más alto (El Retén) los cuales no fueron los más ricos en especies (**Cuadro 2 y 3**). Incluso, los árboles aislados de San Onofre casi tienen el mismo número de especies y con un menor número de forofitos que Neblinas. No obstante la composición de especies no es la misma en los sitios de estudios.

Una alta diversidad beta se observó entre todos los sitios de estudio (**Figura 2a y 3a**). Las pocas especies comunes a los sitios y a los fragmentos de BHM son epífitas facultativas y se pueden encontrar en otros tipos de vegetación como bosques de *Quercus* o de *Pinus* (Sharp *et al.*, 1994; Herrera-Paniagua *et al.*, 2008). Cada sitio mostró un conjunto de especies particular, de manera similar a como se observa con la alta diversidad beta encontrada en otras epífitas vasculares y no vasculares de los bosques húmedos de montaña (e.g. Wolf, 1994; Flores-Palacios & García-Franco, 2008; Patiño & González-Mancebo, 2011).

La cobertura del dosel (CD) y el rango de temperatura diarias (BIO 2) fueron variables importantes para explicar la composición de musgos en los sitios (**Cuadro 2**). La CD está relacionada con la continuidad arbórea, por lo que en los sitios abiertos la falta de cobertura permite una mayor exposición a la luz solar y por lo tanto una pérdida en la humedad lo que repercute en la desaparición de muchas especies de epífitas (e.g. Acebey *et al.*, 2003; Drehwald, 1993). Así, en los árboles aislados quienes tienen una CD menor, tienen especies adaptadas a lugares soleados y perturbados como *O. pycnophyllum* y *B. systylium* (Sharp *et al.*, 1994). En cambio taxones como *H. glabella* e *Hildebrandtiella guyanensis* (Mont.) W. R. Buck son característicos de bosques húmedos y éstas sólo se presentaron en los fragmentos de BHM (Sharp *et al.*, 1994; Buck, 1998).

El fragmento de BHM que resultó con el mayor rango de temperaturas diarias (BIO 2) mayor fue Neblinas, el cual además recibe mayor precipitación y tiene la menor altitud (**Cuadro 2**). Este sitio fue el fragmento más pobre en musgos epífitos, pero se distingue por la presencia de *C. richardsii* endémica a la región. La humedad es un factor determinante en la distribución de las epífitas (Benzing, 1998) al igual que la

temperatura. El menor número de briofitas en los bosques de altitudes bajas se podría explicar por las altas temperaturas que provocan un aumento en su respiración, lo que afecta la fotosíntesis neta (Frahm, 1990). Incluso, si las briofitas son tolerantes a la desecación, su tiempo de sobrevivencia depende de la temperatura (Proctor & Tuba, 2002). La composición de musgos epífitos en los forofitos y en las zonas se encontró relacionada con las variables de los árboles (**Cuadro 6**). En otros estudios sobre briofitas epífitas no se encontraron características abióticas relacionadas con la composición de especies (Ariyanti *et al.*, 2008; Gradstein & Culmsee, 2010) pero la diversidad beta disminuyó en estas escalas, porque su composición de especies es más similar. De igual manera, otros análisis de diversidad beta en briofitas han mostrado que éstas presentan una menor variación en su composición a nivel regional (Mandl *et al.*, 2010), y una mayor heterogeneidad a una escala menor, como la base de los árboles (Mills & MacDonald, 2004).

LITERATURA CITADA

- Acebey, A., Gradstein, S.R. & Krömer, T. 2003. Species richness and habitat diversification of bryophytes in submontane rain forest and fallows of Bolivia. *Journal of Tropical Ecology*, 19: 9-18.
- Allen, B. 1994. Moss flora of Central America. Part 1. Sphagnaceae-Calymperaceae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 49: 1-242.
- Allen, B. 2002. Moss flora of Central America. Part 2. Encalyptaceae-Orthotrichaceae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 90: 1-699.
- Ariyanti, N.S., Bos, M.M., Kartawinata, K., Tjitrosoedirdjo, S.S., Guhardja, E. & Gradstein. 2008. Bryophytes on tree trunks in natural forest, selectively logged forests and cacao agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. *Biological Conservation*, 141:2516-2527.
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L. & Loa, L., coord. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. CONABIO [consultado en mayo 2012]. Disponible en:
<<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>>

- Aude, E. & Poulsen, R.S. 2000. Influence of management on the species composition of epiphytic cryptogams in Danish *Fagus* Forest. *Applied Vegetation Science*, 3:81-88.
- Benzing, D.H. 1998. Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes. *Climatic Change*, 39: 519-540.
- Cartujano, S., Zamudio, S. Alcántara, O. & Luna, I. 2002. El bosque mesófilo de montaña en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 70: 13-43.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2010. *El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible*. México: CONABIO.
- Crum, H. A. 1951. Lista de las especies de musgos del noreste de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 12:1-27.
- Delgadillo M., C. 1979. Mosses and phytogeography of the *Liquidambar* forest of Mexico. *Bryologist*, 82: 432-449.
- Delgadillo M., C. 2010. LATMOSS 2010 [consultado en agosto 2012]. Disponible en: <<http://www.ibiologia.unam.mx/briologia/www/index/Bases.html>>
- Delgadillo M., C. 2011. Los musgos, Veracruz y el Corredor Florístico del Golfo. En: A. Cruz, ed. *La Biodiversidad en Veracruz. Estudio de Estado. Vol. II*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, México, pp. 89-96.
- Drehwald, U. 2003. Cambios en la vegetación briofítica. In: J. Blanés, R.M. Navarro, U. Drehwald, T. Bustamante, A. Moscoso, F. Muñoz & A. Torres, eds. *Las zonas de amortiguamiento: un instrumento para el manejo de la biodiversidad*. El caso de Ecuador, Perú y Bolivia. Ecuador: RISPERGRAF, pp. 277-309.
- Ferrusquía V., I. 1998. Geología de México: una sinopsis. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot & J. Fa, eds. *Diversidad biológica de México*. México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 3-108.

- Flores-Palacios, A. & García-Franco, J. 2008. Habitat isolation changes the beta diversity of the vascular epiphyte community in coger montane forest, Veracruz, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17:191-207.
- Friedel, A., Oheimb, G.v., Dengler, J. & Härdtle, W. 2006. Species diversity and species composition of epiphytic bryophytes and lichens – a comparison of managed and unmanaged beech forest in NE Germany. *Feddes Repertorium*, 117:172-185.
- Fritz, O. 2009. Vertical distribution of epiphytic bryophytes and lichens emphasizes the important of old beeches in conservation. *Biodiversity and Conservation*, 18:289-304.
- García F., J.G., Castillo-Campos, G., Mehlreter, K., Martínez, M.L. & Vázquez, G. 2008. Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 83: 37-52.
- Gradstein, S.R., Churchill, S.P. & Salazar-Allen. 2001a. Guide to the bryophytes of tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 86: 1-577.
- Gradstein, S.R., Griffin, D., Morales, M.I. & Nadkarni, N. 2001b. Diversity and habitat differentiation of mosses and liverworts in the cloud forest of Monteverde, Costa Rica. *Caldasia*, 23: 203-212.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Jackman, S., Tahk, A., Zeileis, A., Maimone, C. & Fearon, J. 2013. Pscl, R package version 3.15.0.
- Juárez G., G. 1983. Los musgos de Coatepec, Veracruz, México. *Biótica*, 8: 49-58.
- Legendre, P. & Legendre, L. 1998. Numerical Ecology. Amsterdam: Elsevier Science BV, pp 444-450.
- Luna-Vega, I., Velázquez, A. & Velázquez, E. 2001. México. En: M. Kapelle & A.D. Brown, eds. *Bosques nublados del neotrópico*. Costa Rica: Editorial INBio, pp. 183-229.
- Mandl, N. , Lehnert, M., Kessler, M. & Gradstein, S.R. 2010. A comparison of alpha and beta diversity patterns of ferns, bryophytes and macrolichens in tropical montane forests of southern Ecuador. *Biodiversity and Conservation*, 19:2359-2369.

- Mills, S.E. & Macdonald, S.E. 2004. Predictors of moss and liverwort species diversity of microsites in conifer-dominated boreal forest. *Journal of Vegetation Science*, 15:189-198.
- Mota O., S. Steege, H., Cornelissen, J.H.C. & Gradstein, S.R. 2009. Niche assembly of epiphytic bryophyte communities in the Guianas: a regional approach. *Journal of Biogeography*, 36:2076-2084.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. & Wagner, H. 2012. Vegan: community ecology package, R package version 3.15.0.
- Pardow, A. & Lakatos, M. 2013. Desiccation tolerance and global change: implications for tropical bryophytes in lowland forests. *Biotropica*, 1: 27-36.
- Pócs, T. 1982. Tropical forest bryophytes. En: A.J.E. Smith, ed. *Bryophyte Ecology*. London: Chapman & Hall, pp. 59-104.
- Pursell, R.A. 2007. Fissidentaceae. *Flora Neotropica Monograph* 101: 1-279.
- R. Development Core Team. 2011. R: a language and environment for statistical computing. Disponible en: <<http://www.R-project.org>>
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35:25-44.
- Sharp, A.J., Crum, H. & Eckel, P.M. eds. 1994. The Moss Flora of Mexico. *Memoirs of the New York Botanical Garden*, 69: 1-1113.
- Sillet, S.C. & Antoine, M.E. 2004. Lichens and bryophytes in forest canopies. En: Lowman, M.D. & H.B. Rinker, eds. *Forest Canopies*. China: Elsevier Academic Press, pp. 151-174.
- Smith, A.J.E. 1982. Epiphytes and epiliths. En: A.J.E. Smith, ed. *Bryophyte ecology*. New York: Chapman & Hall, pp. 191-227.
- Thornburgh, K.R. & Sharp, A.J. 1975. A preliminary list of mosses collected on tree branches in Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 35: 51-58.
- Vázquez-García, J.A. 1995. Cloud forest archipelagos: preservation of fragmented montane ecosystems in tropical America. En: S.L. Hamilton, J.O. Jurik & F.N. Scatena, eds. *Tropical montane cloud forests*. U.S.A.: Springer-Verlag, pp. 315-332.

Villaseñor, J.L. 2010. *El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad–Universidad Nacional Autónoma de México.

Yee, T.W. & Mitchell, N.D. 1991. Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science*, 2:587-602.

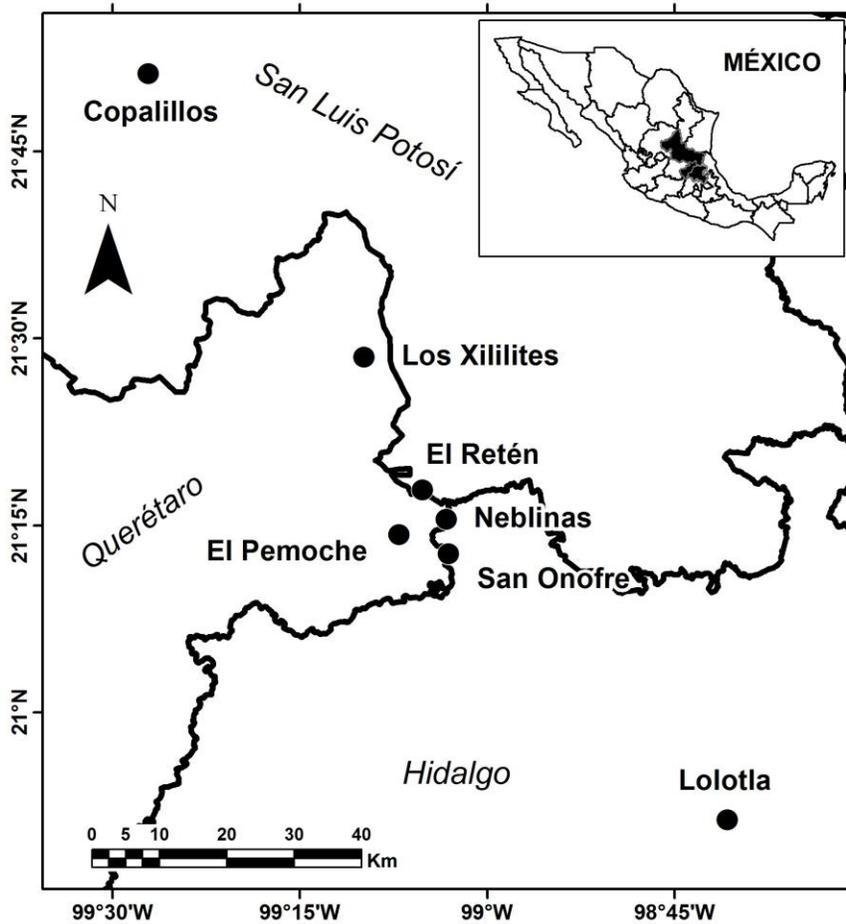


Figura 1. Fragmentos de bosque húmedo de montaña (Copalillos, Los Xililites, El Retén, Neblinas, Lolotla) y árboles aislados (El Pemoche, San Onofre) estudiados en la Sierra Madre Oriental en los estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, México.

Figura 2. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los sitios de estudio. Stress =0.459 . (a) Sitios de estudio. C. Copalillos. X. Xililites. R. El Retén. N. Neblinas. L. Lolotla. O. San Onofre. P. El Pemoche. (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Cric, Eham, Sinc – 2. Amar, Cdup, Eser, Hgla, Lbre, Nchl, Opac, Orig, Sleu, Zpat – 3. Hguy, Lecr, Pden – 4. Vil, Cand, Fste, Lfle, Mter, Psha, Drug, Spar, Tcri – 5. Opyc, Long, Tbra – 6. Cmin, Samp – 7. Bsys, Elon, Gtom, Thum. La abreviación de las especies combina la primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa ($p < 0.05$): CD. Cobertura de dosel.

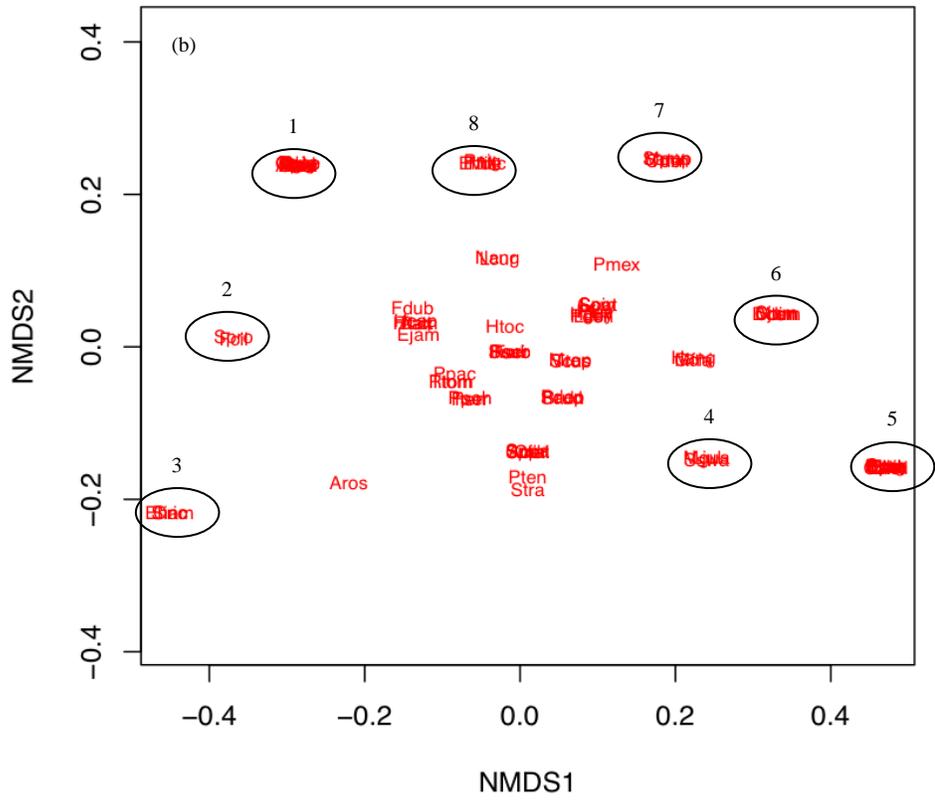
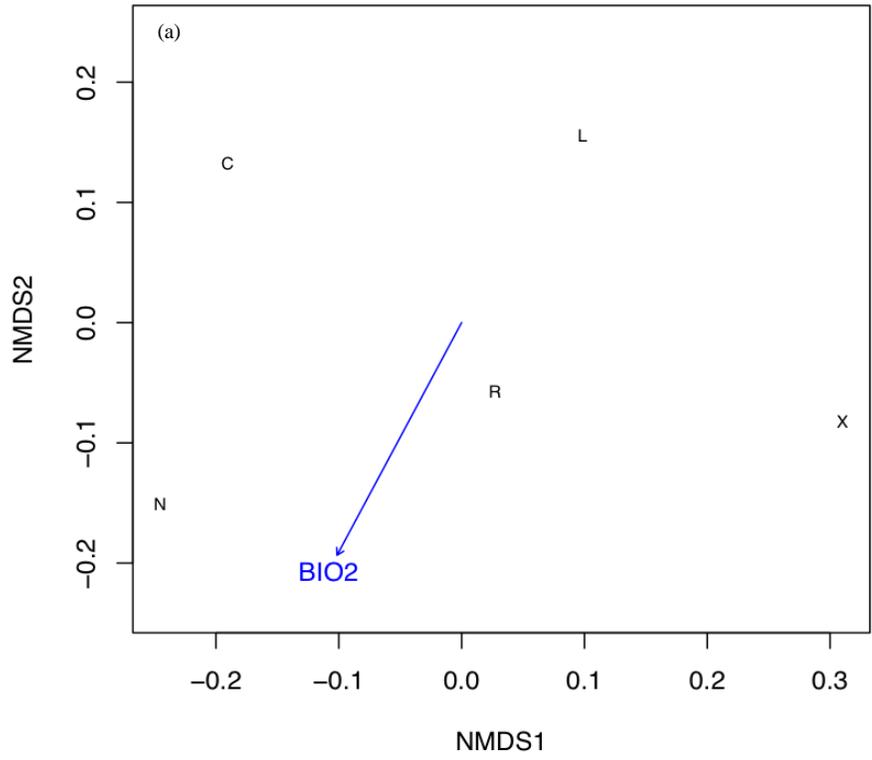


Figura 3. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los fragmentos de bosque. Stress = 0.1512. (a) Fragmentos de bosque. C. Copalillos – X. Xililites – R. El Retén. N. Neblinas. L. Lolotla. (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Amar, Atris, Cdup, Eser, Hgla, Lbre, Sleu, Zpat – 2. Fcil, Spro – 3. Cric, Eham, Sinc – 4. Aoer, Cfil, Cmal, Smat – 4. Ljul, Agua, Sswa – 5. Vil, Cand, Fste, Lfle, Mter, Psha, Rpra, Drug, Spar, Tcri – 6. Cdim, Mtten, Sjam, Dcom – 7. Cmin, Mpun, Samp, Tdel – 8. Emac, Mill, Pnig, Ptde. La abreviación de las especies combina la primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa ($p < 0.05$): BIO2. Rango promedio de temperaturas diarias ($T_{\max} - T_{\min}$).

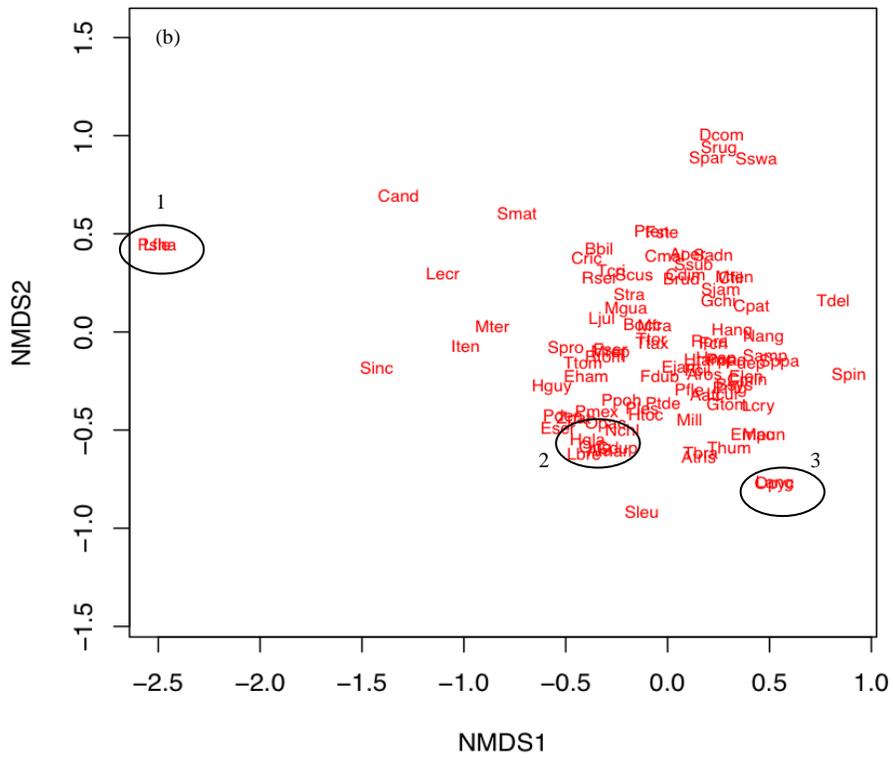
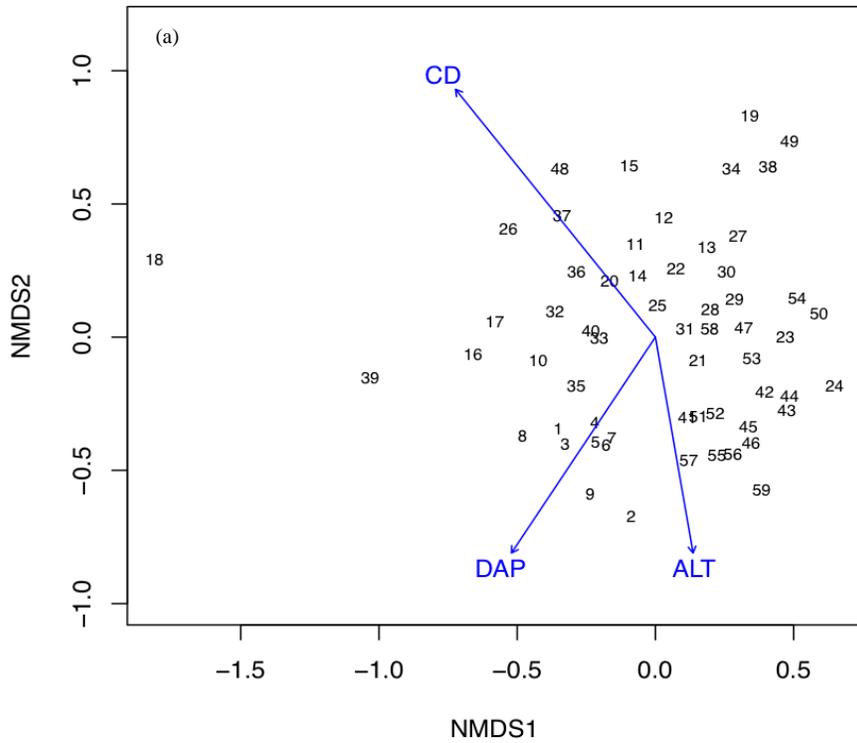


Figura 4. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los árboles estudiados. Stress =0.2113. (a) Forofitos. Copalillos (1-10), Xililites (11-20), El Retén (21-30), Neblinas (31-40), Lolotla (41-50), San Onofre (51-55). El Pemoche (56-59). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Lfle, Psha – 2. Amar, Hgla, Cdup, Lbre – 3. Opyc, Lang. La abreviación de las especies combina la primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa: ALT. Altura ($p < 0.1$) – CD. Cobertura de dosel ($p < 0.1$) – DAP. Diámetro a la altura del pecho ($p < 0.01$). *La variable AB (área basal) ($p < 0.05$) no se muestra porque se superpone con DAP.

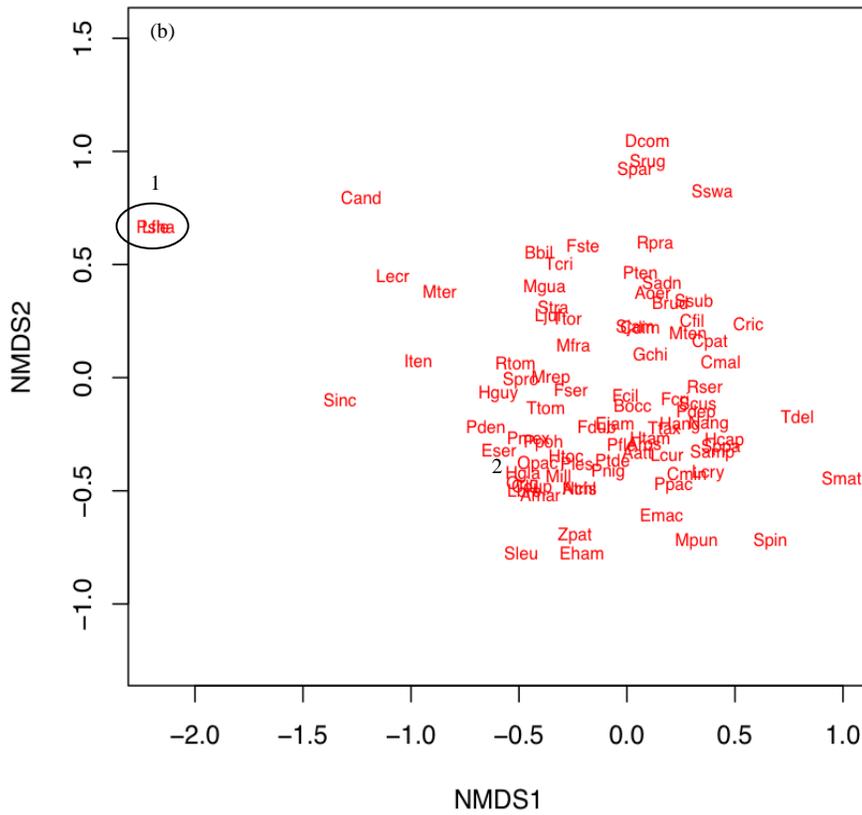
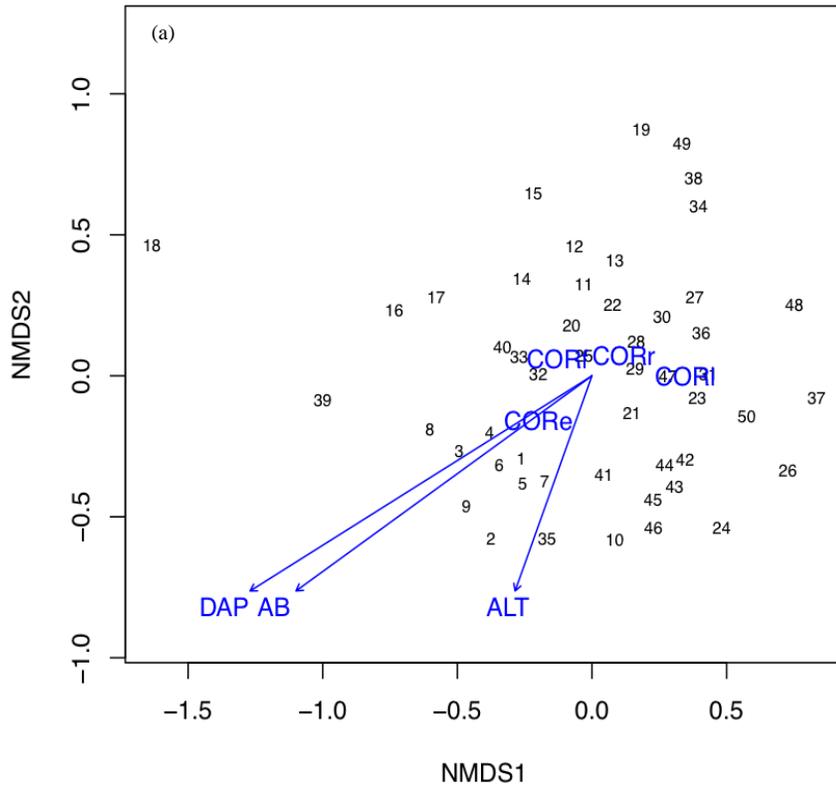


Figura 5. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de los árboles estudiados. Stress =0.2113. (a) Forofitos de fragmentos. Copalillos (1-10), Xillilites (11-20), El Retén (21-30), Neblinas (31-40), Lolotla (41-50). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. 1. Lfle, Psha – 2. Amar, Hgla, Cdup, Lbre – 3. Opyc, Lang. La abreviación de las especies combina la primera letra del género y las tres primeras del epíteto específico (ver **Apéndice 3**). Los vectores representan la variable explicativa significativa: AB. Área basal ($p<0.05$) – ALT. Altura ($p<0.1$) – DAP. Diámetro a la altura del pecho ($p<0.05$). El tipo de corteza representa los centroides: CORE (corteza escamosa), CORf (corteza fisurada), CORl (corteza lisa) y CORr (corteza rugosa).

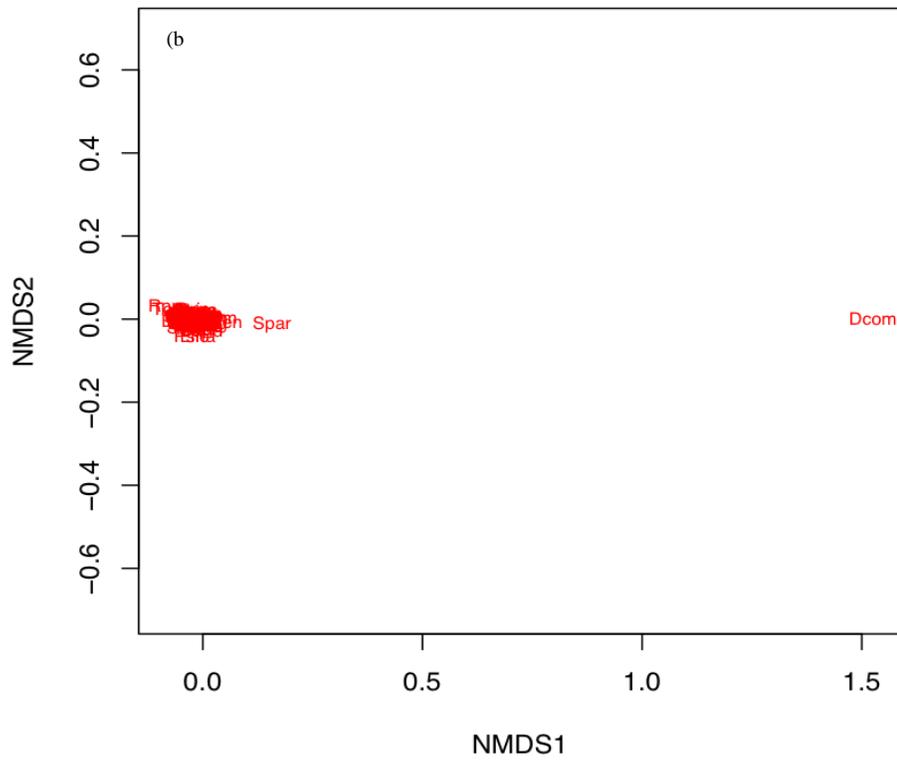
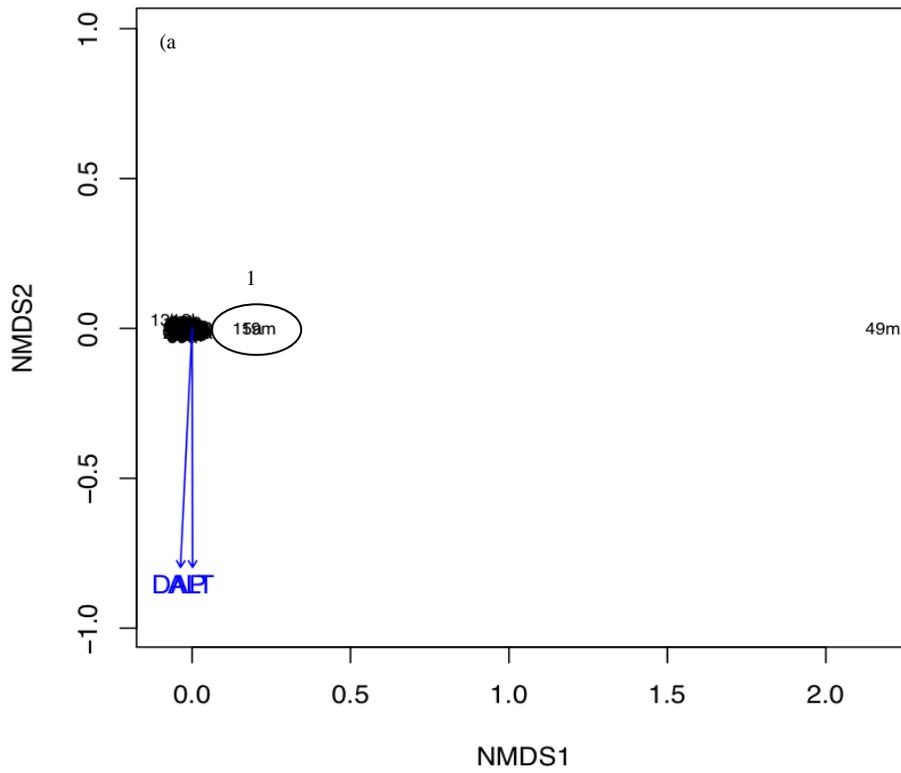


Figura 6. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de las zonas de los árboles estudiados en los sitios. Stress =0.0767. (a) Zonas de los forofitos. 1. 15a (zona alta del forofito 15), 19m (zona media). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. Spar=*Syrrhopodon parasiticus*, Dcom=*Donnellia commutata*.

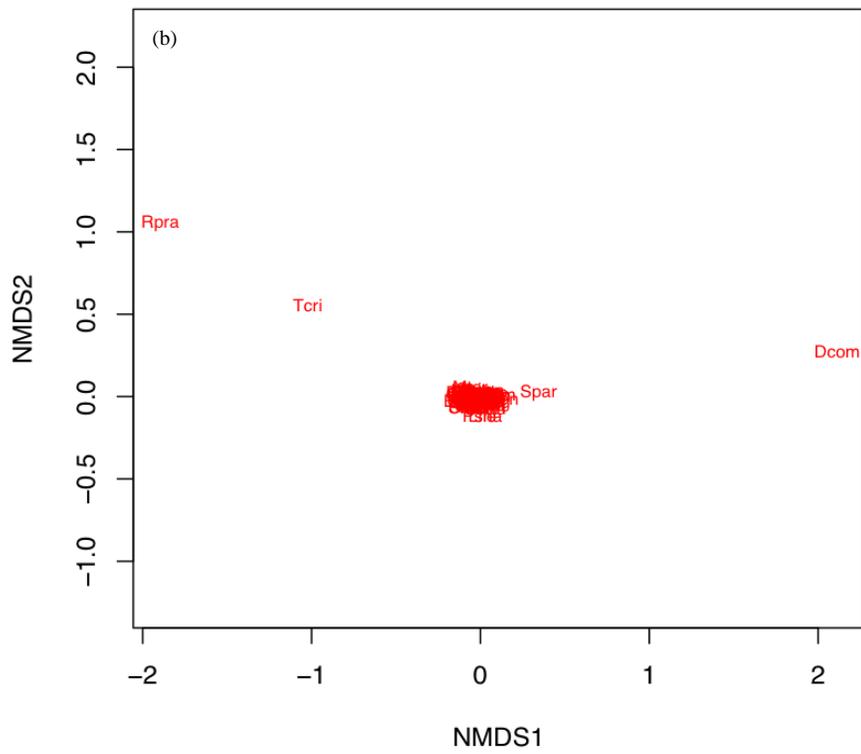
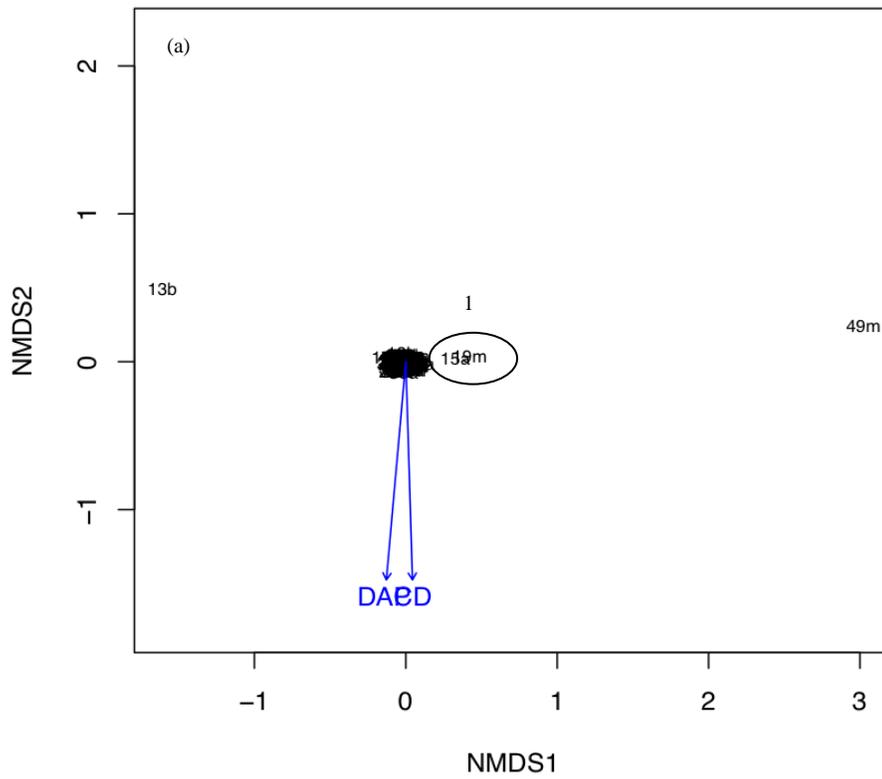


Figura 7. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el coeficiente de similitud de Sørensen aplicado a las comunidades de epífitas de las zonas de los árboles estudiados en los fragmentos. Stress =0.0830. (a) Zonas de los forofitos. 13b (zona baja del árbol 13); 1. 15a (zona alta del forofito 15), 19m (zona media); 49m (zona media). (b) Distribución de las especies respecto a los ejes. Rpra=*Rauiella praelonga*, Tcri=*Trichostomun brachydontium*, Spar=*Syrrhopodon parasiticus*, Dcom=*Donnellia commutata*.

Cuadro 1. Conjunto de variables ambientales usadas en los análisis. (a) Variables bioclimáticas obtenidas de la base de datos climática global WorldClim (Hijmans *et al.*, 2005). (b) Variables de los sitios. (c) Variables obtenidas de los árboles de estudio.

(A) VARIABLES BIOCLIMÁTICAS

BIO 1	Temperatura media anual
BIO 2	Rango promedio de temperaturas diarias ($T_{\max}-T_{\min}$)
BIO 3	Isotermalidad (BIO2/BIO7)x100
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura (Desv. estand. x 100)
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO 7	Rango anual de la temperatura (BIO5-BIO6)
BIO 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO 9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO 10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO 12	Precipitación anual
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo
BIO 14	Precipitación del mes más seco
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación
BIO 16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco

BIO 18 Precipitación del trimestre más cálido

BIO 19 Precipitación del trimestre más frío

B) VARIABLES DE LOS SITIOS

ALTITUD (M)

CD Cobertura de dosel de los sitios (suma de los promedios de las coberturas de dosel de los árboles de cada sitio)

C) VARIABLES DE LOS ÁRBOLES

AB Área basal = $3.142 \times (\text{DAP}/200)^2$

ALTURA Altura del árbol (m)

DAP Diámetro a la altura del pecho (1.3 m)

CD (ÁRBOL) Cobertura de dosel

CORTEZA
e. Escamosa = formando cuadros.
f. Fisurada = formando rectángulos.
l. Lisa = sin estriaciones.
r. Rugosa = con estriaciones.

Cuadro 2. Variables ambientales y biológicas de los sitios de estudio de la Sierra Madre Oriental. Ver tabla para especificaciones de las variables. Media±Desviación estándar. Forofitos: fragmentos (1-10) y árboles aislados (1-5).

	COPALILLOS	LOS XILILITES	EL RETÉN	NEBLINAS	LOLOTLA	SAN ONOFRE	EL PEMOCHE
BIO 1	22.2	21.9	21.6	22.5	19.5	21.9	21.8
BIO 2	13	12.8	13.3	14.1	12.3	14	13.7
BIO 3	55	56	58	57	58	58	58
BIO 4	11	11	10	12	11	9	10
BIO 5	332	328	327	343	297	335	331
BIO 6	96	100	96	98	86	95	95
BIO 7	235	227	230	246	211	240	236
BIO 8	246	242	237	250	211	241	237
BIO 9	185	183	187	192	163	188	193
BIO 10	257	251	247	261	222	252	249
BIO 11	175	175	174	177	159	174	175
BIO 12	759	1256	1203	1324	1340	1103	995
BIO 13	47	69	69	86	81	70	60
BIO 14	0	0	0	0	0	0	0
BIO 15	92	81	83	85	81	86	85

BIO 16	419	630	610	692	673	578	514
BIO 17	40	77	73	90	92	68	58
BIO 18	247	427	396	407	407	347	321
BIO 19	45	88	86	101	98	79	70
ALTITUD (M)	1252	1294	1485	989	1050	1091	1050
CD (SITIO)	81.12±10.07	87.77±6.17	75.32±20.54	93.88±3.08	86.2±6.21	24.96±3.79	21.97±13.22
AB (FOROFITOS)	1.50±1.68	0.84±0.69	0.62±0.74	2.29±1.64	0.52±0.46	2.02±1.68	0.62±0.74
ALTURA M (FOROFITOS)	15.25±6.67	11.32±5.24	11.98±2.68	15.4±7.64	19.1±4.50	12.25±4.49	23.4±6.18
DAP (CM)	38.61±21.22	29.60±14.67	24.22±14.75	51.15±18.67	23.93±10.02	44.88±11.64	48.31±16.68
CD (FOROFITOS)	1) 80.34 2) 81.64 3) 81.64 4) 80.08 5) 85.28 6) 89.44 7) 89.7 8) 89.18 9) 80.86 10) 53.04	1) 90.22 2) 94.9 3) 91.78 4) 92.3 5) 92.56 6) 76.96 7) 84.5 8) 85.8 9) 76.96 10) 91.78	1) 86.58 2) 92.56 3) 94.12 4) 91.52 5) 91.26 6) 31.72 7) 67.34 8) 84.24 9) 67.08 10) 46.8	1) 92.82 2) 88.66 3) 99.32 4) 95.16 5) 98.28 6) 92.3 7) 93.08 8) 90.74 9) 95.42 10) 93.08	1) 86 2) 91 3) 92.5 4) 94 5) 89.5 6) 79.25 7) 83.75 8) 91.25 9) 80.25 10) 74.5	1) 21.84 2) 27.82 3) 30.94 4) 23.14 5) 21.06	1) 31.98 2) 10.66 3) 7.28 4) 37.96
CORTEZA (FOROFITOS)	1) e 2) e 3) f 4) l 5) e 6) e 7) l	1) f 2) e 3) l 4) f 5) r 6) f 7) f	1) f 2) r 3) l 4) l 5) f 6) l 7) f	1) f 2) f 3) f 4) l 5) f 6) f 7) l	1) e 2) r 3) f 4) r 5) f 6) l 7) e	1) f 2) e 3) f 4) f 5) f	1) e 2) e 3) e 4) f 5) f

8) f	8) f	8) f	8) f	8) l
9) e	9) e	9) f	9) e	9) l
10) e	10) f	10)l	10) f	10) l

Cuadro 3. Diversidad alfa promedio (\pm desviación estándar) en los árboles y zonas de los árboles de los fragmentos y árboles aislados de BHM estudiados en la Sierra Madre Oriental.

LOCALIDAD	α ZONA			α ÁRBOL	α SITIO	ESPECIES ÚNICAS (%)
	ZONA BAJA	ZONA MEDIA	ZONA ALTA			
COPALILLOS	6.9 \pm 2.2	4.6 \pm 2.8	7.3 \pm 2.7	12.2 \pm 3.9	43	10.6
LOS XILILITES	6.0 \pm 3.5	2.4 \pm 1.5	3.4 \pm 2.5	8.8 \pm 2.9	44	9.6
EL RETÉN	4.9 \pm 3.6	3.7 \pm 2.4	2.1 \pm 1.8	8.9 \pm 2.2	39	5.3
NEBLINAS	3.4 \pm 2.0	2.7 \pm 2.2	1.1 \pm 1.5	5.5 \pm 2.9	27	3.2
LOLOTLA	4.2 \pm 2.0	3.6 \pm 1.8	3.4 \pm 3.0	8.6 \pm 3.8	38	2.1
SAN ONOFRE	6.6 \pm 2.7	2.8 \pm 0.4	3.8 \pm 2.0	10.2 \pm 2.7	26	3.2
EL PEMOCHE	4.2 \pm 1.2	3.0 \pm 0.8	3.5 \pm 2.0	6.6 \pm 3.9	21	3.2
TOTAL	23.42 \pm 7.11	16.8 \pm 4.8	15 \pm 6.7	8.3 \pm 3.7	93	38.3

Cuadro 4. Coeficientes de regresión del modelo lineal generalizado obtenidos en el análisis de riqueza de los sitios y variables ambientales. Las iniciales corresponden al cuadro 1. Ninguna variable fue significativa.

VARIABLE EXPLICATIVA	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (r^2)	
	SITIOS	
	TODOS	FRAGMENTOS
BIO 1	-0.982	0.071
BIO 2	-0.674	-3.63
BIO 3	-0.889	-0.144
BIO 4	0.092	0.583
BIO 5	0.880	1.364
BIO 6	-1.223	-1.245
BIO 7	-0.889	-1.429
BIO 8	1.147	-0.770
BIO 9	0.387	0.666
BIO 10	-1.161	0.910
BIO 11	-0.320	-0.329
BIO 12	-0.502	0.853
BIO 13	-0.798	-1.160
BIO 14	0.601	-0.254
BIO 15	-0.521	-0.055

BIO 16	0.647	-0.055
BIO 17	-0.547	0.283
BIO 18	-0.702	1.704
BIO 19	-1.462	-1.480
ALTITUD (M)	1.412	0.514
CD (SITIO)	1.490	-0.700

Cuadro 5. Coeficientes de regresión del modelo lineal generalizado. Las palabras en negritas indican las variables incluidas en el mejor modelo para explicar la riqueza de especies en las zonas de los forofitos. DAP – diámetro a la altura del pecho. AB – área basal. CD – cobertura de dosel. Devianza residual = 366.87.96 (d.f. 169). Pseudo- r^2 = 0.22 (forofitos todos), 0.27 (forofitos fragmentos), 0.17 (zonas todas) y 0.19 (zonas fragmentos). * $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$.

VARIABLE EXPLICATIVA	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (r^2)			
	FOROFITOS		ZONAS	
	FOROFITOS (TODOS)	FOROFITOS (FRAGMENTOS)	ZONAS (TODAS)	ZONAS FRAGMENTOS
AB	1.796	1.973*	2.815**	2.562*
ALTURA	0.645	0.613	0.740	0.248
DAP	-2.041*	-2.216*	-3.244***	-2.970**
CD (Árbol)	-0.362	0.844	0.848	0.685
CORTEZA				
Fisurada	-0.824	-1.821	-2.036*	-2.192*
Lisa	0.0012**	-3.547***	-5.187***	-5.203***
Rugosa	-2.157*	-2.626**	-3.564***	-3.665***

CONCLUSIONES GENERALES

Los cuatro fragmentos de bosque húmedo de montaña (BHM) estudiados son heterogéneos en su estructura y composición de especies leñosas. *Liquidambar styraciflua* fue el único árbol en común a todos ellos. Sus taxones arbóreos indican disturbio y se pueden considerar como bosques secundarios, aunque contienen especies en algún estatus de conservación.

El área de estudio mostró ser rica en musgos epífitos. Se encontraron 93 especies, de las cuales 34 no habían sido registradas en la literatura para los BHM. El número de especies cambia significativamente a lo largo del transecto longitudinal. Los fragmentos de Copalillos y Neblinas, tuvieron los árboles más ricos y menos ricos en especies. Se encontró que la distinción entre los dos sistemas estudiados (fragmentos y árboles aislados) está en su composición de especies.

Las especies características de los BHM, *Hildebrandtiella guyanensis* y *Leucobryum crispum* sólo estuvieron presentes en dos fragmentos de bosque. De la misma manera, *Cyclodictyon richardsii* y *Pylaisiadelpha sharpii* musgos endémicos de México, son epífitas estrictas que fueron encontrados en un solo hospedero. En los árboles aislados, especies como *Brachymerium systylium*, *Erythodontium longisetum* y *Ortthotrichum pycnophyllum* fueron frecuentes.

Los sitios mostraron una heterogeneidad en su composición. La única especie presente en todos los sitios fue *Sematophyllum subpinnatum*. Los fragmentos de bosque tuvieron en común solo dos especies, *Brachythecium occidentale* y *Rhynchostegium serrulatum*. Los árboles aislados no tuvieron ninguna especie en común única a ellos.

Las variables ambientales (variables bioclimáticas, altitud y cobertura de dosel; Cuadro 1 y Cuadro 2, capítulo 4) no influyen en la riqueza de los sitios y fragmentos; sólo la cobertura de dosel del sitio y el promedio de temperaturas diarias de los fragmentos se encontraron relacionadas con la composición de sus musgos epífitos. Las características de los árboles como el área basal, el diámetro a la altura del pecho, la altura, la cobertura de dosel y la corteza fueron significativas para explicar la riqueza y composición de especies en las zonas y en los forofitos.

Apéndice 1. Especies de árboles y arbustos registradas en los fragmentos de bosque húmedo de montaña estudiados en la Sierra Madre Oriental. Sitios de estudio. C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. Estatus de conservación de acuerdo con *Red List of Mexican Cloud Forest Trees* (González-Espinosa *et al.*, 2011). Pc. Preocupación menor – Ca. Casi amenazado – Vu. Vulnerable – Ep. En peligro – Epc. En peligro crítico. *Endémico. Nomenclatura basada en la Flora del Bajío y Regiones Adyacentes (INECOL) y Villaseñor (2010).

TAXA	C	X	R	N	ESTATUS
PTERIDOPHYTA					
CYATHEACEAE					
<i>Cyathea</i> aff. <i>firma</i> Mett. ex Kuhn				X	
GIMNOSPERMAE					
PINACEAE					
<i>Pinus</i> aff. <i>greggii</i> Engelm. ex Parl.		X			
ANGIOSPERMAE					
ALTINGIACEAE					
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	X	X	X	X	Pm
ANACARDIACEAE					
<i>Rhus schiedeana</i> Schltldl.		X			
<i>Rhus trilobata</i> Nutt.		X			

ARALIACEAE

Dendropanax arboreus (L.) Decne. & Planch. X Pm

ASTERACEAE

Roldana aschenborniana (S. Schauer) H. Rob. & Brettell X

Senecio sp. X

BETULACEAE

Alnus jorullensis Kunth X Pm

CLETHRACEAE

Clethra pringlei S. Watson* X Pm

Clethra kenoyeri Lundell* X Pm

Clethra sp. X

ERICACEAE

Leucothoe aff. *mexicana* (Hemsl.) Small X Ca

EUPHORBIACEAE

Cnidocolus multilobus (Pax) I.M. Johnst X X X

FABACEAE

Bauhinia chapulhuacania Wunderlin* X Ep

<i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. & Guridi-Gómez*			X	X	Epc
<i>Lonchocarpus</i> aff. <i>rugosus</i> Benth.				X	
<i>Lonchocarpus</i> sp.	X				
<i>Pithecellobium insigne</i> Micheli ex Donn. Sm.				X	
FAGACEAE					
<i>Quercus affinis</i> Scheidw.*		X			Vu
<i>Quercus germana</i> Schltld. & Cham.*	X				Epc
<i>Quercus pinnativenulosa</i> C.H. Mull.*	X				Epc
<i>Quercus rysophylla</i> Weath.*	X				Ep
<i>Quercus</i> aff. <i>sartorii</i> Liebm.*		X			Ep
<i>Quercus</i> sp.		X			
JUGLANDACEAE					
<i>Carya ovata</i> var. <i>mexicana</i> (Engelm.) W.E. Manning*	X				Ca
<i>Carya palmeri</i> W.E. Manning*		X	X	X	Ca
LAURACEAE					
<i>Cinnamomum effusum</i> (Meisn.) Kosterm.				X	
<i>Cinnamomum pachypodum</i> (Nees) Kosterm.	X				

<i>Cinnamomum</i> aff. <i>salicifolium</i> (Nees) Kosterm.			X	
<i>Nectandra salicifolia</i> (Kunth) Nees	X			Ca
<i>Ocotea psychotrioides</i> Kunth*			X	Ep
<i>Persea</i> aff. <i>americana</i> Mill.			X	Ep
MALPIGHIACEAE				
<i>Bunchosia</i> sp.		X		
MALVACEAE				
<i>Heliocarpus</i> sp.			X	
<i>Tilia americana</i> L.		X		Vu
MELIACEAE				
<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.			X	
MYRTACEAE				
<i>Eugenia xalapensis</i> (Kunth) DC.	X			Vu
<i>Eugenia xilitlensis</i> McVaugh			X	Ep
PENTAPHYLACACEAE				
<i>Ternstroemia huasteca</i> B.M. Barthol.*		X	X	Ep
PIPERACEAE				

<i>Piper</i> sp.			X	
PRIMULACEAE				
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.		X		
<i>(Rapanea myricoides</i> (Schltdl.) Lundell)				
RHAMNACEAE				
<i>Rhamnus</i> aff. <i>longistyla</i> C.B. Wolf			X	
ROSACEAE				
<i>Crataegus</i> aff. <i>gracilior</i> J.B. Phipps		X		Pm
RUBIACEAE				
<i>Arachnothryx heteranthera</i> (Brandege) Borhidi			X	
<i>Deppea</i> af. <i>purpurascens</i> Lorence			X	
RUTACEAE				
<i>Zanthoxylum</i> sp.			X	
SAPINDACEAE				
<i>Sapindus saponaria</i> L.		X		
SOLANACEAE				
<i>Cestrum oblongifolium</i> Schltdl.		X		Ca

<i>Cestrum</i> sp.								X					
<i>Solanum nudum</i> Dunal								X				Pm	
THYMELAEACEAE													
<i>Daphnopsis mollis</i> (Schltdl. & Cham.) Standl.							X		X				
ULMACEAE													
<i>Ulmus mexicana</i> (Liebm.) Planch.											X		Ep
URTICACEAE													
<i>Myriocarpa longipes</i> Liebm.											X		Pm

Apéndice 2. Frecuencia de los musgos epífitos registrados en los fragmentos de bosque húmedo de montaña estudiados y árboles aislados de la Sierra Madre Oriental. Tipo de epífita. O. Obligada – F. Facultativa. Sitios de estudio. C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. L. Lolotla – O. San Onofre – P. El Pemoche. Escala. RE. Región – FR. Fragmento – Á. Árboles aislados. Categoría de rareza. C. Común – F. Frecuente – R. Rara. Forofito. Al. *Alnus* – Ca. *Carya* – Cl. *Clethra* – Cr. *Crataegus* – Er. *Erythrina* – Eu. *Eugenia* – He. *Heliocarpus* – Il. *Ilex* – Lig. *Ligustrum* – Li. *Liquidambar* – Pi. *Pinus* – Pr. *Prunus* – Qu. *Quercus* – Rh. *Rhus* – Sam. *Sambucus* – Sa. *Savia* – Ul. *Ulmus* – Za. *Zanthoxylum* – P4R. Forofito desconocido de El Retén.

TAXA	EPÍFITA	C	X	R	N	L	O	P	RE	FR	A	FOROFITO
<i>Anomodon attenuatus</i> (Hedw.) Huebener	F	2		1	3	3	2		C	R	R	Li, Qu, F4, Ca
<i>Anomodon rostratus</i> (Hedw.) Schimp.	F			3	1			1	F	R	R	Li
<i>Anomodon tristis</i> (Ces.) Sull. & Lesq.	O	1						1	R	R	R	Eu, Li

<i>Atrichum oerstedianum</i> (Müll. Hal.) Mitt.	F		1					R	R		Al
<i>Brachymerium systylium</i> (Müll. Hal.) A. Jaeger	F						3	R		F	Er, Li, Qu
<i>Brachythecium occidentale</i> (Hampe) A. Jaeger	F	2	1	1	1	1		F	R		Cl, Li, Qu, Sam, Za
<i>Brachythecium ruderale</i> (Brid.) W. R. Buck	F		1	3	3	1	1	F	R	R	Li, Qu, Sam, Ul, Zan
<i>Bryum billarderi</i> Schwägr.	F		6					R	F		Li, Qu, Rh
<i>Calyptothecium duplicatum</i> (Schwägr.) Broth.	F	4						R	F		Cl, Il, Qu
<i>Campylopus anderssonii</i> (Müll. Hal.) A. Jaeger	F		2					R	R		Pi, Rh
<i>Chryso-hypnum diminutivum</i> (Hampe) W. R. Buck	F		3			1		R	R		Li, Qu
<i>Cryphaea filiformis</i> (Hedw.) Brid.	O		2					R	R		Li, Za
<i>Cryphaea patens</i> Hornsch.	O		5		1	1		F	F, R	R	Qu, Sa, Za
<i>Ctenidium malacodes</i> Mitt.	F		4					R	F		Li, Sa
<i>Cyclodictyon richardsii</i> Bowers & Magill	O				1			R	R		Li
<i>Cyrto-hypnum minutulum</i> (Hedw.) W. R. Buck & H. A. Crum	F				2	1		R	R	R	Ca, Er, Qu
<i>Donnellia commutata</i> (Müll. Hal.) W. R. Buck	O		1			1		R	R		Cl, Rh
<i>Entodon hampeanus</i> Müll. Hal.	O				1			R	R		Li
<i>Entodon jamesonii</i> (Taylor) Mitt.	O				1	1		R	R		Li, Qu

<i>Entodon macropodus</i> (Hedw.) Müll. Hal.	O	1				3		R	R		Ca, Qu, Pr	
<i>Entodon serrulatus</i> Mitt.	O	3						R	R		Cl, Li, Qu	
<i>Erythrodontium longisetum</i> (Hook.) Paris.	F					2		R		R	Er, Qu	
<i>Fabronia ciliaris</i> var. <i>polycarpa</i> (Hook.) W. R. Buck	O	1		2		3	2	F	R	F, R	Cl, Er, Li, Sam, Qu	
<i>Fissidens crispus</i> Mont.	F	1	1	2	2	2	3	C	R	F	Er, F4R, Li, Qu, Sam	
<i>Fissidens dubius</i> P. Beauv.	F	1		2				R	R		Li, Qu	
<i>Fissidens serratus</i> Müll. Hal. var. <i>serratus</i>	O	3	1	1	3			F	R		Cl, Eu, Li, Qu, Sam	
<i>Fissidens steerei</i> Grout	F		2					R	R		Li, Qu	
<i>Groutiella chimborazensis</i> (Spruce ex. Mitt.) Florsch.	F		2	1		2		F	R		Li, Pr, Qu	
<i>Groutiella tomentosa</i> (Hornsch.) Wijk & Margad.	F					1		R		R	Qu	
<i>Haplocladium angustifolium</i> (Hampe & Müll. Hal.) Broth.	F		1	2		1	1	F	R	R	F4R, Li, Qu	
<i>Helicodontium capillare</i> (Hedw.) A. Jaeger	F	2		2	3	2	2	1	C	R	R	Al, Cl, Er, Eu, F4R, He, Li, Pr, Qu, Sa
<i>Herpetineuron toccoae</i> (Sull. & Lesq.) Cardot	F	7	1		1	3	1	F	C, R	R	Cl, Il, Li, Pr, Qu	
<i>Hildebrandtiella guyanensis</i> (Mont.) W. R. Buck	O	1	1					R	R		Eu, Qu	

<i>Homalia glabella</i> (Hedw.) Schimp.	F	5					R	F	Eu, Li, Qu
<i>Hypopterygium tamarisci</i> (Sw.) Brid. ex Müll. Hal.	F	3	6	1	1		F	F, R	Al, Ca, Cl, Eu, F4R, Li, Qu, Sa
<i>Isopterygium tenerum</i> (Sw.) Mitt.	F	2	1	1	1		F	R	Al, Cl, Li, Pi
<i>Lepidopilum brevipes</i> Mitt.	F	2					R	R	Cl, Qu
<i>Leptodontium flexifolium</i> (Dicks. ex With.) Hampe	F		1				R	R	Pi
<i>Leskea</i> aff. <i>angustata</i> Taylor	O					1	R		R Li
<i>Leucobryum crispum</i> Müll. Hal.	F	1	2				R	R	Li, Pi, Rh
<i>Leucodon cryptotheca</i> Hampe	O		3	3	1	1	F	R	R F4R, Li, Qu, Sa
<i>Leucodon curvirostris</i> Hampe	F	2	2	4	2		F	F, R	R Ca, Cl, Eu, Li, Qu, Sa
<i>Leucodon julaceus</i> (Hedw.) Sull.	O		1	1			R	R	Li, Qu
<i>Macrocoma tenuis</i> var. <i>sullivantii</i> (Müll. Hal.) Vitt.	O		3		3		R	R	Al, Ca, Cr, Li, Qu
<i>Macromitrium fragilicuspis</i> Cardot	F		2	1	1	1	F	R	R Li, Qu
<i>Macromitrium guatemaliense</i> Müll. Hal.	O		4	1		1	F	F, R	R Qu, Li
<i>Macromitrium punctatum</i> (Hook. & Grev.) Brid.	O				1		R	R	Pr
<i>Meteorium illecebrum</i> Sull.	F	3			1	3	3	F	R F Il, Li, Pr, Qu

<i>Meteorium teres</i> Mitt.	F		2						R	R	Qu
<i>Mittenothamnium reptans</i> (Hedw.) Cardot	F	4	2	1					F	F, R	Al, Cl, Li, Qu
<i>Neckera angustifolia</i> Müll. Hal.	O	1		4		4			F	F, R	Al, Ca, Eu, F4R, Qu
<i>Neckera chlorocaulis</i> Müll. Hal.	O	1							R	R	Eu
<i>Orthostichella pachygastrella</i> (Müll. Hal. ex Ångstr.) B. H.	F	2							R	R	Cl, Il
Allen & Magill											
<i>Orthostichella rigida</i> (Müll. Hal.) B. H. Allen & Magill	F	8							R	C	Cl, Eu, Li, Qu
<i>Orthotrichum pycnophyllum</i> Schimp. ex Müll. Hal.	F							1	R		R Li
<i>Palamocladium leskeoides</i> (Hook.) E. Britton	F	7	1	1		2	2	1	C	C, R	R Ca, Cl, Eu, Li, Qu
<i>Papillaria deppei</i> (Hornsch. ex Müll. Hal.) A. Jaeger	O		1	5	1	8	5	4	C	C, F, R	C, F Al, Ca, Er, Li, Pr Qu, Sa
<i>Papillaria nigrescens</i> (Sw. ex Hedw.) A. Jaeger	F	1				1	5		F	R	C Er, Il, Li, Qu
<i>Pilotrichella flexilis</i> (Hedw.) Aongstr.	O	8	1	4		6	4	3	C	C, F, R	F Ca, Cl, Cr, Er, Eu, Li, Pr, Qu, Za
<i>Pireella pohlii</i> (Schwägr.) Cardot	F	7	1	2	2		1		F	C, R	R Cl, Eu, Il, Li, Qu
<i>Pireella pycnothallodes</i> (Müll. Hal.) M. Fleisch.	F			2	1	1		1	F	R	R F4R, Li, Qu

<i>Prionodon densus</i> (Hedw.) Müll. Hal.	O	3	1						R	R		Li, Qu
<i>Pterobryon densum</i> Hornsch.	F	3				2			R	R		Cl, Eu, Il, Qu, Pr
<i>Pterobryopsis mexicana</i> (Renauld & Cardot) M. Fleisch.	F	5	2			1			F	F, R		Cl, Eu, Qu
<i>Pylaisiadelpha sharpii</i> H.A. Crum	O		1						R	R		Pi
<i>Pylaisiadelpha tenuirostris</i> (Bruch & Schimp.) W. R. Buck	O		2	2	1				F	R		Al, Li, Qu, Rh
<i>Racopilum tomentosum</i> (Hedw.) Brid.	F	2	3		1			2	F	R	R	Cl, Li, Qu, Sam
<i>Rauiella praelonga</i> (Schimp. ex Besch.) Wijk & Margad.	F		1					1	R	R	R	Cr, Qu
<i>Rhynchostegium serrulatum</i> (Hedw.) A. Jaeger	F	2	2	2	4	1			F	F, R		Cl, Lig, Li, Sa, Sam
<i>Schlotheimia jamesonii</i> (Arnott) Brid.	F		5			3	2		F	F, R	R	Ca, Cr, Er Li, Qu, Rh
<i>Schlotheimia rugifolia</i> (Hook.) Schwägr.	F		2						R	R		Cl, Qu
<i>Sematophyllum adnatum</i> (Mx.) E. Britton	F		7	8	5	2	2	1	C	C, F, R	R	Al, Cl, Cr, Er, He, Li, Qu, Rh, Sa, Ul, Za
<i>Sematophyllum cuspidiferum</i> Mitt.	F	1	1	3					F	R		Cl, Li, Sa, Za
<i>Sematophyllum subpinnatum</i> (Brid.) E. Britton	F	1	3	4	2	2	1	1	C	F, R	R	Al, Cr, He, Il, Lig, Li, Qu, Za

<i>Sematophyllum swartzii</i> (Schwägr.) Welch & H.A. Crum	F	1	1			R	R		Cl, Li
<i>Sphaerotheciella pachycarpa</i> (Schimp. ex Besch.) Manuel	O		1	7		R	C, R		Al, Ca, Pr, Qu, Za F4R
<i>Sphaerotheciella pinnata</i> (Schimp.) Manuel	O		1			R	R		F4R
<i>Squamidium leucotrichum</i> (Taylor) Broth.	O	1				R	R		Qu
<i>Stereophyllum radiculosum</i> (Hook.) Mitt.	F	1	1			R	R		Li
<i>Streptopogon matudianus</i> H.A. Crum	O		1			R	R		Sa
<i>Syntrichia amphidiacea</i> (Müll. Hal.) R. H. Zander	F			4	3	R	F	F	Al, Er, Li, Pr, Qu
<i>Syrrhopodon incompletus</i> Schwägr. var. <i>incompletus</i>	F		1			R	R		Cl
<i>Syrrhopodon parasiticus</i> (Brid.) Besch.	O	3				R	R		Cl, Cr, Rh
<i>Syrrhopodon prolifer</i> Schwägr. var. <i>prolifer</i>	F	1	2			R	R		Li, Sam
<i>Taxyphyllum taxirameum</i> (Mitt.) M. Fleisch.	F	3	2	4	3	F	F, R		Ca, Cl, Eu, Li, Qu, Sa
<i>Thuidium delicatulum</i> (Hedw.) Schimp.	F			1		R	R		Al
<i>Thuidium tomentosum</i> Schimp.	F	7	2	6		F	C, F, R		Cl, Eu, Il, Li, Qu, Sam
<i>Toloxis imponderosa</i> (Taylor) W.R. Buck	O	4				R	F		Cl, Qu
<i>Tortella humilis</i>	F			1		R		R	Li

<i>Tortella tortuosa</i> (Hedw.) Limpr.	F	1	4	1		2	F	F, R	R	Li, Qu
<i>Trichostomum brachydontium</i> Bruch	F					1	R		R	Qu
<i>Trichostomum crispulum</i> Bruch	F		2				R	R		Cr, Qu
<i>Zelometeorium patulum</i> (Hedw.) Manuel	O	2					R	R		Cl, Qu

Apéndice 3. Listado de musgos epífitos registrados en los sitios de estudio, forofitos y zonas de los árboles. Abrev. Abreviaciones de los taxones utilizadas en la ordenación NMDS. Tipo de epífita. O. Obligada – F. Facultativa. Sitios de estudio. C. Copalillos – X. Los Xililites – R. El Retén – N. Neblinas. L. Lolotla – O. San Onofre – P. El Pemoche. Zonas del árbol. ZB. Zona basal – ZM. Zona media – ZA. Zona alta. Número de forofito. Copalillos (1-10) – Los Xililites (11-20) – El Retén (21-30) – Neblinas (31-40) – Lolotla (41-50) – San Onofre (51-55) – El Pemoche (56-59).

TAXA	ABREV.	EPÍFITA	C	X	R	N	L	O	P	ZB	ZM	ZA	NÚMERO DE FOROFITO
<i>Anomodon attenuatus</i> (Hedw.) Huebener	Aatt	F	X	X	X	X	X	X		X	X	X	1, 6, 24, 31, 33, 40-44, 51, 55
<i>Anomodon rostratus</i> (Hedw.) Schimp.	Aros	F			X	X			X	X	X	X	21, 29, 35, 59
<i>Anomodon tristis</i> (Ces.) Sull. & Lesq.	Atris	O	X						X		X	X	7, 59
<i>Atrichum oerstedianum</i> (Müll. Hal.) Mitt.	Aoer	F			X					X			22
<i>Brachymenium systylium</i> (Müll. Hal.) A. Jaeger	Bsys	F						X		X	X	X	51, 52, 53
<i>Brachythecium occidentale</i> (Hampe) A.	Bocc	F	X	X	X	X	X			X	X	X	1, 10, 12, 30, 32, 45

Jaeger

<i>Brachythecium ruderale</i> (Brid.) W. R. Buck	Brud	F		X	X	X	X	X	X	X	X	17, 27, 28, 32, 36, 38, 47, 52
<i>Bryum billarderi</i> Schwägr.	Bbil	F		X					X			11, 12, 14-17
<i>Calyptothecium duplicatum</i> (Schwägr.) Broth.	Cdup	F	X						X	X	X	2, 4, 5, 6
<i>Campylopus anderssonii</i> (Müll. Hal.) A.	Cand	F		X					X	X		15, 18

Jaeger

<i>Chryso-hypnum diminutivum</i> (Hampe) W. R.	Cdim	F		X		X			X	X		11, 12, 20, 43
--	------	---	--	---	--	---	--	--	---	---	--	----------------

Buck

<i>Cryphaea filiformis</i> (Hedw.) Brid.	Cfil	O			X						X	28, 30
<i>Cryphaea patens</i> Hornsch.	Cpat	O			X	X	X		X	X		23, 27-30, 47, 56
<i>Ctenidium malacodes</i> Mitt.	Cmal	F			X				X			25, 26, 28
<i>Cyclodictyon richardsii</i> Bowers & Magill	Cric	O				X			X			36
<i>Cyrto-hypnum minutulum</i> (Hedw.) W. R. Buck	Cmin	F				X	X		X			41, 42, 53

& H. A. Crum

<i>Donnellia commutata</i> (Müll. Hal.) W. R. Buck	Dcom	O		X		X					X	15, 49
<i>Entodon hampeanus</i> Müll. Hal.	Eham	O				X			X			35
<i>Entodon jamesonii</i> (Taylor) Mitt.	Ejam	O				X	X		X	X		40, 45

<i>Entodon macropodus</i> (Hedw.) Müll. Hal.	Emac	O	X		X		X					2, 43, 44, 46
<i>Entodon serrulatus</i> Mitt.	Eser	O	X				X					1, 3, 8
<i>Erythrodontium longisetum</i> (Hook.) Paris.	Elon	F				X	X		X			52, 53
<i>Fabronia ciliaris</i> var. <i>polycarpa</i> (Hook.) W. R. Buck	Fcil	O	X		X	X	X	X	X	X		5, 32, 36, 52-54, 56, 59
<i>Fissidens crispus</i> Mont.	Fcri	F	X	X	X	X	X	X	X	X		6, 11, 24, 27, 31, 32, 45, 47, 51-53
<i>Fissidens dubius</i> P. Beauv.	Fdub	F	X		X			X		X		9, 21, 25
<i>Fissidens serratus</i> Müll. Hal. var. <i>serratus</i>	Fser	O	X	X	X	X		X	X	X		1, 3, 7, 20, 28, 32, 33, 40
<i>Fissidens steerei</i> Grout	Fste	F		X				X	X	X		12, 14
<i>Groutiella chimborazensis</i> (Spruce ex. Mitt.) Florsch.	Gchi	F		X	X	X		X	X	X		12, 14, 29, 46, 47
<i>Groutiella tomentosa</i> (Hornsch.) Wijk & Margad.	Gtom	F					X		X			52
<i>Haplocladium angustifolium</i> (Hampe & Müll. Hal.) Broth.	Hang	F		X	X	X		X	X	X		20, 24, 25, 43, 58
<i>Helicodontium capillare</i> (Hedw.) A. Jaeger	Hcap	F	X		X	X	X	X	X	X	X	5, 7, 23, 24, 31, 36, 37, 46, 50, 52, 53, 59

<i>Herpetineuron toccoae</i> (Sull. & Lesq.) Cardot	Htoc	F	X	X	X	X	X	X	X	X	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 20, 33, 41, 45, 46, 51, 59
<i>Hildebrandtiella guyanensis</i> (Mont.) W. R.	Hguy	O	X	X					X	X	7, 16
Buck											
<i>Homalia glabella</i> (Hedw.) Schimp.	Hgla	F	X						X		1, 6, 7, 8, 9
<i>Hypopterygium tamarisci</i> (Sw.) Brid. ex Müll.	Htam	F	X		X	X	X		X	X	5-7, 21-24, 28, 29, 35, 44
Hal.											
<i>Isopterygium tenerum</i> (Sw.) Mitt.	Iten	F	X	X	X	X			X		3, 8, 18, 22, 39
<i>Lepidopilum brevipes</i> Mitt.	Lbre	F	X						X	X	1, 9
<i>Leptodontium flexifolium</i> (Dicks. ex With.)	Lfle	F		X					X		18
Hampe											
<i>Leskea</i> aff. <i>angustata</i> Taylor	Lang	O							X	X	59
<i>Leucobryum crispum</i> Müll. Hal.	Lecr	F	X	X					X	X	8, 15, 18
<i>Leucodon cryptotheca</i> Hampe	Lcry	O			X	X	X	X	X	X	21-24, 41, 43, 45, 55, 57, 59
<i>Leucodon curvirostris</i> Hampe	Lcur	F	X		X	X	X		X	X	5, 7, 23, 28, 41, 42, 44, 45, 51, 55
<i>Leucodon julaceus</i> (Hedw.) Sull.	Ljul	O		X	X				X		16, 28
<i>Macrocoma tenuis</i> var. <i>sullivantii</i> (Müll. Hal.)	Mten	O		X		X			X	X	11-13, 42, 47, 50

Vitt.

<i>Macromitrium fragilicuspis</i> Cardot	Mfra	F	X	X	X	X	X	X	X	14, 16, 28, 41, 58
<i>Macromitrium guatemaliense</i> Müll. Hal.	Mgua	O	X	X		X	X	X	X	12, 14, 16, 17, 29, 57
<i>Macromitrium punctatum</i> (Hook. & Grev.)	Mpun	O			X			X		46

Brid.

<i>Meteorium illecebrum</i> Sull.	Mill	F	X		X	X	X	X	X	3, 4, 6, 46, 51, 52, 55-58
<i>Meteorium teres</i> Mitt.	Mter	F		X				X	X	16, 17
<i>Mittenothamnium reptans</i> (Hedw.) Cardot	Mrep	F	X	X	X		X	X	X	1, 3, 6, 8, 11, 14, 22
<i>Neckera angustifolia</i> Müll. Hal.	Nang	O	X	X	X		X	X	X	7, 22, 24, 27, 29, 42, 43, 44, 50
<i>Neckera chlorocaulis</i> Müll. Hal.	Nchl	O	X				X			7
<i>Orthostichella pachygastrella</i> (Müll. Hal. ex Ångstr.) B. H. Allen & Magill	Opac	F	X				X	X	X	4, 5

Ångstr.) B. H. Allen & Magill

<i>Orthostichella rigida</i> (Müll. Hal.) B. H. Allen & Magill	Orig	F	X				X	X	X	1, 2, 3, 5-9
--	------	---	---	--	--	--	---	---	---	--------------

Magill

<i>Orthotrichum pycnophyllum</i> Schimp. ex Müll.	Opyc	F					X	X		59
---	------	---	--	--	--	--	---	---	--	----

Hal.

<i>Palamocladium leskeoides</i> (Hook.) E. Britton	Ples	F	X	X	X	X	X	X	X	1, 3, 5-10, 17, 21, 41, 44, 51, 52, 57
--	------	---	---	---	---	---	---	---	---	--

<i>Papillaria deppei</i> (Hornsch. ex Müll. Hal.) A. Jaeger	Pdep	O		X	X	X	X	X	X	X	X	X	14, 21, 22, 23, 28, 29, 31, 41-47, 50- 59
<i>Papillaria nigrescens</i> (Sw. ex Hedw.) A. Jaeger	Pnig	F	X				X	X	X	X	X		4, 45, 51-55
<i>Pilotrichella flexilis</i> (Hedw.) Aongstr.	Pfle	O	X	X	X		X	X	X	X	X	X	1, 2, 3, 6-10, 13, 21, 25, 28, 30, 41-43, 46-47, 51- 53, 55-58
<i>Pireella pohlii</i> (Schwägr.) Cardot	Ppoh	F	X	X	X		X		X	X	X	X	2-7, 9, 25, 29, 35, 40, 55
<i>Pireella pycnothallodes</i> (Müll. Hal.) M. Fleisch.	Ppac	F			X	X	X		X		X	X	24, 25, 35, 43
<i>Prionodon densus</i> (Hedw.) Müll. Hal.	Pden	O	X	X					X	X	X		6, 8, 9, 17
<i>Pterobryon densum</i> Hornsch.	Ptde	F	X				X			X	X		1, 4, 7, 46, 47
<i>Pterobryopsis mexicana</i> (Renauld & Cardot) M. Fleisch.	Pmex	F	X	X			X		X	X	X		2, 4-7, 16, 17, 41
<i>Pylaisiadelpha sharpii</i> H.A. Crum	Psha	O		X					X				18
<i>Pylaisiadelpha tenuirostris</i> (Bruch & Schimp.) W. R. Buck	Pten	O		X	X	X			X	X	X		12, 15, 22, 25, 36
<i>Racopilum tomentosum</i> (Hedw.) Brid.	Rtom	F	X	X		X		X	X	X	X		5, 6, 14, 16, 17, 32, 57, 58

<i>Rauiella praelonga</i> (Schimp. ex Besch.) Wijk & Margad.	Rpra	F		X				X	X			13, 57
<i>Rhynchostegium serrulatum</i> (Hedw.) A. Jaeger	Rser	F	X	X	X	X	X		X	X		1, 10, 11, 20, 21, 26, 31, 32, 36, 37, 48
<i>Schlotheimia jamesonii</i> (Arnott) Brid.	Sjam	F		X		X	X	X	X	X	X	11-15, 41, 43, 44, 53, 54
<i>Schlotheimia rugifolia</i> (Hook.) Schwägr.	Srug	F		X				X		X		12, 19
<i>Sematophyllum adnatum</i> (Mx.) E. Britton	Sadh	F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11-15, 19-23, 27-31, 33, 34, 38, 40, 47, 49, 53, 54, 58
<i>Sematophyllum cuspidiferum</i> Mitt.	Scus	F	X	X	X			X	X	X		10, 20, 26, 29, 30
<i>Sematophyllum subpinnatum</i> (Brid.) E. Britton	Ssub	F	X	X	X	X	X	X	X	X	X	4, 11-13, 22, 27, 28, 30, 34, 36, 48, 50, 51, 58
<i>Sematophyllum swartzii</i> (Schwägr.) Welch & H.A. Crum	Sswa	F		X	X			X				19, 27
<i>Sphaerotheciella pachycarpa</i> (Schimp. ex Besch.) Manuel	Sppa	O		X		X		X	X	X		30, 42-47, 50
<i>Sphaerotheciella pinnata</i> (Schimp.) Manuel	Spin	O		X						X		24
<i>Squamidium leucotrichum</i> (Taylor) Broth.	Sleu	O	X							X		2
<i>Stereophyllum radiculosum</i> (Hook.) Mitt.	Stra	F		X		X			X			14, 33

<i>Streptopogon matudianus</i> H.A. Crum	Smat	O		X			X			26
<i>Syntrichia amphidiacea</i> (Müll. Hal.) R. H. Zander	Samp	F			X	X	X	X	X	41, 46, 47, 50, 52-54
<i>Syrrhopodon incompletus</i> Schwägr. var. <i>incompletus</i>	Sinc	F		X			X			39
<i>Syrrhopodon parasiticus</i> (Brid.) Besch.	Spar	O		X				X	X	13, 15, 19
<i>Syrrhopodon prolifer</i> Schwägr. var. <i>prolifer</i>	Spro	F	X		X		X			8, 32, 40
<i>Taxyphyllum taxirameum</i> (Mitt.) M. Fleisch.	Ttax	F	X	X	X	X	X			5, 6, 7, 26, 27, 31, 33, 35, 36, 47
<i>Thuidium delicatulum</i> (Hedw.) Schimp.	Tdel	F				X	X			50
<i>Thuidium tomentosum</i> Schimp.	Ttom	F	X	X	X		X	X	X	1, 3-8, 11, 32, 33, 35, 36, 39, 40
<i>Toloxis imponderosa</i> (Taylor) W.R. Buck	Amar	O	X				X	X	X	1, 2, 5, 6
<i>Tortella humilis</i>	Thum	F				X	X			55
<i>Tortella tortuosa</i> (Hedw.) Limpr.	Ttor	F	X	X	X		X	X	X	6, 12, 16, 20, 28, 56, 57
<i>Trichostomum brachydontium</i> Bruch	Tbra	F					X	X		57
<i>Trichostomum crispulum</i> Bruch	Tcri	F		X			X			13, 17
<i>Zelometeorium patulum</i> (Hedw.) Manuel	Zpat	O	X						X	9, 10