



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
BIOLOGÍA EVOLUTIVA Y SISTEMÁTICA

Predicción de la distribución geográfica de algunas plantas
vasculares características de los bosques mesófilos de
montaña de México con base en el modelaje de nichos ecológicos

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA:

Carlos Alberto Ruiz Jiménez

TUTORA: Dra. Mercedes Isolda Luna Vega
Facultad de Ciencias

COMITÉ TUTOR: Dr. Oswaldo Téllez Valdés
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

MÉXICO, D.F.

ABRIL, 2013.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/085/13

ASUNTO: Oficio de Jurado

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **3 de noviembre de 2012**, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **DOCTOR EN CIENCIAS** del (la) alumno (a) **RUIZ JIMÉNEZ CARLOS ALBERTO** con número de cuenta **86372873** con la tesis titulada: **“Predicción de la distribución geográfica de algunas plantas vasculares características de los bosques mesófilos de montaña de México con base en el modelaje de nichos ecológicos”**, realizada bajo la dirección del (la) **DRA. MERCEDES ISOLDA LUNA VEGA**:

Presidente:	DR. VICTOR MANUEL G. SÁNCHEZ-CORDERO DÁVILA
Vocal:	DR. JUAN JOSÉ MORRONE LUPI
Secretario:	DR. OSWALDO TELLEZ VALDÉS
Suplente:	DRA. MARTHA JUANA MARTÍNEZ GORDILLO
Suplente	DR. OCTAVIO RAFAEL ROJAS SOTO

De acuerdo con lo anterior, el(a) alumno(a) se acogió a la nueva normatividad, con base en el artículo QUINTO TRANSITORIO en apego a lo establecido en el Artículo 31 del Reglamento General de Estudios de Posgrado (9 octubre de 2006).

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
Cd. Universitaria, D.F. a 25 de febrero de 2013.

Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga
Coordinadora del Programa

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por haberme dado la oportunidad de cursar mis estudios de Doctorado en esta institución.

Este trabajo fue posible realizarlo gracias al apoyo económico de la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT registro 186230).

Agradezco a la Dra. Isolda Luna Vega por haber dirigido la presente Investigación.

A los integrantes de mi comité tutor: Dr. Oswaldo Téllez Valdés y Dr. Jorge López Blanco, quienes estuvieron involucrados en el desarrollo de esta investigación e hicieron valiosos comentarios y sugerencias para enriquecer este trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Agradezco a los integrantes de mi jurado: Dr. Víctor Sánchez-Cordero Dávila, Dr. Juan José Morrone Lupi, Dra. Martha Martínez Gordillo y Dr. Octavio Rafael Rojas Soto, quienes hicieron valiosos comentarios y sugerencias para enriquecer este trabajo.

Al Dr. Jorge López Blanco por haber sido miembro de mi comité tutor y asesorarme en diversos aspectos relacionados con los sistemas de información geográfica.

Al Herbario de la Facultad de Ciencias de la UNAM (FCME) donde desarrolle parte de esta investigación.

A la UNAM, especialmente a la Facultad de Ciencias por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura, maestría y doctorado, y promover mi desarrollo profesional tanto en trabajos de investigación como impartiendo clases en sus aulas.

Al CONACYT por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios y con la cuál pude solventar mi neurocirugía para drenar un hematoma subdural agudo, en el año 2005.

A mi hermano José Manuel por haberme apoyado con la impresión de esta tesis.

A todas las personas se involucraron y me apoyaron en el desarrollo de esta tesis.

A todos ellos y a las demás personas que haya omitido involuntariamente y que contribuyeron de alguna forma para la realización de este trabajo.

¡ ¡ GRACIAS...TOTALES ¡ ¡

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis lo dedico a:

*Mi esposa Dafne por tu apoyo incondicional en
todo momento.*

*Mi hija Vicky por ser parte esencial de esta
familia.*

*A Dios y a la vida, nuevamente por darme otra
oportunidad para seguir intentando cumplir mis
metas.*

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo general y particulares.....	7
2. Antecedentes.....	8
2.1. Áreas de distribución y nicho ecológico.....	8
2.2. Sistemas de modelación del nicho ecológico.....	17
2.2.1. Métodos cualitativos.....	17
2.2.2. Métodos cuantitativos.....	17
2.2.2.1. Modelos que requieren datos de presencia-ausencia.....	18
a) Domain.....	18
b) Árboles de clasificación y regresión (ACR – CART).....	18
2.2.2.2. Modelos que requieren datos de presencia.....	19
a) Regresión logística.....	19
b) Análisis de factores del nicho ecológico (ENFA).....	20
c) Modelo de coberturas bioclimáticas.....	21
1. BIOCLIM.....	21
2. FLORAMAP.....	22
3. DIVAGIS.....	22
2.2.3. GARP.....	23
2.2.3.1. Funcionamiento general dentro del programa.....	24
2.2.4. MaxEnt.....	27
2.2.5. Requerimientos de los modelos MaxEnt y GARP.....	29
2.2.6. Aplicaciones de GARP.....	32
2.2.7. Aplicaciones de MaxEnt.....	34
2.3. El bosque mesófilo de montaña.....	36

3. Métodos.....	40
3.1. Base de datos.....	40
3.2. Clasificación numérica y selección de las especies características del BMM.....	41
3.3. Datos de distribución de las especies.....	43
3.4. Mapas de distribución actual.....	44
3.5. Coberturas ambientales.....	44
3.6. Sistemas de modelación del nicho ecológico.....	46
4. Resultados.....	48
4.1. Clasificación numérica y selección de las especies características del BMM.....	48
4.2. Mapas de distribución geográfica actual.....	58
4.3. Mapas de distribución potencial.....	68
4.3.1. Grupo A1.....	69
4.3.2. Grupo A2.....	69
4.3.3. Grupo A3.....	88
4.3.4. Grupo B.....	88
4.3.5. Grupo C.....	91
4.3.6. Grupo D.....	91
4.3.7. Grupo E.....	95
4.3.8. Grupo F.....	95
4.3.9. Grupo G.....	96
4.3.10. Grupo H.....	96
4.3.11. Grupo I.....	102
4.3.12. Grupo J.....	102
4.3.13. Grupo K.....	103
4.3.14. Grupo L.....	103
4.3.15. Grupo M.....	109

5. Discusión.....	111
6. Conclusiones.....	130
7. Literatura citada.....	132
Apéndice 1. Ubicación de localidades con BMM en la República Mexicana.....	162
Apéndice 2. Especies del BMM para cada grupo identificado.....	172
Apéndice 3. Perfiles bioclimáticos de los grupos.....	178
Apéndice 4. Artículo publicado.....	182

LISTA DE FIGURAS

1. Relación entre área de distribución y nicho ecológico.....	12
2. Ubicación geográfica de diferentes localidades de BMM en México.....	49
3. Dendrograma de la similitud florística de los 83 OGUS de BMM mediante el índice de similitud de Sorensen (Bray-Curtis).....	50
4. Dendrograma de la similitud florística de los 83 OGUS de BMM mediante el índice de similitud de Jaccard (Bray-Curtis).....	51
5. Ubicación geográfica de los grupos y subgrupos florísticos.....	52
6. Dendrograma de la similitud Bioclimática de los grupos y subgrupos de BMM mediante la distancia euclidea.....	57
7. Ordenación mediante Análisis de Componentes Principales de los BMM de México.....	59
8. Distribución actual de <i>Liquidambar styraciflua</i> del grupo C.....	60
9. Distribución actual de <i>Magnolia schiedeana</i> del grupo H.....	60
10. Distribución geográfica actual de los grupos. a) A1, b) A2, c) A3, d) B, e) C , f) D, g) E , h) F, i) G, j) H, k) I, l) J, m) K, n) L, y o) M.....	61-68
11. Comparación de la distribución potencial actual del grupo A1. a) GARP, b) MaxEnt.....	70
12. Comparación de la distribución potencial actual del grupo A2. a) GARP, b) MaxEnt.....	71
13. Comparación de la distribución potencial actual del grupo A3. a) GARP, b) MaxEnt.....	72
14. Comparación de la distribución potencial actual del grupo B. a) GARP, b) MaxEnt.....	73
15. Comparación de la distribución potencial actual del grupo C. a) GARP, b) MaxEnt.....	74
16. Figura 16. Comparación de la distribución potencial actual del grupo D. a) GARP, b) MaxEnt.....	75
17. Comparación de la distribución potencial actual del grupo E. a) GARP, b) MaxEnt.....	76

18. Comparación de la distribución potencial actual del grupo F. a) GARP, b) MaxEnt.....	77
19. Comparación de la distribución potencial actual del grupo G. a) GARP, b) MaxEnt.....	78
20. Comparación de la distribución potencial actual del grupo H. a) GARP, b) MaxEnt.....	79
21. Comparación de la distribución potencial actual del grupo I. a) GARP, b) MaxEnt.....	80
22. Comparación de la distribución potencial actual del grupo J. a) GARP, b) MaxEnt.....	81
23. Comparación de la distribución potencial actual del grupo K. a) GARP, b) MaxEnt.....	82
24. Comparación de la distribución potencial actual del grupo L. a) GARP, b) MaxEnt.....	83
25. Comparación de la distribución potencial actual del grupo M. a) GARP, b) MaxEnt.....	84
26. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo A1. a) CCCMA A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.....	86
27. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo A2. a) HADCM3 A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.....	87
28. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo A3. a) CSIRO A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	89
29. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo B. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	90
30. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo C. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	93

31. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo D. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	94
32. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo E. a) CSIRO A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	98
33. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo F. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	99
34. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo G. a) HADCM3 A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.....	100
35. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo H. a) HADCM3 A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.....	101
36. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo I. a) HADCM3 A2 año 2050, b) CSIRO A2 año 2080.....	105
37. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo J. a) CCCMA A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.....	106
38. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo K. a) CCCMA A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.....	107
39. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo L. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	108
40. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo M. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.....	110

LISTA DE CUADROS

1. Fases que utiliza el algoritmo genético ARP en la modelación del nicho ecológico.....	25
2. Parámetros bioclimáticos utilizados por el programa BIOCLIM.....	43
3. Superficie potencial actual predicha de BMM (km ²) para cada grupo.....	69
4. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo A1 en los diferentes escenarios de cambio climático.....	85
5. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo A2 en los diferentes escenarios de cambio climático.....	85
6. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo A3 en los diferentes escenarios de cambio climático.....	88
7. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo B en los diferentes escenarios de cambio climático.....	91
8. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo C en los diferentes escenarios de cambio climático.....	92
9. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo D en los diferentes escenarios de cambio climático.....	92
10. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo E en los diferentes escenarios de cambio climático.....	95
11. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo F en los diferentes escenarios de cambio climático.....	96
12. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo G en los diferentes escenarios de cambio climático.....	97
13. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo H en los diferentes escenarios de cambio climático.....	97
14. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo I en los diferentes escenarios de cambio climático.....	102
15. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo J en los diferentes escenarios de cambio climático.....	103

16. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo K en los diferentes escenarios de cambio climático.....	104
17. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo L en los diferentes escenarios de cambio climático.....	104
18. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo M en los diferentes escenarios de cambio climático.....	109

RESUMEN

Se realizó un análisis de clasificación numérica para comparar las semejanzas florístico-geográficas-bioclimáticas del bosque mesófilo de montaña (BMM) de México. Con base en trabajos publicados de carácter florístico, de vegetación y sinecológicos se construyó una base de datos de la flora vascular del BMM; contiene 6453 especies, 1426 géneros y 213 familias. La matriz de presencia-absencia consta de 2856 especies (180 familias, 897 géneros) distribuidas en 83 localidades; se clasificó mediante un análisis de conglomerados utilizando índices de similitud, se agrupó con el método UPGMA y se construyeron dendrogramas. Con BIOCLIM se obtuvo el perfil bioclimático de cada grupo, el promedio de las variables se empleó para generar una matriz que se clasificó como la anterior. Se evaluó la importancia de las variables bioclimáticas mediante un análisis de ordenación por componentes principales. Los grupos florísticamente similares se ajustan a las provincias florísticas de México y los perfiles bioclimáticos respaldan dichas agrupaciones. Por sus características bioclimáticas los BMM se agrupan en tres conjuntos de localidades. Se sustenta que las localidades geográficamente más cercanas presentan mayor similitud florística. Conforme se genera más información sobre el BMM de México se refuerzan las hipótesis de relación entre las provincias florísticas. Con los sistemas modeladores del nicho ecológico (SMNE) GARP y MaxEnt se elaboraron los mapas de distribución potencial actual y con diferentes escenarios de cambio climático de las especies seleccionadas; se conjuntaron las especies de cada grupo para estimar la respuesta general del BMM ante el cambio climático. De manera general el BMM presenta una disminución de su superficie en los diferentes escenarios de cambio climático; en promedio para el año 2020 las superficies disminuyen 18.5%, presentando un intervalo de pérdida que va de entre el 13.9% a 30.3%; para el año 2050 el promedio de pérdida es de 34.3% con un intervalo de entre el 22.1% y el 46.7%; para el año 2080 el promedio de pérdida es del 54.6% con un intervalo entre el 34.4% y 75.3%. Es urgente divulgar la información sobre el riesgo de este tipo de vegetación ante el cambio climático global y el cambio de uso de suelo; es necesario incrementar las acciones de conservación encaminadas a la protección y restauración ecológica de esta comunidad vegetal, orientadas hacia el manejo sustentable del BMM de México.

ABSTRACT

A numerical classification analysis was made to compare the floristic-geographic-bioclimatic resemblance among Mexico's Cloud Forest (MCF). A MCF vascular flora database was made based on floristics, vegetation and sinecological published work; which contains 6453 species, 1426 genera and 213 families. The presence-absence matrix consists of 2856 species (180 families and 897 genera) scattered through 83 localities; this was rated by means of a conglomerate analysis using the similarity indexes this was put together using the UPGMA method; dendrograms were also made. The bioclimatic profile of each group was obtained using BIOCLIM, the variable average was used to generate a matrix which was rated like the previous one. Based on the order analysis the importance of bioclimatic variables was evaluated through its main component. The floristical similar groups match Mexico's floristic provinces and bioclimatic profiles which back up such groupings. Based on their bioclimatic features the MCF are rated on three groups of localities. It has been noticed that the closer localities are geographically they exhibit greater floristic similarities. Based on the research of the MCF relationships among floristic provinces we reach stronger hypothesis. The current distributional maps and the climatic change scenarios of selected species were made from the species distribution models (SDMs) GARP and MaxEnt, species were pooled from each group to estimate the overall response to climatic change of BMM. Generally the BMM presents a decrease of its surface in the different scenarios of climate change on average for 2020 decreased 18.5% surfaces, showing a loss range ranging from 13.9% to 30.3%, for the year 2050 is the average loss of 34.3% with a range between 22.1% and 46.7%, for the year 2080 is the average loss of 54.6% with a range between 34.4% and 75.3%. It's necessary to disclose information about the risk of this community versus the climatic and land use change, it is necessary to increase conservation actions aimed at the protection and ecological restoration of this vegetation type oriented sustainable management of BMM of México.

1. INTRODUCCIÓN

Según Mittermeier y Mittermeier (1992), México posee entre 8 y 12% del total de las especies del planeta; debido a esta biodiversidad, la parte sur de su territorio está considerada dentro de los siete principales “hotspots” o sitios de megadiversidad del mundo (Mittermeier, 1988; Ramamoorthy *et al.*, 1993; Contreras-Medina *et al.*, 2001; Brooks *et al.*, 2002; CONABIO, 2006). En las últimas décadas, la diversidad biológica del país ha estado amenazada seriamente por el incremento en el ritmo de destrucción de los ecosistemas, llegando a una tasa de deforestación anual del 5%, debido principalmente al uso irracional de los recursos, como consecuencia de problemas de tipo económico, político y social, que provocan no sólo la pérdida de la biodiversidad, sino también el incremento en la probabilidad de ocurrencia de serios desequilibrios ecológicos (Rzedowski, 1978; Toledo *et al.*, 1989; Flores y Gerez, 1994; CBD, 2002).

Actualmente, la desaparición de poblaciones y especies debida a las perturbaciones provocadas por actividades humanas, constituye uno de los conflictos ambientales más graves que debe enfrentar la humanidad. La pérdida de la biodiversidad es irrecuperable y limita las opciones de un uso sustentable de los recursos naturales, así como su manejo adecuado, provocando la disminución de los servicios ecológicos que la diversidad brinda (Lobo, 2000; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001). La diversidad biológica de México está en riesgo y el rezago en la documentación de su riqueza es considerable (Villaseñor, 2003).

Ante este panorama, se deben de plantear estrategias de conservación para evitar o frenar la pérdida de la biodiversidad; necesariamente se debe avanzar en el conocimiento de la biodiversidad, conocer la distribución geográfica actual de los organismos y las estrategias que se deben seguir para su conservación (Sánchez-Cordero *et al.*, 2001).

Las estrategias para resolver la crisis de la biodiversidad no son sencillas y para México se han empleado acciones de diferente índole; por ejemplo, la designación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) dentro de una política global de conservación (IUCN-WWF-PNUMA, 1980; SEDUE, 1989), el uso de tecnologías que permiten realizar diagnósticos del estado actual de los recursos naturales de manera rápida y confiable en las ANP y en las áreas que se han identificado como prioritarias para la conservación (mediante el uso de la Percepción Remota en los sistemas de información geográfica, tratando de establecer nuevas estrategias de aproximación en la que se fusionen y enlacen disciplinas como la sistemática, biogeografía y ecología (Lobo, 2000). Simultáneamente se debe comenzar o seguir realizando inventarios biológicos (florísticos y faunísticos, entre otros), en diversas regiones del país, tratando de evitar los sesgos que hasta el momento se han tenido, así como completar los inventarios de grupos escasamente recolectados en la mayoría de las localidades (Peterson *et al.*, 1998; Peterson y Veglais, 2001).

Recientemente han ocurrido cambios importantes en ciencias como la ecología, la biogeografía y en gran parte de la biología de la conservación, debido a la creación y mayor disponibilidad de tecnologías que permiten llevar a cabo el análisis espacial de información biológica de una manera más eficiente. El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha abierto caminos inexistentes en el pasado para realizar estudios biogeográficos, autoecológicos y ecosistémicos que permitan un mejor entendimiento de la relación espacial entre los organismos o sus poblaciones con los diferentes componentes ambientales, en este sentido, se ha incrementado el interés de modelar y determinar la distribución geográfica potencial de las especies, a partir de la información contenida en las etiquetas de los especímenes recolectados y depositados en las colecciones científicas, con los siguientes objetivos primordiales: a) identificación de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad (Godow y Peterson, 2000), b) ubicación de zonas con ausencia de inventarios biológicos, c) conocer la biodiversidad de un taxón en áreas insuficientemente colectadas, d) visualizar y analizar patrones de distribución de las especies, y e) manejo de especies de importancia económica

(Sánchez-Cordero y Martínez-Meyer, 2000; Peterson y Vieglais, 2001), entre muchas otros.

La información primaria para generar el conocimiento de la diversidad biológica y de su distribución geográfica se encuentra en las colecciones científicas (museos, herbarios) (Stockwell y Peters, 1999; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001); existen aproximadamente tres mil millones de ejemplares depositados en los museos de historia natural en el mundo, entre el 5 y el 10% de ellos han sido capturados electrónicamente (150 a 300 millones de registros) y solo 80 millones de éstos están disponibles por medio de la internet (Word, Wide Web) u otros medios electrónicos (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2003). En los últimos años ha ocurrido un cambio importante en el desarrollo de tecnologías y protocolos para realizar la búsqueda de información confiable y rápida por vía electrónica en las bases de datos de las colecciones científicas, el acceso a las bases de datos permitirá la integración y avance en la calidad y potencialidad de análisis del conocimiento de la biodiversidad (Vieglais *et al.*, 2000).

El desarrollo de técnicas estadísticas y nuevas herramientas en los SIG, ha favorecido la generación de diversos modelos que identifican áreas o nichos ecológicos, prediciendo la distribución geográfica potencial de las especies, a partir de datos puntuales provenientes de las localidades de colecta de ejemplares biológicos; la mayoría de los modelos se basan en funciones predictivas que utilizan, principalmente variables medioambientales (Peterson y Cohoon, 1999; Lobo, 2000).

En México, los sistemas modeladores más utilizados en la predicción de la distribución geográfica de las especies han sido el sistema GARP (Algoritmo Genético para la Predicción de Conjuntos de Reglas, por sus siglas en inglés, Stockwell y Peters, 1999), el sistema de modelaje bioclimático BIOCLIM (Nix, 1986; Lindenmayer *et al.*, 1991) y recientemente el sistema de máxima entropía MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006).

El sistema de modelación GARP ha sido el más utilizado en el país, en estudios faunísticos con fines biogeográficos y de conservación, principalmente para aves y mamíferos. Este sistema utiliza un algoritmo genético, que fue desarrollado en la década de los setentas por J. Holland, y está basado en modelos de cambio genético a nivel poblacional (De Jong, 1988). El sistema de máxima entropía MaxEnt se ha empleado principalmente en estudios de distribución y conservación de especies animales y vegetales. MaxEnt busca la distribución de probabilidades más uniforme y probable (máxima entropía) considerando restricciones en la información (datos incompletos).

Ambos sistemas (GARP y MaxEnt) pueden modelar los nichos ecológicos de las especies, para predecir su distribución en diferentes escenarios a través del tiempo; distribución actual, distribución con los efectos del cambio climático global, y en el pasado geológico reciente. Algunos estudios en los que se han aplicado estos tres tipos de modelación para GARP son: la predicción de la distribución de fauna mexicana (*v. gr.* aves, mamíferos y mariposas) en un escenario de cambio climático para mediados del presente siglo (Peterson *et al.*, 2002), y la modelación de la distribución potencial de especies de mamíferos de América del Norte, durante el periodo comprendido entre la última época máxima glacial (*ca.* hace 18,000 años) y la actualidad (Martínez-Meyer *et al.*, 2002).

En estos sistemas, el nicho ecológico de una especie está definido a partir de los límites de la distribución geográfica de la misma, tomando como parte principal de la definición al componente geográfico y posteriormente la descripción biológica y ecológica de la región que habitan. La capacidad de los sistemas de trabajar con diferentes temporalidades está dada por la posibilidad de activar capas temáticas de información de escenarios futuros o pasados en el análisis (por ejemplo, mapas de temperatura promedio anual, precipitación promedio anual, pendiente, orientación de laderas, altitudes, tipos de vegetación, entre otros); para el caso de los escenarios climáticos, se modelan los cambios ambientales y después se aplican los modelos a las capas temáticas transformadas y se identifican las áreas de distribución potencial (Peterson *et al.*, 2002). En la mayoría de los casos, antes de aplicar el modelo de distribución

potencial, se deben realizar operaciones dentro de un sistema de información geográfica para aumentar la precisión (resolución espacial) de las capas temáticas transformadas (cuando éstas provienen de modelos globales), por ejemplo: los mapas de temperatura media anual, que son resultado de modelar un escenario de cambio climático, se deben de interpolar para aumentar su resolución.

Es bien sabido que el cambio climático global amenaza a todas las comunidades vegetales del planeta, a través de cambios en la temperatura, precipitación y nubosidad, que traen como consecuencia el incremento de la temperatura, la ocurrencia de huracanes, la presencia y duración de las sequías y la intensidad de lluvias fuertes, entre otras (Foster, 2001).

En México, al igual que en Mesoamérica, el tipo de vegetación más estrechamente relacionado con los ciclos regulares de formación de nubes es el bosque mesófilo de montaña *sensu* Rzedowski (1978); esta formación vegetal se desarrolla principalmente en las montañas mexicanas, en una franja altitudinal angosta y de posición variable, caracterizada por la cobertura persistente o estacional de nubes y neblina. La nubosidad existente puede deberse a patrones climáticos a gran escala o a procesos orográficos y de convección (Brown y Kappelle, 2001; Hamilton, 2001; Villaseñor, 2010).

Uno de los efectos más importantes de la frecuente cubierta de nubes es el depósito de gotas de lluvia, que entran en contacto con el suelo y superficies de la vegetación (precipitación horizontal) (Still *et al.*, 1999). En la temporada seca, el total de la precipitación horizontal es mayor que el total de los eventos de precipitación vertical, ya que estos bosques captan la humedad, proveyendo de un control del flujo y erosión en la temporada de lluvias y almacenando agua en la temporada seca.

El bosque mesófilo de montaña (BMM) es uno de los tipos de vegetación más frágiles y amenazados por el cambio climático global (Van Der Hammen, 1995; Foster, 2001); se ha estimado que las consecuencias futuras sobre esta comunidad serían: el cambio en la altura de la zona de formación de nubes, la

fragmentación, la mezcla con especies de bajas altitudes, el reemplazamiento por tipos de vegetación de bajas altitudes, el desplazamiento del BMM hacia altitudes mayores, y en algunos casos la desaparición local de este tipo de vegetación (Foster, 2001; Villers y Trejo, 1998, 1999, 2010).

En el país, las zonas donde se distribuye este tipo de vegetación presentan muy variadas características altitudinales, edáficas y climáticas, las que a su vez interactúan con características locales, como la orientación, la pendiente, la altitud, la latitud, la nubosidad y la humedad del aire y del suelo. Todos estos factores actúan sobre la vegetación, provocando una gran variabilidad florística, fisonómica y estructural de la misma. Su distribución se limita a zonas montañosas de topografía abrupta y pendientes pronunciadas, en particular a cañadas y zonas protegidas de la insolación y los vientos, por lo cual su distribución es fragmentaria y está restringida a menos del 1% del área del país (Rzedowski, 1991; Luna *et al.*, 2001). La evidencia palinológica y paleoclimática sugiere que la distribución del BMM era más extensa en el pasado, y que se ha reducido y fragmentado debido a los cambios climáticos del Pleistoceno (Graham, 1975). Debido a su origen antiguo y distribución archipelágica, el BMM es uno de los tipos de vegetación mexicanos con mayor diversidad biológica, y muchos de sus taxones característicos o diagnósticos se encuentran enlistados en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) dentro de alguna categoría de riesgo (Luna *et al.*, 2006); dicha biodiversidad está seriamente amenazada, debido a la tala y agricultura extensiva, que aceleran su fragmentación y están provocando su desaparición (Vogelman, 1973; Luna *et al.*, 2001).

Dentro de este contexto y con el fin de contribuir al conocimiento sobre la distribución potencial de este tipo de vegetación en el país, así como sobre el efecto del calentamiento global en él, se plantearon los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo General y particulares.

Obtener el modelo de distribución general del bosque mesófilo de montaña de México actual y con diferentes escenarios de cambio climático global, mediante el uso de los modelos predictivos GARP y MaxEnt, a partir de la realización de los modelos de distribución de algunas especies de géneros de plantas vasculares características.

Para realizar lo antes mencionado, el estudio se dividió en varias etapas encaminadas a cubrir los siguientes objetivos particulares:

- a) Analizar las localidades de BMM de México, utilizando métodos de clasificación, mediante semejanzas florísticas y de variables ambientales (bioclimáticas) y seleccionar sus especies características.
- b) Elaborar los mapas del área de distribución geográfica actual de los grupos obtenidos, con base en las especies características de este tipo de vegetación, mediante las localidades de colecta y mapas digitales de uso de suelo y vegetación (Inventario Nacional Forestal).
- c) Modelar los mapas de distribución potencial para los grupos de BMM por medio de los sistemas GARP y MaxEnt, de las especies seleccionadas.
- d) Modelar los mapas de distribución potencial para los grupos de BMM en escenarios de cambio climático global para los años 2020, 2050 y 2080, con base en los modelos de distribución de las especies seleccionadas.

2. ANTECEDENTES

2.1 Áreas de distribución y nicho ecológico

El objetivo principal de la biogeografía es la descripción y el análisis, en términos causales, de la distribución actual e histórica de los seres vivos; el elemento básico de todo estudio biogeográfico es el área de distribución de las especies, es decir “*aquella fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en forma constante con el ecosistema*” (Zunino y Zullini, 2003). Desde el punto de vista biogeográfico, la distribución geográfica de una especie está definida por el conjunto de localidades donde ésta ha sido registrada, ya sea mediante la recolecta de especímenes o la observación. El área de distribución geográfica resulta de inferir cuál es el área con mayor probabilidad para que una determinada especie esté presente (Espinosa *et al.*, 2001).

Operacionalmente, los métodos empleados para determinar el área de distribución de las especies han sido diversos, desde métodos simples hasta métodos cuantitativos; los métodos más simples son los métodos areográficos (Rappoport, 1975; Rapoport y Monjeau, 2001), que consisten en delimitar el contorno del área de distribución con el uso de polígonos (sobre un mapa), que incluyan el conjunto de las localidades donde los individuos de la especie han sido colectados. Los criterios para trazar el área pueden variar dependiendo de las preferencias del investigador (*e.g.* círculo mínimo, del radio medio a partir del centro geométrico, polígono convexo mínimo). Otro método práctico es el propuesto por investigadores británicos quienes diseñaron el método de la celda, que consiste en sobreponer una rejilla con un tamaño de celda arbitrario, al mapa con la nube de puntos de las localidades de colecta de la especie, para asignar la superficie de la celda a cada punto. El método de la propincuidad media (Rapoport y Monjeau, 2001), está basado en el concepto del vecino más cercano y en la teoría de trazos; recientemente, el área geográfica obtenida por este método se ha

ajustado con ayuda de la información de la biología de la especie, *e.g.* requerimientos de cierto tipo clima o vegetación, para obtener resultados más precisos.

En la biogeografía, ecología y sistemática, uno de los temas centrales de estudio es la identificación de los factores causales, bióticos y abióticos que determinan la distribución de las especies. En la práctica, el principal problema al que se enfrentan estas disciplinas es la delimitación de los contornos de área de distribución (Sánchez-Cordero *et al.*, 2001). Los métodos cuantitativos comprenden diferentes técnicas para delimitar el área de distribución geográfica de las especies; éstos frecuentemente se han auxiliado de la modelación en la distribución del nicho fundamental (NF), como una forma intermedia para conocer y delimitar su extensión (Soberón y Peterson, 2005).

Históricamente, en la ecología y en biología evolutiva, el nicho ecológico (NE) de las especies, ha sido definido de diversas formas y bajo diferentes enfoques. Los primeros trabajos sobre el tema solamente mencionan o hacen referencia a sus características; posteriormente se presentan dos tendencias en su definición, una relacionada con el hábitat necesario para la sobrevivencia de las especies, y otra que se refiere al papel o impacto de las especies en las comunidades. Grinnell (1917) define al NE como el “conjunto de condiciones ambientales donde las especies pueden mantener sus poblaciones sin inmigración”, Elton (1927) basa su definición en el papel de la especie dentro de la cadena trófica, postulando que “el nicho de un animal implica su lugar en un ambiente biológico, con relación a sus alimentos y predadores.

Posteriormente Hutchinson (1944), menciona que el término nicho se define como la suma de todos los factores ambientales que actúan sobre el organismo; el nicho de esta manera se define como una región de un hiper-espacio n-dimensional”. Más tarde, Hutchinson (1957) realiza modificaciones en su definición transformando el “hiper-espacio n-dimensional” en un “hipervolumen n-dimensional”, y añade que la cantidad de cada factor limitante que un organismo requiere para existir puede ser graficada en un hipervolumen o espacio de n

dimensiones; también define que el nicho fundamental (NF) de las especies comprende “todos los aspectos del hipervolumen de n dimensiones, en la ausencia de otras especies” y el nicho realizado (NR) es “parte del NF en el cuál las especies, están restringidas debido a las interacciones específicas”, es decir la superficie actual ocupada en donde se presentan las interacciones con otras especies que es el que se puede observar en la naturaleza (Chase y Leibold, 2003; Soberón y Peterson, 2005). MacArthur (1972) propuso que el NE es un espacio ecológico multidimensional en el que se deben considerar otros factores como la depredación, variabilidad ambiental y la competencia, entre otros; posteriormente el auge de los estudios del NE decayó y actualmente la Ecología enfoca la mayoría de su investigación en fenómenos de escalas locales. El último concepto que se ha formulado, corresponde al de Chase y Leibold (2003), quienes mencionan que “el nicho de una especie es la descripción conjunta de las condiciones ambientales que permiten a las especies satisfacer sus requerimientos mínimos, de tal manera que la tasa de natalidad de una población local es igual o mayor a su tasa de mortalidad, junto con un grupo de impactos *per capita* para la especie en esas condiciones ambientales”.

La naturaleza es muy compleja y heterogénea para poder predecirse con exactitud en el tiempo y el espacio; sin embargo, en la ecología, durante las últimas dos décadas, con el diseño de técnicas estadísticas y herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), se han desarrollado rápidamente los modelos predictivos de modelación del hábitat, que estadísticamente relacionan la distribución de las especies o comunidades con su ambiente actual (Guisan y Zimmermann, 2000).

La base de estos modelos es la cuantificación de las relaciones entre las especies y su ambiente, a partir de datos de ocurrencia (localidades de colecta) y elementos del paisaje se ha estimado la extensión del NF o nicho ecológico fundamental (NEF) de las especies (Guisan y Zimmermann, 2000; Engler *et al.*, 2004). La modelación del NF puede ser de tipo ecofisiológico (mecanicista) o de tipo correlativo; el primero toma en cuenta la realidad y generalidad; implica mediciones directas o el modelado de las respuestas de los individuos a los

parámetros físicos (*e.g.* temperatura y humedad). El NF se infiere a partir de los valores del estado físico (salud), de diversas combinaciones de variables físicas para su despliegue en un SIG (Guisan y Zimmermann, 2000). La segunda forma denominada método correlativo, se basa en la relación de datos de ocurrencia de las especies y conjuntos de variables ambientales (*e.g.* climáticas, topográficas, edáficas, ecológicas), por medio de algoritmos que extrapolan las asociaciones para identificar áreas de predicción de la presencia del NF en un mapa. Ambos tipos de métodos presentan inconvenientes: el ecofisiológico no toma en cuenta las interacciones bióticas y el método correlativo se basa en observaciones que incluyen los efectos de las interacciones biológicas.

Los dos métodos se deben evaluar con cuidado antes de interpretar sus resultados (Soberón y Peterson, 2005). La elección del sistema de modelación depende de la disponibilidad del tipo de datos requeridos; en el caso de los métodos mecanicistas, depende del amplio conocimiento de la biología de la especie y específicamente de sus tolerancias eco-fisiológicas, registradas en campo. Los métodos correlativos son más fáciles de implementar y requieren menor inversión de tiempo y de conocimiento de la biología de la especie (Robertson *et al.*, 2003).

Para entender los resultados obtenidos a partir de los modelos del nicho ecológico de las especies, es necesario comprender diversos aspectos; primero, en este proceso están involucrados los espacios geográfico y ecológico. Durante el modelaje se interacciona entre ambos espacios: a partir de un espacio geográfico, representado por los puntos de recolecta de las localidades en la que las especie ha sido registrada, se pasa al espacio ecológico dentro del sistema de modelación, en donde se determinan las relaciones entre los puntos de recolecta y las diferentes variables (*e.g.* temperatura y precipitación); posteriormente, los resultados se proyectan en un espacio geográfico para predecir su área de distribución. Además, se debe tener claro que el área de distribución de una especie es el resultado de una compleja relación entre su ecología e historia evolutiva y está determinada por factores que interactúan con diferentes

intensidades y a diferentes escalas (Soberón y Peterson, 2005). Estos factores son los siguientes:

- 1) Condiciones abióticas (imponen límites fisiológicos a las especies y determinan su capacidad para persistir en un área).
- 2) Factores bióticos (interacciones con otras especies, modifican la capacidad de la especie para mantener sus poblaciones).
- 3) Las regiones accesibles para la dispersión de la especie, que se encuentran cercanas al área original.
- 4) La capacidad evolutiva de las poblaciones de adaptarse a nuevas condiciones.

La presencia de una especie en un lugar determinado, se debe a que en éste se cumplen las siguientes condiciones (Pullinam, 2000; Soberón y Peterson, 2005):

- a) Condiciones abióticas favorables (figura 1, región A).
- b) Presencia de un conjunto de especies (e.g. polinizadores, dispersores de semillas, etc.) y ausencia de otras (e.g. fuertes competidores, predadores, etc.) (figura 1, región B).
- c) Área que puede alcanzar la especie a partir de su área de establecimiento en un tiempo ecológico (figura 1, región M), sin tomar en cuenta limitaciones de dispersión.

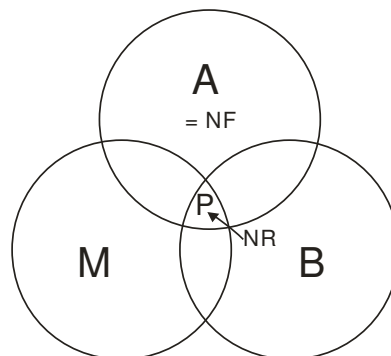


Figura 1. Relación entre área de distribución y nicho ecológico

A= Condiciones abióticas, B= Condiciones bióticas, M= Áreas accesibles para la especie, NF= Nicho fundamental, NR= Nicho realizado, P= Área de distribución actual. Tomado de Soberón y Peterson (2005).

La región A representa la expresión geográfica del nicho fundamental (NF) de las especies (Hutchinson, 1957); la región B corresponde al área en donde se presentan las relaciones interespecíficas necesarias para la presencia de la especie; la intersección de las regiones A y B corresponde a la expresión del nicho realizado (NR) de las especies (Hutchinson, 1957) y se puede considerar como la distribución potencial de las especies; la región M representa la región del mundo accesible para las especies desde su origen (o por vía antropogénica u otros medios de introducción). De acuerdo con Soberón y Peterson (2005) las poblaciones estables de las especies solo pueden encontrarse en la intersección de las tres regiones ($A \cap B \cap M$) que denominan P y corresponde a la distribución geográfica de las especies, zona en donde se presentan las condiciones abióticas y bióticas óptimas accesibles a las capacidades de dispersión de las especies. En la figura 1 se puede observar que existe una relación anidada de las expresiones geográficas del NF, NR y el área de distribución (Soberón y Peterson, 2005).

Para la interpretación de los resultados de los sistemas de modelación que utilizan algoritmos que relacionan la presencia de la especie con coberturas ambientales, se debe de tomar en cuenta lo siguiente: si los datos de ocurrencia se obtuvieron de las poblaciones, entonces provienen de P, que es un subconjunto de A; las coberturas que se utilizaron en la modelación son de tipo abiótico (no se utilizaron variables bióticas – B). Sin embargo el algoritmo busca regiones parecidas en el mapa (en términos abióticos) que los puntos de ocurrencia determinan por una mezcla de factores bióticos y abióticos (Soberón y Peterson, 2005). Los datos de ocurrencia también pueden provenir de M, fuera de la intersección A y B (es decir el NR) y la interpretación de los resultados del modelaje debe de ser cuidadosa. Ejemplos de estos casos son los siguientes: 1) Si las tres regiones se sobreponen completamente, entonces el NF y el NR son aproximadamente equivalentes y M esta ocupado completamente, P corresponde al área de sobreposición, los resultados del modelo se interpretan como cualquier manifestación del nicho (NF, NR, distribución actual). 2) Si las regiones A y M se sobreponen casi completamente (debido a una pequeña extensión o a una buena capacidad de dispersión), y B solo se sobrepone en una porción con A y M, el NF es más grande que el área de distribución P, el NF se presenta en áreas en donde

las interacciones positivas se están perdiendo o donde las interacciones negativas se presentan extensivamente. 3) Si las regiones A y B se sobreponen casi por completo (NF e interacciones apropiadas), la región M se sobrepone sólo en una pequeña parte con A y B (debido a la capacidad de dispersión de las especies, una compleja geografía, aislamiento poblacional), el NF es más grande que el área de distribución actual (Soberón y Peterson, 2005).

Se han emitido diversas interpretaciones sobre los resultados obtenidos con diferentes sistemas de modelación del nicho ecológico. Por ejemplo, Peterson *et al.* (2001) y Soberón y Peterson (2005) opinan que la mayoría de los sistemas de modelación que utilizan coberturas climáticas, estiman el NF de las especies, si se asume que los datos de ocurrencia de la especie están bien colectados (*e.g.* a un nivel de provincias biogeográficas), entonces el NF obtenido se puede delimitar a las zonas de intersección con las provincias biogeográficas, en las que la especie se ha registrado y obtener el área de distribución; añaden que de manera similar se pueden utilizar otras características geográficas, como cuencas, drenaje o ecoregiones. Guisan y Zimmerman (2000) postulan que los modelos ecofisiológicos (mecanicistas), estiman el NF sin tomar en cuenta B y mediante reglas de conducta competitiva de las especies se estima el NR, de la misma forma, los modelos predictivos estáticos (empíricos) basados en datos de campo estiman el NR. Martínez-Meyer (2005), propone que los sistemas de modelación estiman el NR en un espacio ecológico y la manifestación geográfica del NR puede o no estar ocupada por las especies. Peterson (1999) propone que examinando la distribución de una especie a lo largo de toda su distribución geográfica, se pueden observar todas sus posibilidades de distribución en diferentes comunidades y ensamblar una aproximación del nicho ecológico fundamental de la especie (NF).

Farber y Kadmon (2003), mencionan que los sistemas de modelación del NE basados en coberturas bioclimáticas predicen el nicho climático de las especies (NC), mismo que no se debe de confundir con el NF, que comprende las combinaciones climáticas que la especie puede tolerar en un espacio multidimensional. También refieren que el nicho potencial es una parte del NF

porque las observaciones con las que el modelo se construyó no cubren la extensión climática de las especies, debido quizá, a que la especie no se colectó en zonas con ciertas combinaciones climáticas o porque la distribución es mayor a la zona de estudio. Agregan que el nicho climático potencial no se debe confundir con el NR, que normalmente es más pequeño, debido a diversas limitaciones (*e.g.* dispersión, competencia, microhábitat, etc). Conceptualmente, el nicho climático potencial puede ser interpretado como la interpolación de los datos de presencia, distribuidos en alguna región entre el NF y el NR.

En las últimas dos décadas se han desarrollado una gran cantidad de técnicas matemáticas para estimar la extensión del NE (estimado como su distribución potencial), a partir de datos de ocurrencia (localidades de colecta) y coberturas ambientales (Guisan y Zimmermann, 2000; Engler *et al.*, 2004). El primer intento de modelaje del nicho ecológico (MNE), se fundamentó en la relación estrecha entre las especies y el clima, con base en coberturas bioclimáticas o nicho climático, y fue implementado en el algoritmo BIOCLIM (Nix, 1986), el cuál define, con base en parámetros climatológicos, el perfil bioclimático en el que se desarrolla la especie. Posteriormente, se utilizaron métodos estadísticos uni o multivariados, como la regresión logística y el análisis de la función discriminante. Específicamente, las regresiones logísticas y modelos lineales de regresión (Austin *et al.*, 1990) predicen con diferentes probabilidades de ocurrencia, la presencia del taxón en el espacio geográfico. Otra metodología propuesta para predecir la distribución de las especies, fue mediante el análisis de discrepancias, denominado *GAP Analysis* (Scott *et al.*, 1996; Scott y Csuti, 1997), que en un SIG delimita el área de distribución con las localidades marginales y la restringe con el hábitat (o tipo de vegetación) en el que se distribuye la especie. El MNE se desarrolló notablemente con ayuda del avance computacional, aplicando los denominados “algoritmos genéticos” (una forma de inteligencia o aprendizaje artificial), surgiendo de esta forma el sistema de modelación denominado Algoritmo Genético para la Predicción de Conjuntos de Reglas (GARP, por sus siglas en inglés de Genetic Algorithm for Rule-set Prediction), que relaciona las características ecológicas con los puntos de ocurrencia, y genera una lista de reglas condicionales que predicen la presencia o

la ausencia de la especie (Stockwell y Noble, 1992; Stockwell, 1999; Stockwell y Peters, 1999).

Las técnicas estadísticas empleadas por los diferentes sistemas de modelación, comprenden diversos métodos, que de acuerdo con Guisan y Zimmermann (2000), se clasifican en:

- 1) Regresiones generalizadas (e.g. Mínimos Cuadrados, Modelos Lineales Generalizados, Modelos Aditivos Generalizados),
- 2) Técnicas de Clasificación (e.g. Árboles de Regresión y Clasificación, Clasificación basada en Reglas, Clasificación por Máxima Verosimilitud),
- 3) Coberturas ambientales (e.g. Coberturas climáticas con relaciones rectilíneas o convexas, Medición de Distancias Multivariadas),
- 4) Técnicas de Ordenación (e.g. Análisis Canónico de Correspondencia, Análisis de Redundancia),
- 5) Métodos Bayesianos,
- 6) Redes Neuronales (Redes Artificiales Neuronales),
- 7) Otros métodos (métodos desarrollados en un SIG que utilizan variables ambientales y e.g. Operaciones Boleanas, Análisis de la Función Discriminante, Análisis Ecológico del Factor Nicho, Programación Dinámica).

En la clasificación anterior, es necesario mencionar la ausencia de los algoritmos genéticos como una forma de inteligencia o aprendizaje artificial.

Los sistemas de modelación correlativa se pueden dividir en dos grandes grupos, dependiendo de sus requerimientos en relación con los registros puntuales de las especies, los basados en datos de *presencia* y los basados en datos de *presencia-ausencia*. Dentro de los primeros tenemos a los modelos de coberturas bioclimáticas, DOMAIN, ENFA-Biomapper y MaxEnt, entre otros; entre los segundos, clasificados como técnicas de discriminación, se encuentra la regresión logística, los modelos lineales generalizados, modelos aditivos generalizados y árboles de regresión y clasificación. Existen pocas regiones del planeta bien estudiadas para asegurar que los datos de ausencias son reales y no son por falta de información. Por lo anterior algunos de los sistemas de

modelación crean pseudoausencias en el proceso que se deben de generar cuidadosamente sobre una hipótesis de la región y las especies a modelar (Soberón y Peterson, 2005).

2.2 Sistemas de modelación del nicho ecológico

2.2.1 Métodos cualitativos

El análisis de discrepancias, denominado *GAP Analysis*, es un método cualitativo que se basa en el supuesto de que la especie se distribuye exclusivamente en determinados hábitats o tipos de vegetación y considera que el área de distribución de una especie está delimitada por las localidades marginales de colecta, donde la especie se ha registrado. En un SIG se sobrepone a las localidades un mapa del hábitat, que cubra la totalidad del área de distribución de la especie, para determinar un modelo de correspondencia entre la distribución y el hábitat, en función de las preferencias de hábitat que presente la especie. En el mapa final se eliminan todos los hábitats no adecuados para la especie y se asume que en ellos no está presente (Scott *et al.*, 1996; Scott y Csuti, 1997; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001).

Ventajas: Fácil y rápido de realizar.

Desventajas: Sobreestima el área de distribución, no brinda una precisión predictiva del mapa base, no considera los efectos del clima en la distribución de la especie, presupone una correspondencia directa entre el hábitat y la distribución de la especie (Scott *et al.*, 1996; Scott y Csuti, 1997; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001).

2.2.2 Métodos cuantitativos

Incluyen técnicas que utilizan estadística uni y multivariada, como la regresión logística y el análisis de la función discriminante; los modelos suponen una relación lineal entre las variables ambientales que definen la presencia o

ausencia de la especie; predicen adecuadamente la presencia de la especie si se cuenta con un buen tamaño de muestra, repartido homogéneamente en el área de estudio.

2.2.2.1 Modelos que requieren datos de presencia-ausencia

A) Domain

Es un método basado en la métrica de Gower. El algoritmo asigna a cada celda del mapa resultante un valor promedio de una distancia (multivariada), en relación con la celda más cercana, en donde se registró la especie (sitio de entrenamiento). Los valores de distancia se reordenan de cero a uno, para que sean comparables con otras técnicas de probabilidad (Seguardo y Araújo, 2004), las predicciones no se interpretan como probabilidad de ocurrencia, sino como medidas de clasificación.

Ventajas: El modelo se puede representar fácilmente como un mapa de distribución y funciona relativamente bien con tamaños de muestra pequeños de ocurrencia.

Desventajas: utiliza solamente datos de presencia-ausencia, produce predicciones continuas (necesita umbral para producir predicciones binarias), no cuenta con herramientas para definir correlaciones e interacciones potenciales entre las variables, asigna el mismo peso a todas las variables ambientales, no tiene un procedimiento para la selección de variables y no permite investigar la influencia de cada predictor ambiental sobre cada elemento del patrón de distribución (Carpenter *et al.*, 1993; Seguardo y Araújo, 2004).

B) Árboles de clasificación y regresión (ACR – CART)

Es un método discriminante, en el que se modela la distribución, identificando valores umbrales de los predictores que definan mejor las condiciones ambientales de los datos de presencia y ausencia. Los datos de ocurrencia se dividen repetidamente en grupos homogéneos (datos de ocurrencia

de presencia y ausencia); cada división se fundamenta en el valor umbral del predictor ambiental, el proceso continúa hasta que los conjuntos de datos no se pueden dividir y se genera un árbol dicotómico que describe las condiciones ambientales adecuadas e inadecuadas para la ocurrencia de la especie.

Ventajas: Fácil de interpretar, las relaciones entre las variables y los predictores no se estiman, puede desarrollar modelos para las respuestas que pueden ser no-lineales, no-aditivas y jerárquicas, los resultados pueden ser de clasificación o predicción si se utiliza una regresión, tiene el potencial de investigar la influencia de cada predictor ambiental sobre el patrón de distribución, el procedimiento se puede implementar en diferentes programas estadísticos.

Desventajas: requiere datos de presencia y ausencia, las divisiones constantes reducen el potencial predictivo, procesos computacionales intensivos, puede ser difícil de representar como un mapa de predicción de distribución (Miller y Franklin, 2002).

2.2.2.2 Modelos que requieren datos de presencia

A) Regresión Logística

Las regresiones logísticas y modelos lineales de regresión son análisis en los que el resultado es transformado en una probabilidad (Austin *et al.*, 1990). Las localidades de colecta de la especie (variable dependiente) se relacionan con las características del ambiente (variable independiente) y mediante ajustes estadísticos se caracteriza el nicho ecológico y se divide el espacio ecológico en porciones de alta y baja probabilidad de ocurrencia de la especie, es decir, se predice con diferentes probabilidades de ocurrencia la presencia de la especie en el espacio geográfico.

Ventajas: Puede implementarse en diversos programas estadísticos (SPSS, S-Plus, R, etc.), los procesos son claros y fáciles de hacer su seguimiento, los modelos presentan una respuesta binaria.

Desventajas: La definición del umbral de probabilidad que determina las áreas de alta y baja probabilidad de la presencia de la especie (Austin *et al.*, 1990; Navarro *et al.*, 2001).

B) Análisis de factores del nicho ecológico (ENFA)

El método utiliza datos de presencia y se basa en la ordenación de datos en un espacio ambiental multivariado, calcula los factores que explican la mayor parte de la distribución ambiental de las especies (Seguardo y Araújo, 2004). Los factores obtenidos no presentan correlación y tienen un significado biológico y se denominan como: factor de marginalidad, describe la distancia entre el óptimo de la especie y la media del perfil ambiental del área de estudio; factor de tolerancia, describe el grado de especialización de la especie al intervalo ambiental de la zona de estudio y se obtiene ordenando en orden decreciente la varianza explicada. El método está implementado dentro del programa BIOMAPPER (Hirzel *et al.*, 2001), que da como resultado mapas de hábitat adecuado, cada celda del mapa presenta un valor de cero a uno del índice del hábitat adecuado (que relaciona la media ponderada y la media de cada factor). Se determina el número de factores para obtener los mapas de hábitat adecuados y cada eigenvalor se compara con la distribución de MacArthur para determinar su significancia.

Ventajas: Es una herramienta útil para generar mapas de hábitat potencial de las especies, es posible ponderar las variables ambientales involucradas en el modelo, los resultados son convenientes y eficientes, aún con datos de baja calidad (cuando no se tienen datos de ausencia), caracteriza el nicho ecológico en el área de referencia.

Desventajas: No puede interpretar variables categóricas (discretas), es un método descriptivo que no puede obtener relaciones de causalidad, no incluye intervalos de confianza en los mapas de distribución (hábitat potencial), solo manipula dependencias lineales con el nicho de las especies (Hirzel *et al.*, 2001; Hirzel *et al.*, 2002; Seguardo y Araújo, 2004).

C) Modelos de coberturas bioclimáticas

Se fundamentan en la relación estrecha entre las especies y el clima, generan mapas predictivos de la distribución de especies utilizando datos de las características climáticas de los sitios donde las especies han sido registradas (Farber y Kadmon, 2003). Guisan y Zimmermann (2000) hacen referencia a las características de este tipo de sistemas, que se deben considerar para su implementación; las coberturas climáticas pueden tener errores de interpolación, falta de datos provenientes de las estaciones y las estaciones climáticas no reflejan biológicamente las condiciones de microclimas relevantes.

1. BIOCLIM

Es el más conocido de los modelos de coberturas climáticas. Es parte de varios subprogramas del programa ANUCLIM que fue desarrollado en el Centro de Recursos y Estudios Ambientales (CRES) de la Universidad Nacional de Australia. El método comprende dos etapas: primero, las localidades donde la especie se ha registrado se proyectan en un espacio multidimensional definido por un conjunto de variables climáticas, con el fin de obtener el perfil bioclimático; la segunda etapa comprende la proyección del perfil bioclimático en un espacio geográfico, para identificar las áreas con condiciones climáticas similares (homoclimas) (Nix, 1986; Farber y Kadmon, 2003). De manera general este sistema presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas: Es sencillo e intuitivo en su manejo, sus bases teóricas son claras (se fundamentan en la teoría del nicho), los resultados son fáciles de interpretar, utiliza datos de presencia, el perfil bioclimático se genera en una interfase visual en la que se pueden detectar errores relacionados con los registros de colecta, existe un *script* para su implementación en ArcView.

Desventajas: Costo elevado, la generación de las coberturas bioclimáticas se realiza en otro programa independiente, no utiliza datos categóricos, no cuenta con herramientas para definir correlaciones e interacciones potenciales entre las variables climáticas, asigna el mismo peso a todas las variables, no tiene un

procedimiento para la selección de variables, omite y/o sobrepredice las distribuciones en la mayoría de los casos analizados, presenta altas tasas de errores de comisión (sobrepredicción) y omisión (subestimación), asume que el clima es el factor determinante en la distribución de las especies (Lindenmayer *et al.*, 1991; Peterson, 2001; Peterson y Vieglais, 2001; Lim *et al.*, 2002; Anderson *et al.*, 2003, Farber y Kadmon, 2003).

2. FloraMap

Es un programa de cómputo desarrollado por el CIAT (Centro Internacional de agricultura Tropical) de Colombia; esta herramienta computacional está diseñada para predecir la distribución de plantas y otros organismos en su hábitat natural (Jones y Gladkov 2001), se basa en el uso del análisis de componentes principales para relacionar la distribución de los especímenes con coberturas climáticas, para producir mapas de distribución potencial.

Ventajas: Presenta subprogramas que incorporan herramientas de validación y corrección de la base de datos. Incorpora técnicas estadísticas en el modelo (ACP), identifica posibles datos erróneos con en base pruebas estadísticas y análisis de agrupamientos.

Desventajas: Costo alto (ca. \$100.00), trabaja exclusivamente con datos climáticos, requiere de datos de presencia y resolución de las coberturas de 10' por lado (Jones y Gladkov 2001).

3. Diva Gis

Es un SIG desarrollado para el análisis de datos de biodiversidad, es un programa de distribución gratuita disponible en la dirección electrónica <http://www.diva-gis.org>, originalmente diseñado para el mantenimiento de de bases de datos de herbario y bancos de germoplasma para detectar patrones ecológicos y geográficos en especies de plantas. En su funcionamiento incluye diversos algoritmos, una versión inicial de BIOCLIM (Nix, 1986), Domain (Carpenter *et al.*, 1993) y EcoCrop (Hijmans *et al.*, 2004).

Ventajas: Presenta rutinas de validación y asignación de las coordenadas de los registros, fácil de ejecutar.

Desventajas: Solamente considera coberturas climáticas (Hijmans *et al.*, 2004).

2.2.3 GARP

EL sistema de modelación GARP es un método cuantitativo que requiere datos de presencia, puede utilizar coberturas bioclimáticas o categóricas. Utiliza una forma de inteligencia artificial o aprendizaje denominada “algoritmos genéticos”, relaciona las características ecológicas con los puntos de ocurrencia y genera una lista de reglas condicionales que predicen la presencia o la ausencia de la especie. Este sistema de modelación fué desarrollado por David Stockwell e implementado por primera vez en la Red de Recursos de Información Ambiental en Australia (ERIN - Environmental Resources Information Network). El servidor ERIN estuvo disponible al público a partir de agosto de 1993 por medio de la red, el sistema provee una interfase interactiva de reporte, mapeo y modelado de la distribución de las especies. El usuario puede hacer consultas al sistema sobre la distribución de diferentes especies australianas y seleccionar el formato de salida con base en alguno de los dos sistemas de modelación GARP y BIOCLIM, basados en variables ambientales y climáticas, respectivamente. El sistema GARP utiliza los resultados del programa BIOCLIM y otras variables ambientales (topografía, suelo y geología), para predecir las distribuciones potenciales de las especies (Boston y Stockwell, 1995; Stockwell y Peters, 1999).

Posteriormente el sistema GARP fue implementado y mejorado en un servidor en el San Diego Supercomputing Center, en los Estados Unidos, como parte del sistema de información del Taller de Biodiversidad de Especies (Biodiversity Species Workshop), para modelar distribuciones potenciales de especies de Norteamérica y permitir su uso por medio de la red. En este servidor el sistema utilizaba más de 30 variables ambientales y climáticas, para modelar el nicho ecológico de las especies.

Actualmente el sistema GARP funciona en un ambiente de computadora personal (PC) por medio de una interfase en forma de un programa que permite su utilización de manera sencilla; el programa DesktopGarp fue desarrollado en el centro de Investigación de la Biodiversidad de la Universidad de Kansas por Ricardo Scachetti-Pereira y David Stockwell y esta disponible de forma gratuita en la red en la siguiente dirección electrónica: <http://beta.lifemapper.org/deskopgarp/>.

El sistema de modelación GARP utiliza un algoritmo genético, que genera modelos del nicho ecológico de las especies, que describen las condiciones ambientales en las que deben de mantener sus poblaciones (Scachetti-Pereira y Stockwell, 2005). Los detalles del funcionamiento del método GARP se pueden consultar en los artículos de Stockwell y Noble (1992), Stockwell (1999) y Stockwell y Peters (1999), disponibles en la red en la dirección electrónica <http://biodi-sdsc.edu>; en la presente contribución solamente se describe de manera general su funcionamiento.

Se basa en un proceso iterativo (repetitivo) de generación, evaluación, modificación, incorporación o rechazo de reglas o condicionantes ambientales al modelo, su funcionamiento general se divide en diversas fases (cuadro 1).

La información indispensable que se requiere para modelar el nicho ecológico de una especie con el sistema GARP, consiste de una base de datos con los registros únicos de las localidades de recolecta, con una referencia espacial geográfica (las coordenadas de longitud y latitud) y el conjunto mapas de las variables ambientales y climáticas en formato de celdas (raster).

2.2.3.1 Funcionamiento general dentro del programa

Dentro del programa DesktopGarp, a partir de las localidades de colecta, se realizan las siguientes fases:

- 1) *Preparación de los datos.* Las localidades de colecta se convierten en coberturas tipo raster; mediante muestreos al azar se obtienen los sitios de

entrenamiento y prueba, el programa selecciona de manera aleatoria 1250 píxeles en los que no se registra la especie y remuestra 1250 píxeles en los que se registra la especie, de tal forma que se cuenta con 2500 puntos de presencias y “pseudoausencias” (Stockwell y Peters, 1999).

Cuadro 1. Fases que utiliza el algoritmo genético GARP, en la modelación del nicho ecológico (Stockwell y Peters, 1999).

Fases	Función
Preparación de datos	Convierte los datos espaciales (con referencia) en coberturas tipo raster. Genera los puntos de entrenamiento y prueba mediante muestreos al azar.
Desarrollo del modelo	Desarrollo de un modelo inicial aproximado (<i>e.g.</i> , BIOCLIM, regresión logística). Refina el modelo utilizando un algoritmo genético.
Aplicación del modelo	Se prueban las reglas o condicionantes ambientales y se incluyen aquellas que mejoren la precisión predictiva del modelo. Aplica el modelo y predice la probabilidad de cada valor
Comunicación del modelo	Toma las probabilidades predichas y genera los resultados en formato de imagen. El sistema utiliza el modelo para formar la explicación de las reglas.

2) *Desarrollo del modelo*, el programa relaciona verticalmente los sitios de entrenamiento con los conjuntos de mapas de las variables ambientales y climáticas. Después selecciona un modelo estadístico inicial (*e.g.*, regresión logística o de bioclimas), para obtener las reglas o condicionantes ambientales que describen la relación entre la presencia o ausencia de la especie y los valores de los parámetros ambientales y climáticos (las reglas tienen una forma básica constituida por una precondición – *Si* – y una conclusión – *entonces* –).

Cada regla obtenida representa un modelo preliminar del nicho ecológico y es evaluada en función de los sitios de entrenamiento y las áreas de distribución predichas, el programa asigna a cada regla un valor de acuerdo a su precisión predictiva (calculada con la suma de los puntos que fueron

correctamente predichos con la especie presente y con los puntos que fueron correctamente predichos con la especie ausente, dividido por el número total de puntos geográficos en los dos conjuntos); posteriormente las reglas son ordenadas de acuerdo a su funcionamiento y modificadas aleatoriamente por el Algoritmo Genético (mediante mutaciones puntuales, deleciones y translocaciones de las reglas).

El objetivo del sistema es maximizar la significancia y exactitud de la predicción. Las reglas tienen algunas restricciones, que determinan cuando pueden ser aplicadas; cuando las condiciones indispensables no se encuentran en la regla, ésta no se utiliza. Esta serie de reglas está desarrollada a través de un refinamiento evolutivo, probando y seleccionando algunas de ellas, en subseries aleatorias de una serie de datos (Stockwell y Peters, 1999).

El método utilizado para calcular la precisión de la predicción reduce errores en la distribución de las especies por omisión (predicción de la ausencia en áreas donde la especie realmente está presente), y por comisión (predicción de la presencia en áreas donde la especie realmente está ausente) (Peterson *et al.*, 1999; Stockwell y Peters, 1999).

- 3) *Aplicación del modelo.* Consiste en la re-evaluación del funcionamiento de las reglas modificadas por el algoritmo genético. Si una regla modificada muestra mejoría en su funcionamiento, es incorporada al conjunto de reglas, de lo contrario es descartada y nuevamente las reglas se ordenan de acuerdo al valor de funcionamiento y se vuelven a evaluar en función de su desempeño. El proceso de generación, evaluación, modificación, incorporación o rechazo y reevaluación de reglas es determinado por el número de iteraciones (repeticiones) en las que el sistema alcanza la convergencia (cuando ya no se presentan mejoría en el conjunto de reglas) (Stockwell y Peters, 1999).
- 4) *Comunicación del modelo.* El sistema utiliza el conjunto de reglas (modelo predictivo) y las proyecta en el área de estudio, produciendo un mapa binario (clasificado en áreas de presencia y ausencia), que delinea la distribución del

nicho ecológico de la especie (Stockwell y Peters, 1999). El formato del mapa final permite al usuario su manipulación en diferentes SIG.

Ventajas: Fácil de ejecutar, es un programa en ambiente Windows, de acceso gratuito, funciona con datos de presencia, utiliza variables categóricas y continuas, selecciona los mejores modelos estadísticamente, permite la posibilidad de calcular los errores de omisión y comisión para seleccionar los mejores modelos, reduce los errores de omisión y comisión.

Desventajas: No es fácil de interpretar (es una caja negra), los mapas resultantes no son determinísticos (pueden ser diferentes, utilizando los mismos datos), genera pseudoausencias y no permite la substitución por datos de ausencias (colectas reales), tiene tendencia a generar errores de comisión, no presenta un proceso para la selección de variables, deficiencias en la interpretación de datos categóricos y produce predicciones continuas (necesita umbral para producir predicciones binarias) (Stockwell y Peters, 1999; Peterson y Cohoon, 1999; Peterson, 2001; Lim *et al.*, 2002; Anderson, 2003; Anderson *et al.*, 2003).

2.2.4 MaxEnt

El sistema de modelación maxent es un método cuantitativo que requiere datos de presencia para modelar la distribución geográfica de las especies, este puede utilizar coberturas bioclimáticas o categóricas; el método se fundamenta en técnicas estadísticas para hacer predicciones o inferencias a partir de datos incompletos. La base conceptual del método es que la entropía maximiza la distribución de la probabilidad; se estima la probabilidad de distribución más uniforme (máxima entropía) de los puntos de ocurrencia en el área de estudio, las celdas del mapa final presentan un valor porcentual; que indica el valor relativo de las condiciones ambientales convenientes para la presencia de la especie (Phillips *et al.*, 2006)

El método MaxEnt fue desarrollado por Phillips, Anderson y Schapire de los laboratorios AT&T y del departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad de Princeton de los Estados Unidos.

El programa realiza una aproximación general para modelar la distribución geográfica de las especies a partir exclusivamente de datos de presencia; el software trabaja en un ambiente de computadora por medio de una interface sencilla, está disponible para su descarga gratuita, desde el año de 2004 en la dirección electrónica <http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>. El funcionamiento detallado del sistema de modelación MaxEnt se puede verificar en las publicaciones de Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006 y Elith *et al.*, 2011, disponibles en la dirección electrónica.

Para obtener la distribución potencial de las especies, el sistema de modelación MaxEnt requiere de los siguientes componentes: un área de interés delimitada y constituida por coberturas de variables climáticas y ecológicas digitales, en formato de celdas (*e.g.* precipitación, temperatura, etc.), y un conjunto de localidades donde se ha registrado la presencia de la especie de estudio.

La distribución de la probabilidad se calcula mediante el principio de la máxima entropía, que realiza la búsqueda de la distribución (estadística) más uniforme, es decir, aquella en la que todos los elementos tienen la misma probabilidad de aparecer, con la restricción de que la información disponible acerca del tema de estudio es incompleta (Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006). En el caso del modelado de la distribución potencial con MaxEnt, la máxima entropía se calcula en el espacio delimitado en el área de estudio, conformada por mapas de diversas variables climáticas y ecológicas en formato de celdas, con dimensiones específicas (de filas y columnas) y a partir de los registros de presencia de la especie, que se asocian con los valores de cada variable para conformar las características de la información disponible. Las restricciones corresponden a la relación entre el valor esperado de cada característica y su valor empírico promedio (valor promedio de un conjunto de puntos de muestreo tomado de la distribución objetivo o destino).

MaxEnt calcula la distribución de la probabilidad con el algoritmo “sequential update” (Dudik *et al.* 2004), mediante iteraciones que asignan diferente importancia a las variables, hasta llegar a un valor determinado de convergencia

(Phillips *et al.*, 2006). Posteriormente asigna los valores de probabilidad a cada pixel y corrige para obtener valores positivos para que en suma sea de 100%; sin embargo, dado que los valores de los pixeles son muy pequeños, MaxEnt los presenta como el resultado de la suma del valor del pixel y de todos los pixeles con igual o menor valor de probabilidad, que finalmente multiplica por 100 y muestra un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia de la especie (Phillips *et al.*, 2006).

Ventajas: Presenta una interface sencilla e intuitiva con el usuario, fácil de ejecutar; posee una definición matemática precisa, utiliza exclusivamente datos de ocurrencia, emplea variables categóricas y continuas, incorpora interacciones entre las variables, puede determinar la influencia de cada variable ambiental en la distribución final, funciona adecuadamente con tamaños de muestra pequeños, los resultados obtenidos son continuos y se pueden interpretar en dimensiones ecológicas, las coberturas para su funcionamiento, así como los modelos finales se obtienen en formato ESRI ASCII (Phillips *et al.*, 2006).

Desventajas: Produce predicciones continuas (necesita umbral para producir predicciones binarias), se realizan procesos computacionales intensivos, el sobreajuste en las predicciones limitan su aplicación hacia proyecciones futuras o pasadas (Phillips *et al.*, 2006).

2.2.5 Requerimientos de los modelos MaxEnt y GARP

Para realizar el modelado del nicho ecológico de las especies en los sistemas modeladores GARP y Maxent se requiere de la siguiente información indispensable: una base de datos con los registros de las localidades de recolecta de la especie, el conjunto mapas de las variables ambientales y climáticas en formato de celdas (raster), el conocimiento básico de algún sistema de información geográfica (SIG) y la aplicación de técnicas de validación de los resultados.

La base de datos de las localidades de colecta debe de contener los registros únicos con una referencia espacial geográfica, es decir, las coordenadas de longitud y latitud, que para México corresponden a valores negativos y

positivos, respectivamente. El archivo debe de tener el nombre de la especie, la longitud y la latitud y puede ser un archivo de Microsoft Excel (*.xls), un Shapefile de ArcView (*.shp), un archivo de texto (*.txt) o un archivo delimitado por comas (*.csv).

El conjunto de mapas de las variables ambientales y climáticas en formato de celdas (raster) se ensamblan en el Dataset Manager para GARP y pueden ser archivos tipo ASCII o archivos tipo GRID de ArcInfo; para Maxent se requieren archivos ASCII para conformar el archivo con las variables en un formato compatible con el sistema modelador.

Las coberturas o mapas temáticos con los que se ha modelado la distribución del nicho ecológico en la mayoría de los estudios en el país, han sido elaboradas en formato digital por la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Esta institución gubernamental cuenta con diversos mapas temáticos (ambientales y climáticos), en formato digital y de libre acceso en la dirección electrónica <http://www.conabio.gob.mx> los cuáles pueden incorporarlos a los sistemas de modelación o en un SIG para delimitar el mapa del nicho ecológico y obtener el mapa de distribución potencial.

Las coberturas que normalmente se han incorporado en el modelado de distribución del nicho ecológico son coberturas ambientales (*e.g.* elevación, orientación, pendiente, vegetación potencial) y coberturas climáticas (precipitación promedio anual, temperatura promedio anual). (Téllez Valdés et al., en prensa, (http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info))

La resolución espacial, es decir el tamaño del píxel de las coberturas raster que se utiliza en el modelaje es variable y va desde los 0.5 km ($\approx 0.005^\circ$) por lado (Ortega-Huerta y Peterson, 2004) hasta 50 km ($\approx 0.5^\circ$) (Peterson y Vieglais, 2003). Las resoluciones más utilizadas son 1 km ($\approx 0.01^\circ$), 7 km ($\approx 0.07^\circ$) y 10 km ($\approx 0.1^\circ$).

La selección de la resolución que se emplea en el modelaje del nicho ecológico depende principalmente de la superficie involucrada en el análisis (*e.g.*

en relación a la superficie de distribución de los registros de colecta), es decir, la superficie con respecto a límites estatales, nacionales, regionales, continentales o mundiales; de tal manera que se eligen resoluciones espaciales pequeñas (*e.g.* 1 km \approx 0.01°) cuando el modelaje involucra escalas cartográficas grandes y se eligen resoluciones espaciales grandes (*e.g.* 50 km \approx 0.5°) cuando se modela en escalas cartográficas pequeñas. No obstante, la resolución se puede seleccionar en función del tipo de análisis que el usuario requiera y de las características del equipo de cómputo en el que va a realizar el modelaje del nicho ecológico.

Además se requiere de conocimientos básicos en el manejo de un sistema de información geográfica (*e.g.*, ArcView, ArcInfo, IDRISI, etc.) y depende del SIG que el usuario utilice o pueda tener acceso.

Para ambos sistemas de modelación el uso de un SIG es necesario en las siguientes etapas:

- a) Elaboración del mapa de la distribución de las localidades de colecta de la especie (con el fin de delimitar el área de estudio).
- b) Manejo de mapas de variables ambientales (topográficas – elevación, orientación, pendiente, etc. - y del sustrato – edafología, geología, etc. -) y variables climáticas (precipitación, temperatura, etc.) para generar el conjuntos de coberturas digitales de celdas (raster), con las que los algoritmos interaccionan para predecir el nicho ecológico.
- c) Despliegue, análisis y manejo de los mapas del nicho ecológico obtenidos para generar el mapa de distribución potencial de la especie.
- d) Edición del mapa de distribución potencial de la especie.

Las técnicas de validación del modelado de la distribución potencial actual de las especies se han realizado siguiendo dos estrategias, la validación estadística y la validación mediante inventarios de campo. La validación

estadística del modelo, consiste principalmente en aplicar la prueba de χ^2 a una tabla de contingencia (de 2 x 2), generada a partir de los resultados de presencia y ausencia de la especie en el mapa de distribución potencial y los registros de las localidades de colecta; otras técnicas empleadas para validar los modelos son las pruebas del área bajo la curva (AUC) por medio de las curvas ROC (característica operativa del receptor) y el índice de Kappa.

La validación en campo mediante inventarios en localidades seleccionadas con anterioridad (Feria y Peterson, 2002), debe de ser una estrategia que se debe de implementar como una etapa en los estudios del modelado del nicho ecológico, sin embargo debido a que se requiere la inversión económica y de tiempo, la mayoría de los estudios no la incorporan y solamente la validación se limita al conocimiento que tiene el usuario sobre la biología de los organismos que está modelando.

2.2.6 Aplicaciones de GARP

El sistema de modelación GARP se ha utilizado con diferentes enfoques a nivel nacional y mundial, la aplicación básica y más sencilla del algoritmo es la generación del nicho ecológico mediante el cual se obtiene el mapa de la distribución potencial. El mapa de la distribución potencial geográfica individual de las especies, es la base para realizar estudios en diferentes disciplinas como la Biogeografía, Ecología, Biología de la Conservación, Parasitología y Epidemiología, entre otras. Tomando en cuenta lo anterior, se puede decir que en todos los estudios en los que se utiliza el sistema GARP se generan hipótesis sobre la distribución de las especies, las cuales son la base para el desarrollo de diversas aplicaciones.

Las aplicaciones del uso del sistema de modelación GARP, para México, han sido muy variadas, en este trabajo se intentó incluir todas ellas y tomar en cuenta la mayoría de los trabajos publicados. A continuación se mencionan los enfoques que han desarrollado las diferentes disciplinas en México.

En la biogeografía se han empleado los mapas de distribución potencial de las especies como base para generar sus hipótesis de distribución (Wiley *et al.*, 2003; Navarro *et al.*, 2003; Illoldi-Rangel *et al.*, 2004), sistemas de regionalización (Rojas-Soto *et al.*, 2003), distribuciones históricas (Hidalgo-Mirhart *et al.*, 2004) y especies vicariantes (Peterson *et al.*, 1999).

La ecología es la disciplina que ha utilizado el sistema GARP con enfoques diversos y vanguardistas, entre ellos se tienen: estudios sobre diversidad – riqueza - (Feria y Peterson, 2002), plagas agrícolas (Sánchez-Cordero y Martínez-Meyer, 2000), nicho ecológico (Peterson *et al.*, 1999; Peterson y Holt, 2003; Rice *et al.*, 2003) cambios estacionales de la distribución – migración – (Nakazawa *et al.*, 2004; Martínez-Meyer *et al.*, 2004), efectos del cambio climático global (calentamiento global) sobre la distribución de las especies (Peterson *et al.*, 2001; Peterson *et al.*, 2002b; Oberhauser y Peterson, 2003; Parra-Olea *et al.*, 2005), modelaje al pasado – Pleistoceno y Holoceno - (Peterson *et al.*, 2004a) conservación del hábitat a través del tiempo (Peterson *et al.*, 1999), y comportamiento y rutas de las especies invasoras (Peterson y Vieglais, 2001; Soberón, 2002; Arriaga *et al.*, 2003; Peterson, 2003; Peterson *et al.*, 2003a).

La biología de la conservación utiliza los resultados de estudios ecológicos y biogeográficos para proponer áreas de conservación (López-González *et al.*, 2003) o para evaluar el papel del sistema de áreas naturales protegidas del país, en relación a diferentes grupos taxonómicos (Ortega-Huerta y Peterson, 2004).

En disciplinas como la parasitología y epidemiología han empleado los modelos de distribución potencial para estudiar enfermedades como Chagas (Peterson *et al.*, 2002c; Ramsey *et al.*, 2003) y el Virus del Oeste del Nilo (Peterson *et al.*, 2003b)

En diversos estudios se ha probado la robustez del sistema de modelación GARP, empleando en su análisis bases de datos de especies mexicanas y evaluando la precisión predictiva de la distribución (Peterson *et al.*, 2002a; Stockwell y Peterson, 2003).

Finalmente, como parte del desarrollo del modelo, en la mayoría de las aplicaciones se pueden detectar registros con identificación taxonómica incorrecta o georeferencia inexacta, que pueden modificar la precisión predictiva de los modelos de distribución (Gulubov y Soberón, 2003).

2.2.7 Aplicaciones de MaxEnt

El sistema de modelación MaxEnt se ha evaluado y probado como uno de los mejores sistemas modeladores (Elith *et al.*, 2006), se ha empleado con muy diversos enfoques a nivel mundial, sin embargo, a nivel nacional han sido pocos los estudios en los que se ha utilizado. La aplicación básica y más sencilla del algoritmo es la generación de la distribución potencial de las especies que es utilizada como base para estudios en diversas disciplinas.

Los mapas de distribución potencial de las especies se han utilizado en la biogeografía para generar hipótesis de distribución; Lentz *et al.* (2008) modelaron la distribución del girasol para el país; Trotta-Moreu *et al.* (2008) estudian la distribución conocida y potencial de 45 especies de escarabajos geotrópidos para México; Ramírez-Barahona *et al.* (2009) evalúan la distribución de helechos y licofitas en la península de Yucatán.

En la biología de la conservación, los mapas de distribución potencial de especies vegetales y animales se han empleado para evaluar la efectividad del papel de las áreas naturales protegidas (ANP) de México; Contreras-Medina *et al.* (2010) analizan los efectos del cambio de uso de suelo en la distribución potencial de *Taxus globosa*; Aguirre y Duivenvoorden (2010) estudian la distribución y representatividad de las especies del género *Pinus* en las ANP del país; Paredes-García *et al.* (2011) evalúan la representatividad del género *Crotalus* en las ANP del país). También, dentro de esta disciplina, los mapas de distribución se han empleado para elaborar planes de conservación, rehabilitación o para el establecimiento de plantaciones comerciales; García-Aranda *et al.* (2012) modelan la distribución de poblaciones de *Taxus globosa* en el noreste del país; de igual forma se ha empleado para realizar estudios de regionalización biológico-

ambiental en el desierto Chihuahuense (Portales-Betancourt y Téllez-Valdés, 2010), o para conocer la distribución e impacto de un escarabajo descortezador en especies forestales comerciales de la Sierra Madre Occidental (Mendoza *et al.*, 2011).

En la ecología, el sistema MaxEnt se ha empleado para generar mapas de riqueza potencial de especies a partir de mapas individuales de especies; Ibarra-Montoya *et al.* (2010) predicen la distribución del fitoplancton en la presa Aguamilpa en Nayarit; en la evaluación de la riqueza de especies de anfibios con mapas de distribución con diferentes resoluciones espaciales (Pineda y Lobo, 2012). Así mismo para conocer el área de distribución potencial de las especies a través del tiempo, con los efectos del cambio climático global; Schroth *et al.* (2009) analizan las zonas de producción de café en la Sierra Madre de Chiapas para el año 2050; Zonneveld *et al.* (2009) generan la distribución de dos especies de pinos; Cuervo-Robayo y Monroy-Vilchis (2012) estudian la distribución potencial del jaguar en el estado de Guerrero e identifican zonas y corredores de conservación actual y en un periodo de 24 años. Del mismo modo se ha empleado en el estudio de especies introducidas; Dugan *et al.* (2011) elaboran modelos para evaluar el efecto de dichas especies en cuerpos de agua.

De forma particular, en 2012 se publicaron estudios donde se utiliza MaxEnt para estudiar el BMM de México; Cruz-Cárdenas *et al.* (2012) delimitan la distribución potencial mediante modelos de distribución de 78 especies características (restringidas); Ponce-Reyes *et al.* (2012) evalúan la vulnerabilidad del BMM de México con los efectos del cambio climático para el año 2080, enfatizando su distribución dentro de las ANP; Rojas-Soto *et al.* (2012) predicen el impacto del cambio climático en la distribución del BMM en el este y sureste de México, con en base en modelos de distribución potencial de 20 especies estenotópicas de aves y plantas superiores.

2.3 El bosque mesófilo de montaña en México

Debido a sus características florísticas y ecológicas tan variables, el bosque mesófilo de montaña (BMM) ha recibido muy diferentes denominaciones por diversos autores a través del tiempo (Luna, 1984). En la siguiente lista, que es una síntesis de las publicadas por Rzedowski (1978) y Luna (1984), se presentan los diferentes nombres dados a tipos de vegetación que corresponden aproximadamente al BMM, así como los autores de las mismas (las referencias completas deben consultarse en los trabajos arriba mencionados). La mayoría de dichas denominaciones no se propusieron para la vegetación de México exclusivamente y se incluyen algunos de los nombres dados para determinadas asociaciones locales.

- Cestisilvae (Roebel)
- Selva nublada (Beard)
- Cloud Forest (Leopold, McVaugh, Martin y Harrell, Martin, Andrie)
- Forêt Dense Humide de Montagne (Trochain)
- Moist Montane Forest (Trochain)
- Bosque deciduo (Miranda, Gómez-Pompa)
- Selva mediana y baja siempre verde (Miranda)
- Bosque caducifolio (Miranda y Hernández-X., Gómez-Pompa, Sousa, Chiang, Flores Mata *et al.*)
- Berg-Regenwald (Knapp)
- Bosque deciduo templado (Rzedowski)
- Bosque ombrófito de montaña (Lauer)
- Forêt Caducifoliée Humide de Montagne (Puig)
- Bosque húmedo de montaña (Villaseñor)

El nombre más común, utilizado actualmente, fue propuesto por Miranda (1947) para designar a una comunidad vegetal de la cuenca del río Balsas, que se ubica a la misma altitud que los encinares, pero en condiciones más favorables de humedad. El mismo autor modificó posteriormente el nombre por el de "Selva baja siempre verde" (Miranda, 1952), y posteriormente Miranda y Hernández-X. (1963)

deciden llamar a esta vegetación "Selva mediana o baja perennifolia" y en parte "Bosque caducifolio". Gómez-Pompa (1966) llamó a este tipo de vegetación "Bosque con hojas deciduas o caducifolias".

Todas estas denominaciones de la comunidad en cuestión se realizaron con base en criterios fisonómicos y fenológicos, y no es hasta 1966 cuando Rzedowski utilizó, además de estos criterios, las características ecológicas, denominando a esta formación vegetal como "Bosque deciduo templado". Posteriormente, Rzedowski y McVaugh (1966) afirmaron que el "Bosque caducifolio" y el "Bosque mesófilo de montaña" en Nueva Galicia se pueden catalogar dentro de una misma categoría, debido a las similitudes fisonómicas, ecológicas y florísticas, a pesar de las diferencias en el comportamiento fenológico; ellos mantuvieron el nombre de "Bosque mesófilo de montaña", para la categoría que conjunta a las dos formaciones.

Breedlove (1973), dividió a la vegetación montana húmeda de Chiapas en tres categorías: "Montane Rain Forest", "Evergreen Cloud Forest" y "Pine-Oak-Liquidambar Forest". Puig (1976) denominó a esta formación vegetal como "Forêt Caducifoliée Humide de Montagne", Rzedowski (1978) retoma el nombre de "Bosque mesófilo de montaña". Finalmente Villaseñor (2010) realiza un catálogo florístico taxonómico de las plantas vasculares del "Bosque húmedo de montaña". Sin embargo, se puede afirmar que a partir de la publicación de "La vegetación de México" (Rzedowski, 1978), la gran mayoría de los autores han utilizado dicho término para denominar a esta formación vegetal. En dicha obra se sintetiza la información existente hasta entonces sobre esta comunidad, describiendo los elementos bióticos y abióticos que la caracterizan en diversas regiones del país.

Históricamente se ha estimado que el BMM contiene aproximadamente el 10% de la diversidad vegetal total de México (Rzedowski, 1978, 1996; Challenger 1998). No obstante, con relación a la superficie que ocupa el BMM, se trata de la comunidad más diversa por unidad de área. Villaseñor (2010), realizó una revisión exhaustiva de la literatura y de bases de datos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y encontró que en el bosque

húmedo de montaña existen al menos 6709 especies, cifras que superan los valores reportados hasta el momento para el BMM de México.

Diversos autores, como Leopold (1959) y Flores (1971) (ambos citados en Rzedowski 1978), y Rzedowski (1978, 1991) han estimado que el área aproximada que cubre el bosque mesófilo de montaña en el país no sobrepasa el 1%, es decir, casi 20,000 km². Su distribución se limita a zonas montañosas de topografía con pendientes pronunciadas, en particular a cañadas y zonas protegidas de la insolación y los vientos, por lo cual esta distribución es considerada como fragmentaria o en parches con límites bien marcados (Rzedowski, 1991).

En el territorio mexicano, la localización general del BMM comprende las zonas montañosas de las siguientes provincias fisiográficas:

En la vertiente este de la Sierra Madre Oriental forma una franja que se extiende en Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla y Veracruz; en la Sierra Madre Occidental se encuentra en Sinaloa, Nayarit, Jalisco y Colima; y en la Sierra Madre del Sur en Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Existe, además, en el Eje Neovolcánico, en el Valle de México y en las vertientes de la zona montañosa de Chiapas (Rzedowski, 1978; Luna *et al.*, 2001).

Las zonas donde se distribuye este tipo de vegetación presentan muy variadas características altitudinales, edáficas y climáticas, las que a su vez interactúan con características locales, como la orientación, la pendiente, la altitud, la latitud, la nubosidad, y la humedad del aire y del suelo. Todos estos factores actúan sobre la vegetación, provocando variabilidad florística, fisonómica y estructural en la misma, ocasionando que la información que se obtiene de esta formación sea difícil de interpretar y de someter a generalizaciones.

Algunas de las características físicas generales de las regiones en que se presenta el BMM son (Rzedowski, 1978; Luna *et al.*, 2001): (a) el clima más característico corresponde al tipo Cf, si bien se puede desarrollar en zonas con

climas tipo Af, Am, Aw y Cw de la clasificación de Koeppen, considerados los más cálidos de los templados (Koeppen, 1948; García 1988); (b) altitudinalmente se puede localizar en zonas desde 400 hasta 3200 m s.n.m., pero el límite depende primordialmente de la distribución altitudinal de la humedad, la topografía y la latitud; generalmente estos bosques son más frecuentes entre los 1100 y 2000 m s.n.m.; (c) la precipitación varía desde los 1000 mm hasta los 3000 mm anuales; sin embargo, en la zona de La Chinantla, Oaxaca, se registran hasta 5000 mm; y finalmente, (d) la temperatura media anual varía entre los 12° C y los 23° C.

La composición florística del BMM es variable y aún en una misma localidad se pueden presentar diferencias espaciales en la distribución de las especies. Estas diferencias se reflejan principalmente en la estructura y fisonomía del bosque, lo cual ha provocado que se considere como una comunidad bastante heterogénea (Miranda y Sharp, 1950; Puig, 1974; Rzedowski, 1978). La composición florística general de esta formación está dominada (en cuanto al número de especies), por las familias Orchidaceae, Compositae y Rubiaceae, además de la abundancia y diversificación de las pteridofitas (Rzedowski, 1978).

Fisonómicamente, los BMMs son densos, de 15 a 35 m de altura. Los árboles poseen diámetros variados que pueden sobrepasar los 2 m, y pueden ser perennifolios o con hojas caducas. En cuanto a la estructura, se han descrito varios estratos arbóreos, uno o dos arbustivos, con escaso desarrollo del estrato herbáceo, especialmente en bosques conservados (Rzedowski, 1978).

Durante mucho tiempo estas comunidades han estado sometidas a disturbios relacionados con las actividades forestales, la agricultura, la ganadería (pastoreo) y el fuego, los cuales, dependiendo de su intensidad, pueden provocar que la vegetación desaparezca rápidamente (Miranda y Sharp, 1950; Rzedowski, 1978; Luna *et al.*, 1988; Santiago, 1992). La necesidad alimenticia de las poblaciones cercanas a estas formaciones vegetales y los intereses económicos han sido también factores que aceleran el ritmo de su destrucción, principalmente por el desmonte y el cambio en el uso de suelo.

3. MÉTODOS

3.1 Base de datos

Se construyó una base de datos de la flora vascular del BMM de México a partir de estudios florísticos, estructurales y ecológicos contenidos en las siguientes publicaciones: Carlson (1954), Gómez-Pompa (1966), Rzedowski (1966), Rzedowski y McVaugh (1966), Chiang (1970), Rzedowski (1970), Álvarez del Castillo (1977), Rzedowski y Palacios-Chávez (1977), Vargas (1982), Ibarra (1983), Puig *et al.* (1983), Reyes y Breceda (1985), Ballesteros (1986), Puig y Bracho (1987), García *et al.* (1988), Ishiki (1988), Luna-Vega *et al.* (1988), Martínez (1988), Luna-Vega *et al.* (1989), Machuca (1989), Puig (1989), Fragoso (1990), Madrigal (1990), Madrigal y Guridi (1990), Briones (1991), Long y Heath (1991), Torres (1991), Williams-Linera (1991), Croda (1992), Díaz-Barriga y Palacios-Ríos (1992), Durán (1992), Meave *et al.* (1992), Muñoz (1992), Santiago (1992), Zamora (1992), Zamudio *et al.* (1992), Campos (1993), Jiménez *et al.* (1993), Medina y Rodríguez (1993), Miranda y González (1993), Santiago y Jardel (1993), Tolomé (1993), Ahumada (1994), Arriaga (1994), Blanco (1994), Cuevas (1994), Luna-Vega *et al.* (1994), Campos-Villanueva y Villaseñor (1995), Labat (1995), López (1995), Orozco (1995), Ruiz-Jiménez (1995), Smith (1995), Téllez-Valdez (1995), Vázquez *et al.* (1995), Alcántara (1996), Boyle (1996), Castillo (1996), Pérez-Calix (1996), Williams-Linera *et al.* (1996), Alcántara y Luna-Vega (1997), Fernández y Colmenero (1997), López (1997), Luna (1997), García *et al.* (1998), Mayorga *et al.* (1998), Ramírez-Marcial *et al.* (1998), Ramírez (1999), Ramírez-Marcial *et al.* (1999), Vázquez *et al.* (1999), Arellanes (2000), Mascarúa (2000), Medina *et al.* (2000), Ruiz-Jiménez *et al.* (2000), Vázquez (2000), Zarco (2000), Alcántara y Luna-Vega (2001), Blanco (2001), Diego-Pérez *et al.* (2001), Fonseca *et al.* (2001), Hernández (2001), Sánchez (2001), Acosta (2002), Cartujano *et al.* (2002), Cuevas (2002), Sánchez-Rodríguez (2002), Cornejo-Tenorio *et al.* (2003), Lozada *et al.* (2003), Mejía (2003), Osorio (2003), Reyes

(2003), Sánchez-Rodríguez *et al.* (2003), Valdez *et al.* (2003), Ávila (2004), Catalán (2004), Escutia (2004), Martínez *et al.* (2004), Peterson *et al.* (2004b), Quintos *et al.* (2004), Reynoso (2004), Sahagún (2004), Lorea (2005), Mendoza *et al.* (2005), Ruiz-Jiménez *et al.* (2005), Vargas (2005), Ávila (2006), Montalvo (2006), Ponce-Vargas *et al.* (2006), Santiago (2006), Vázquez *et al.* (2006), Rincón (2007), Ávila *et al.* (2008), Gallardo *et al.* (2008), García-Franco *et al.* (2008), García-Franco y Toledo (2008), Juárez (2008), Martínez-Meléndez *et al.* (2008), Padilla *et al.* (2008), Mehlreter (2008), Williams-Linera y López-Gómez (2008), Castillo-Campos y Luna (2009), Saavedra-Millán (2009).

Cada localidad con BMM se consideró como una sola unidad geográfica operativa o UGO (Crovello 1981); en el caso de localidades que contaran con más de un estudio, las especies se agruparon formando una sola UGO. En total se consideraron 83 UGOs (figura 2 y apéndice 1).

La base de datos fue depurada para evitar sinonimias y eliminar especies introducidas. Asimismo, se descartaron las especies presentes en solo una localidad y aquellas determinadas hasta género; ésto porque al no estar identificados algunos taxones a nivel específico, no proporcionan información precisa sobre su distribución.

3.2 Clasificación numérica y selección de las especies características del BMM

La clasificación numérica para comparar las semejanzas florístico-geográficas-bioclimáticas de los BMM y la selección de las especies características del BMM de México se realizó a partir de la base de datos depurada, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

a) Se elaboró una matriz de presencia-ausencia compuesta por 83 localidades.

b) Las semejanzas florísticas entre las 83 UGOs se establecieron mediante técnicas de análisis multivariado de clasificación (análisis de conglomerados) con ayuda del programa PC-ORD versión 5 (McCune y Mefford, 2006). En dicho análisis de agrupamiento (Cluster analysis) se emplearon los índices de similitud de Sorensen (Bray–Curtis) y el de Jaccard, debido a la robustez de ambos. El índice de Sorensen (Bray-Curtis) considera el desbalance entre 0 y 1 (siempre hay más ceros que unos), y el uso del índice de Jaccard se recomienda para analizar matrices binarias (Villaseñor, com. pers.).

c) Los valores de semejanza obtenidos se utilizaron para construir un dendrograma mediante el método de promedio de grupo no ponderado, utilizando la media aritmética (UPGMA) (McCune y Mefford, 2006).

d) Para cada grupo se seleccionaron las especies representativas (apéndice 2) con base en el índice de frecuencia (Braun-Blanquet, 1932), considerando exclusivamente las especies presentes en más del 60% de los UGOs del grupo (clase IV - 61 a 80% y clase V - 81 a 100%).

e) Con el programa ANUCLIM (Houlder *et al.*, 2000) y utilizando el algoritmo BIOCLIM, se generó el perfil bioclimático de cada uno de los grupos identificados en el dendrograma (cuadro 2).

f) Se elaboró una matriz de los grupos (identificados en el análisis de agrupamiento) y el promedio de las variables bioclimáticas, con el programa PC-ORD versión 5 (McCune y Mefford, 2006) se realizó una clasificación (Cluster analysis) empleando la distancia euclidiana y como método de unión de grupo el del promedio de grupo (UPGMA) (McCune y Mefford, 2006).

g) Los valores de semejanza obtenidos (en el paso anterior), se utilizaron para construir un dendrograma.

h) Finalmente se realizó un análisis de componentes principales (ACP), basado en la matriz de varianza/covarianza para obtener la ordenación de los grupos y subgrupos e interpretar la importancia de las variables bioclimáticas.

Cuadro 2. Parámetros bioclimáticos utilizados por el programa BIOCLIM (Houlder *et al.*, 2000).

-
1. Temperatura promedio anual (°C)
 2. Oscilación diurna de la temperatura (°C)
 3. Isotermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
 4. Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
 5. Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)
 6. Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
 7. Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
 8. Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
 9. Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
 10. Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
 11. Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
 12. Precipitación anual (mm)
 13. Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
 14. Precipitación del periodo más seco (mm)
 15. Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
 16. Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
 17. Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
 18. Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
 19. Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)
-

3.3 Datos de distribución de las especies

La distribución de las especies características del BMM seleccionadas para cada grupo (apéndice 2), se obtuvo a partir de la lista contenida en los estudios florísticos, estructurales y ecológicos consultados. Los registros se georeferenciaron en coordenadas geográficas con base en los mapas de las zonas de estudio de cada publicación y con ayuda de los mapas de uso de suelo y vegetación del Inventario Nacional Forestal (Palacio-Prieto *et al.*, 2000), cartas topográficas escala 1: 50000 y 1:250000 publicadas por INEGI.

Adicionalmente se obtuvo información de la base de datos de la Dra. Isolda Luna Vega, del laboratorio del laboratorio de Biogeografía y Sistemática, del

3.4 Mapas de distribución actual

Los mapas de la distribución potencial actual se elaboraron mediante la intersección de los registros de presencia de las especies con los polígonos de BMM, del mapa digital de uso de suelo y vegetación del Inventario Nacional Forestal (Palacio-Prieto *et al.*, 2000) en el SIG ArcView ver. 3.2a (ESRI, 2000).

3.5 Coberturas ambientales

Se utilizaron coberturas digitales actuales y de cambio climático en formato de celdas (raster); 19 corresponden a parámetros bioclimáticos (cuadro 2) y las seis restantes a características del terreno (modelo digital de elevación [MDE], orientación, pendiente, índice topográfico compuesto, direcciones de acumulaciones de flujo, direcciones de flujo).

Las 19 coberturas bioclimáticas actuales fueron generadas a partir de los datos de las estaciones meteorológicas, mediante el algoritmo de interpolación “thin plate smoothing splines”, dentro del programa ANUSPLIN y proporcionadas por Oswaldo Téllez Valdés (Facultad de Estudios Superiores de Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, tellez@servidor.unam.mx).

Las coberturas topográficas se obtuvieron de la página electrónica del proyecto HIDRO1K del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (US Geological Survey), disponibles en la dirección electrónica http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/na_merica.

Las coberturas bioclimáticas de los escenarios de cambio climático se descargaron en la página electrónica del proyecto WORLDCLIM (Hijmans *et al*, 2005), desarrollada por el Museo de Zoología de Vertebrados de la Universidad de California, Berkeley, en colaboración con el Centro Internacional de Agricultura Tropical y el Rainforest CRC, disponibles en la dirección electrónica <http://www.worldclim.org/futdown.htm>.

Las coberturas de los escenarios de cambio climático van de acuerdo con los datos obtenidos en la tercera evaluación del panel intergubernamental de cambio climático (IPCC), calibrados y la resolución espacial mejorada estadísticamente, utilizando como base los datos actuales del proyecto WORLDCLIM; los escenarios A2A y B2a de los modelos climáticos de circulación general acoplado (CGCM2) del Centro Canadiense para el Análisis y Modelado Climático (**CCCMA**); el modelo **HADCM3** del reporte de la tercera evaluación del Centro Hadley y la Agencia Australiana **CSIRO**, para los años 2020, 2050 y 2080.

Todas las coberturas descargadas presentan una resolución espacial de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 km²), las coberturas de los escenarios de cambio climático disponibles corresponden a los promedios mensuales de la temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación, a partir de éstas se generaron las coberturas de los 19 parámetros bioclimáticos en el programa DIVAGIS versión 7.1.7.2 (Hijmans *et al.*, 2004), y se cortaron para cada una de las áreas de ubicación de los grupos en ArcView, ver. 3.2a (ESRI, 2000).

3.6 Sistemas de modelado del nicho ecológico

DesktopGARP. Para cada especie se utilizaron los siguientes parámetros: Optimización, 100 modelos, límite de convergencia 1×10^{-4} , número máximo de iteraciones 10000; se emplearon el 75 % de las localidades como sitios de entrenamiento y el 25% como sitios de validación; tipos de reglas por default (atómica, distribución, distribución negada y regresión logística); selección de los 10 mejores modelos con base en los valores más bajos de omisión (Anderson *et al.*, 2003).

En SIG ArcView ver. 3.2a (ESRI, 2000), se sumaron los 10 mejores modelos para obtener un mapa de consenso clasificado en sitios de presencia-ausencia, considerando un porcentaje de coincidencia $\geq 90\%$.

Finalmente, cada mapa con la distribución potencial actual se delimitó con los mapas digitales de las provincias florísticas de México (*sensu* Rzedowski (1978), Rzedowski y Trujillo (1990) y con las subprovincias geológicas de Ferrusquía-Villafranca (1998) (Anderson y Martínez-Meyer, 2004). Además, con el fin de considerar el cambio de uso actual y descartar las zonas perturbadas no disponibles para la especie (áreas agrícolas, pecuarias y urbanas), el mapa resultante se delimitó con el mapa digital del Inventario Nacional Forestal del año 2000 (Instituto de Geografía, UNAM).

El cálculo de la disminución e incremento en el área de distribución de cada especie considerando los efectos del cambio climático se efectuó en ArcView ver. 3.2a (ESRI, 2000) y se analizaron de manera independiente. El efecto del cambio climático global sobre el BMM para cada uno de los grupos en las fechas consideradas (2020, 2050 y 2080), se obtuvo mediante la sumatoria de las respuestas individuales de cada una de las especies estudiadas.

MaxEnt. Se realizaron 100 réplicas del modelo para cada especie, utilizando el 75% de los registros para entrenamiento y el 25% para validación, los parámetros

de control para obtener los modelos, fueron un multiplicador de regularización de 1, número máximo de puntos de fondo 10000, un número máximo de iteraciones de 10000, un límite de convergencia de 1×10^{-5} . Para especies con pocos registros se seleccionaron las siguientes características en el funcionamiento del algoritmo: lineal - menos de 10 registros; lineal y cuadrática - de 10 a 14 registros; lineal, cuadrática y "hinge" - de 14 a 79 registros; todas las opciones (auto features) para más de 80 registros.

Se seleccionaron los 10 mejores modelos, con base en los valores más altos del área bajo la curva ($AUC \geq 0.95$), analizando las curvas ROC de los modelos y se promediaron en el SIG ArcView ver. 3.2a (ESRI, 2000) y obteniendo un mapa clasificado en sitios de presencia-ausencia, considerando el umbral de "maximum training sensitivity specificity" (Contreras-Medina *et al.*, 2010).

El procedimiento de delimitación de cada mapa y los cálculos de las disminuciones e incrementos de las áreas de distribución, al igual que el efecto del cambio climático global sobre el BMM para cada uno de los grupos, se calcularon mediante el mismo procedimiento que con el sistema de modelación GARP.

4. RESULTADOS

4.1 Clasificación numérica y selección de las especies características del BMM

La base de datos de la flora vascular del BMM de México compilada incluye angiospermas, gimnospermas y helechos; está compuesta por 213 familias, 1426 géneros y 6453 especies.

A partir de la revisión y depuración de la base de datos original, se construyó una matriz de presencia-ausencia compuesta por 83 localidades que incluye 2856 especies, pertenecientes a 180 familias y 897 géneros. La ubicación geográfica de las 83 unidades geográficas operativas de BMM consideradas en este estudio se presentan en la figura 2 y apéndice 1.

El análisis de agrupamiento, permitió identificar 13 grupos y subgrupos en los dendrogramas (figuras 3 y 4). Los 13 grupos (A al M) se delimitaron considerando un valor de corte mínimo de 44.3% de la información remanente. Los grupos definidos corresponden, de manera general, con las provincias florísticas de México (*sensu* Rzedowski, 1978), Rzedowski y Trujillo (1990) y con las subprovincias geológicas de Ferrusquía-Villafranca (1998) (apéndice 1).

El dendrograma generado con los dos índices de similitud muestra una topología general similar, las principales diferencias se presentan en la estructura interna de asociación del grupo D y en que el dendrograma creado con el índice de Sorensen (Bray–Curtis, figuras 3 y 4) presenta mayores porcentajes de similitud entre los grupos, que el obtenido con el índice de Jaccard.

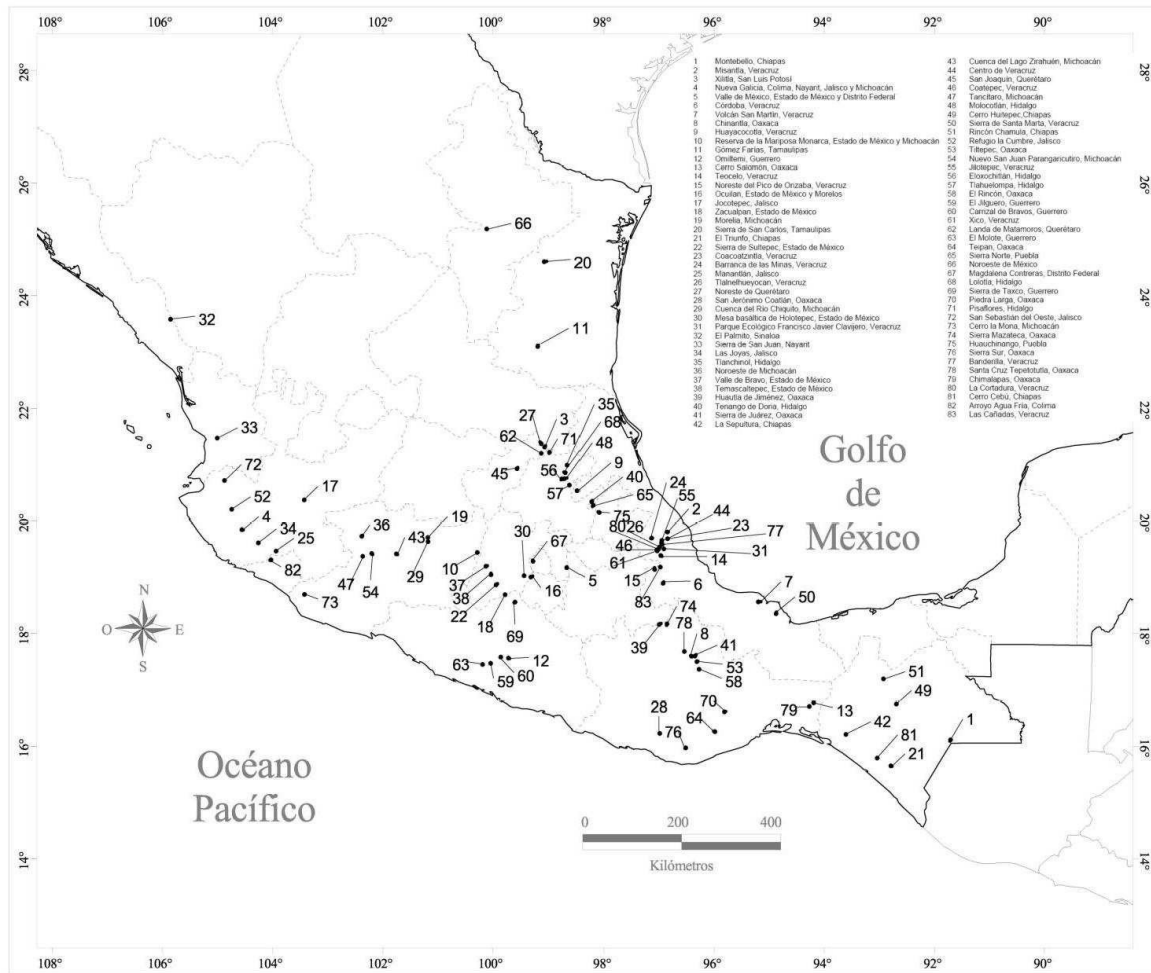


Figura 2. Ubicación geográfica de diferentes localidades de BMM en México.

El grupo A incluye los BMM de dos provincias florísticas, *sensu* Rzedowski (1978) y Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990): la Sierra Madre Oriental (en lo sucesivo SMO) y las Serranías Meridionales (SM) del centro de Veracruz. El grupo se subdividió en tres subgrupos. El A1 (figura 5a), al centro de la SMO incluye seis BMM de Hidalgo y el de Huayacocotla Veracruz (con 90% de similitud florística); el A2 (figura 5a), al norte de la SMO, incluye los BMM de Querétaro y el de Gómez Farías, Tamaulipas (70% de similitud) y el subgrupo A3 (figura 5a), al sur de la SMO, que incluye siete BMM del centro de Veracruz (55% de similitud) (figura 3).

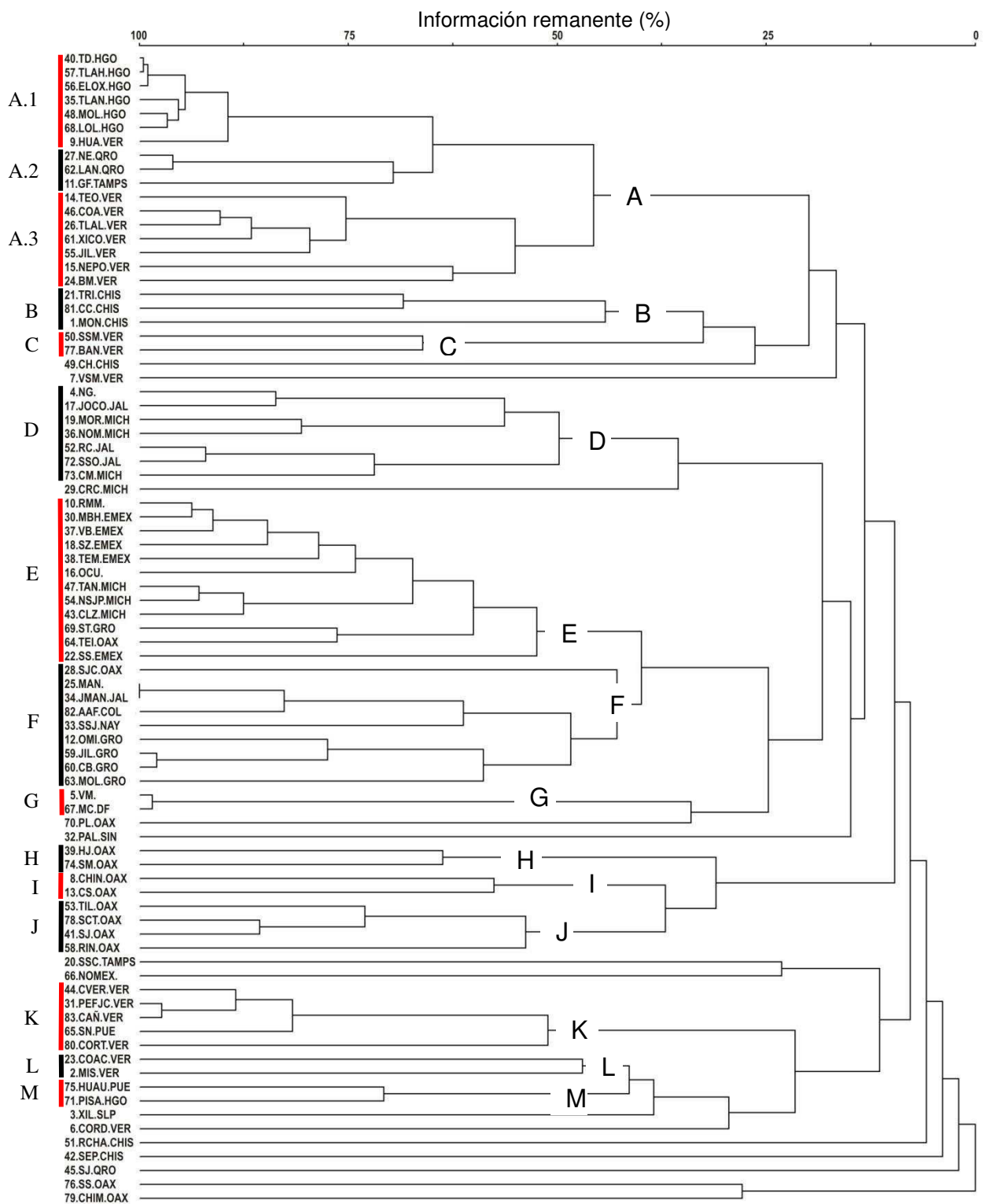


Figura 3. Dendrograma de la similitud florística de los 83 OGUS de BMM mediante el índice de similitud de Sorensen (Bray-Curtis).

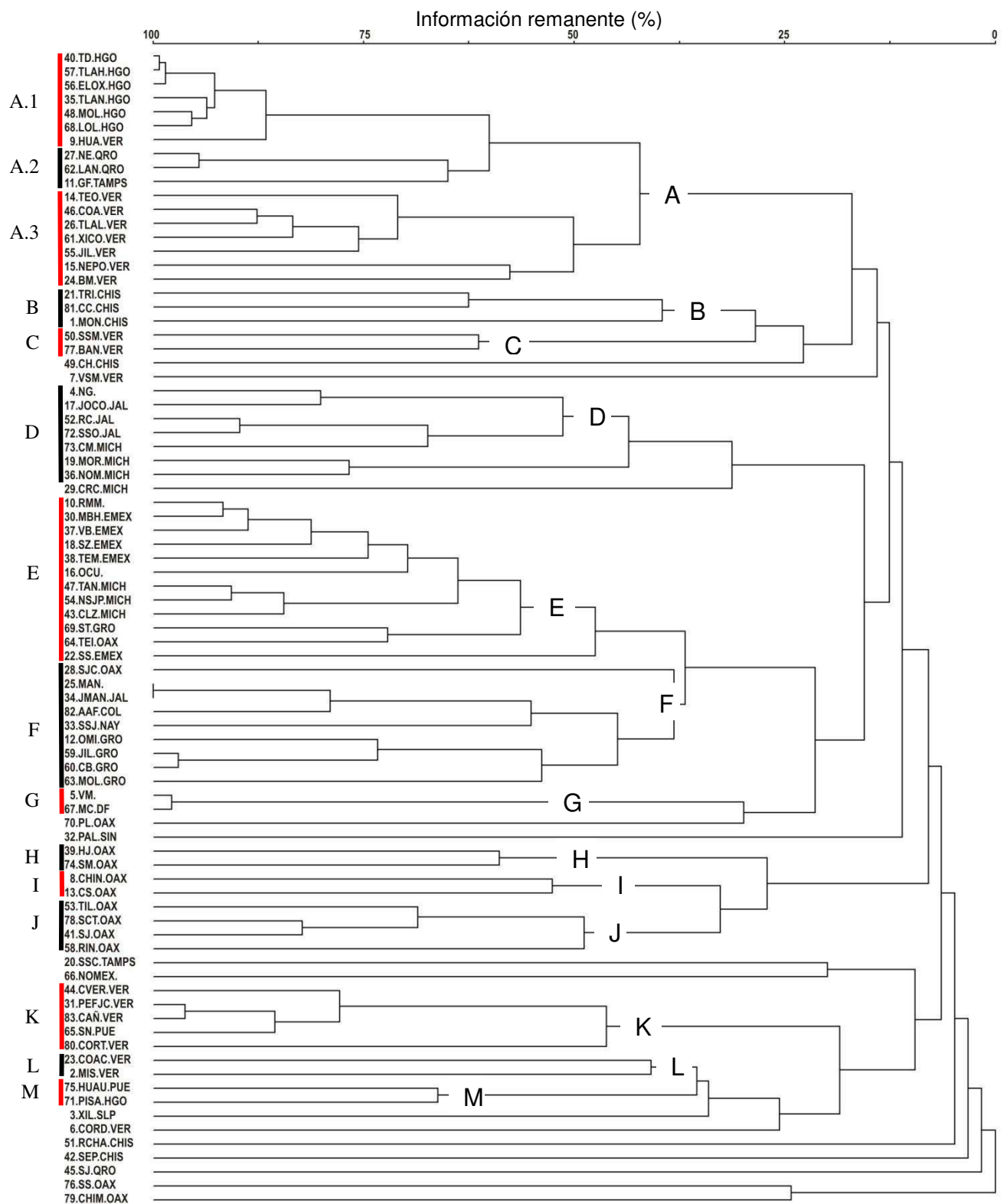
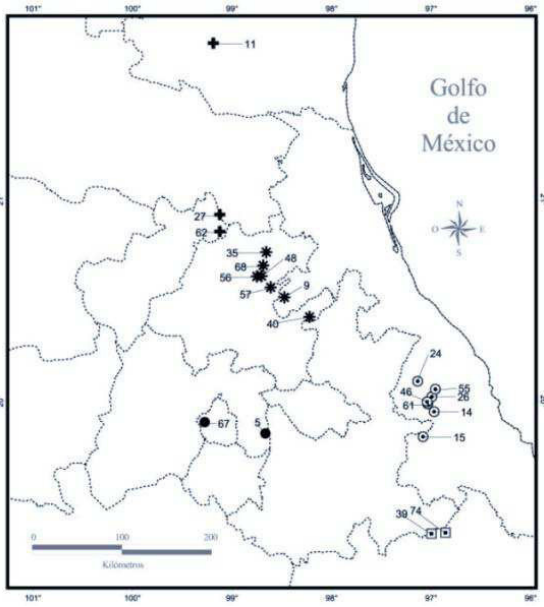
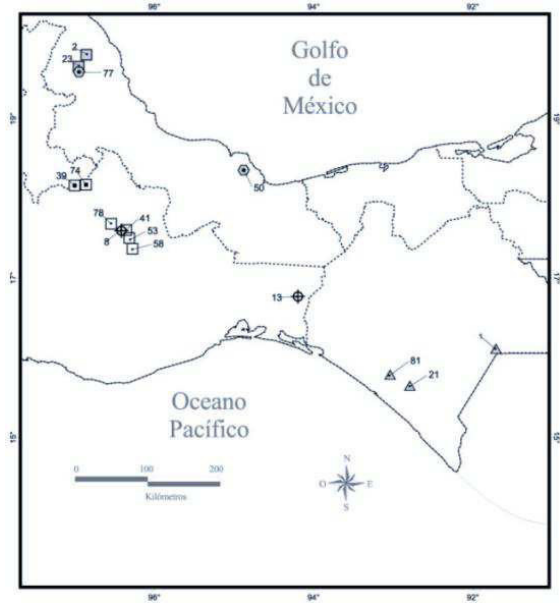


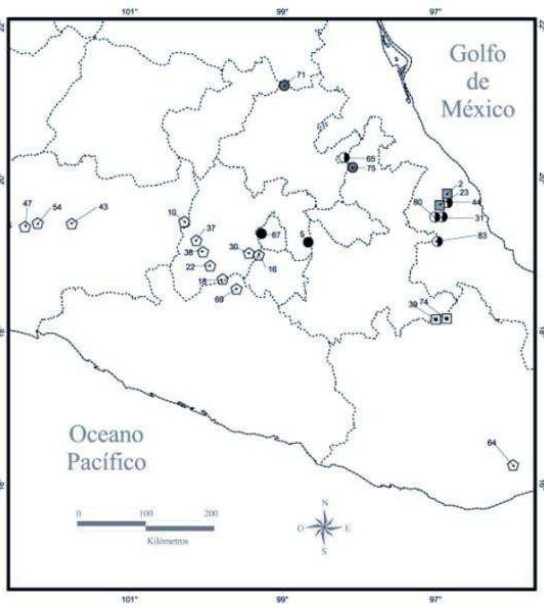
Figura 4. Dendrograma de la similitud florística de los 83 OGUS de BMM mediante el índice de similitud de Jaccard (Bray-Curtis).



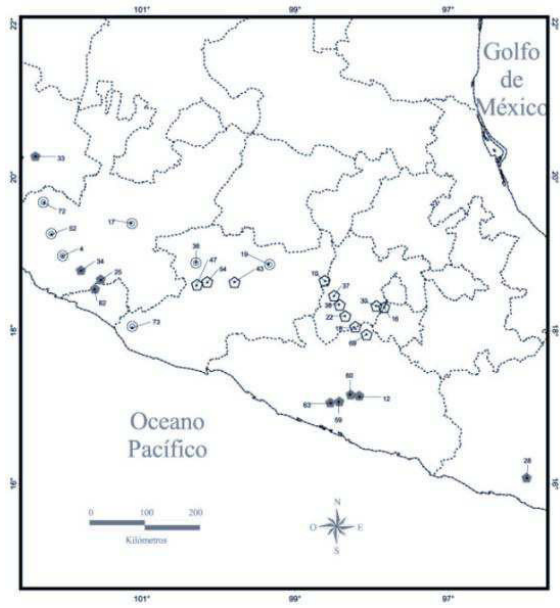
A



B



C



D

Figura 5. Ubicación geográfica de los grupos y subgrupos florísticos. a) grupos: A1(*), A2 (+), A3 (c), G (•) y H (⊕); b) grupos: B (◊), C (⊕), H (⊕), I (⊕), J (⊕) y L (⊕); c) grupos: E (◊), G (•), H (⊕), K (◊), L (⊕) y M (•); d) grupos: D (◊), E (◊) y F (◊).

El grupo A posee una alta diversidad florística en la sinusia arbórea, las especies características del grupo son: *Carpinus caroliniana*, *Liquidambar styraciflua*, *Sambucus nigra var. canadensis* y *Xylosma flexuosa*. Las especies diagnósticas del estrato arbóreo del subgrupo A1 se presentan en el apéndice 2, de ellas, las que se enlistan dentro de alguna categoría de riesgo para la conservación son: *C. caroliniana* y *Magnolia schiedeana* (amenazadas – A), *Acer negundo var. mexicanum*, *Cyathea fulva*, *Ostrya virginiana* y *Podocarpus matudae*, (sujetas a protección especial – Pr). Las especies características de los estratos arbustivo y herbáceo para éste y los grupos subsecuentes se enlistan en el apéndice 2.

Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 17.1°C, una precipitación anual de 2385 mm y en un intervalo altitudinal que va de los 730 a 2500 m s.n.m. (apéndice 3).

En el subgrupo A2, dentro del estrato arbóreo representativo (apéndice 2) se presentan las siguientes especies en categorías de riesgo: *C. caroliniana* y *M. schiedeana* (A), *Litsea glaucescens* y *M. dealbata* (en peligro de extinción – P), *Alsophila firma*, *O. virginiana* y *Taxus globosa* (sujetas a protección especial – Pr).

Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 20.7°C, una precipitación anual de 1048 mm y un intervalo altitudinal de los 600 a 2650 m s.n.m. (apéndice 3).

El subgrupo A3 presenta un estrato arbóreo variado (apéndice 2), en él se encuentran las siguientes especies en alguna categoría de riesgo: *C. caroliniana* (A) y *L. glaucescens* (P).

Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 16.2°C, una precipitación anual de 1541 mm y en un intervalo altitudinal que va de los 895 a 2690 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo B (figura 3b) está integrado por tres bosques ubicados en el Soconusco y las serranías Transísmicas de Chiapas (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), con 45% de similitud florística. Las especies características del estrato arbóreo (apéndice 2) incluidas en alguna categoría de riesgo son: *Cyathea fulva* y *Podocarpus matudae* (Pr).

Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 17.9°C, una precipitación anual de 1861 mm y en un intervalo altitudinal que va de los 1000 a 2980 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo C (figura 3b) conjunta los BMM ubicados en el Golfo de México, la Sierra de Santa Martha y una localidad de la SMO, Banderilla, Veracruz (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990) (figura 2); con 66% de similitud florística. Los árboles dominantes son: *C. caroliniana* (A), *A. firma*, *Cyathea bicrenata* y *Cyathea divergens* var. *tuerckheimii* (Pr).

Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 20.3°C, una precipitación anual de 2405 mm y en un intervalo altitudinal que va de los 1040 a 1610 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo D (figura 3d) incluye a los bosques de las Serranías Meridionales de Jalisco y Michoacán (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), con 50% de similitud florística. Los árboles más notables son *C. caroliniana* (A) y *Tilia americana* var. *mexicana* (P).

Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 18.9°C, precipitación anual de 1102 mm y en un intervalo altitudinal que va de los 780 a 2625 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo E (figura 3c) integra los bosques de las Serranías Meridionales en los estados de México, Guerrero, Michoacán, Morelos (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990) y una localidad de la Sierra Madre del Sur de

Oaxaca (figura 2), con 53% de similitud florística. La especie arbórea predominante es *C. caroliniana* (A).

Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 13.6°C, precipitación anual de 999 mm y en un intervalo altitudinal que va de 1000 a 2950 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo F (figura 3d) conjunta a los bosques de las Serranías Meridionales de Guerrero, Colima, Jalisco, Oaxaca y Nayarit (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), con 43% de similitud florística. Los árboles característicos son *C. caroliniana* (A), *O. virginiana* (Pr), *Saurauia serrata* (Pr) y *Zinowiewia concinna* (P).

Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual 22.3°C, precipitación anual de 1318 mm y en un intervalo altitudinal de 775 a 2900 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo G (figura 3a) integra dos bosques ubicados en las Serranías Meridionales dentro de los límites del Valle de México (Iztaccíhuatl y Magdalena Contreras), con 99% de similitud florística. El árbol característico del grupo y que está listado en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) es *A. negundo* var. *mexicanum* (Pr).

Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 13.6°C, una precipitación anual de 999 mm y en un intervalo altitudinal de 2500 a 3135 m s.n.m. (apéndice 3).

Los grupos H, I y J agrupan los bosques de Serranías Meridionales de Oaxaca y del Valle de Tehuacán (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990); el grupo H (figura 3b) conjunta los bosques de la Sierra Mazateca, con 64% de similitud florística; el grupo I (figura 3b), agrupa los bosques de la Chinantla y del Cerro Salomón en los Chimalapas, con 58% de similitud florística; y el grupo J (figura 3b) incluye los bosques de la parte norte de Oaxaca, con 54% de similitud

florística. Los árboles característicos en categorías de riesgo del grupo H son *M. schiedeana* (A), *C. fulva* y *P. matudae* (Pr).

Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 15.8°C, una precipitación anual de 1639 mm y en un intervalo altitudinal que va de los 1090 a 2690 m s.n.m. (apéndice 3).

El árbol característico para los grupos I y J que está enlistado en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) es *C. caroliniana* (A).

Los bosques del grupo I, se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual 18.2 °C, precipitación anual de 1692 mm y en un intervalo altitudinal que va de los 1420 a 2240 m s.n.m. (apéndice 3). Los bosques del grupo J se ubican en áreas con una temperatura promedio anual 17.6°C, una precipitación anual de 1661 mm y en un intervalo altitudinal de 985 a 2590 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo K (figura 3c) considera cuatro bosques ubicados en la SMO, en el centro de Veracruz y uno en la Sierra Norte de Puebla, con 51% de similitud florística. El árbol característico de este grupo está enlistado en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y es *M. schiedeana* (A). Estos bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual 17.5°C, precipitación anual de 1705 mm y en un intervalo altitudinal de 1100 a 2340 m s.n.m. (apéndice 3).

El grupo L (figura 3b) incluye dos bosques ubicados en la SMO de Veracruz, con 47% de similitud florística. Los árboles característicos son *Alchornea latifolia* y *Trichilia havanensis* (apéndice 2). Estos bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 18.5°C, una precipitación anual de 1659 mm y en un intervalo altitudinal que va de 700 a 2100 m s.n.m. (apéndice 3).

Finalmente, el grupo M (figura 3c) une dos BMM de la SMO, Huauchinango, Puebla y el de Pisaflores, Hidalgo, con 71% de similitud florística. Los árboles característicos son *Clethra mexicana*, *C. pringlei* y *Prunus brachybotrya* (apéndice

2). Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 16.1°C, una precipitación anual de 1679 mm y en un intervalo altitudinal de 850 a 2100 m s.n.m. (apéndice 3).

Los perfiles bioclimáticos de cada grupo (apéndice 3) indican los valores máximos, mínimos, promedio y desviación estándar de los 19 parámetros bioclimáticos obtenidos con el programa BIOCLIM.

El dendrograma de similitud bioclimática entre los grupos y subgrupos (figura 6) resultado del análisis de agrupamiento (Cluster analysis), muestra tres conjuntos bioclimáticos. En el conjunto 1 se unen nueve grupos y subgrupos, que se distribuyen desde la parte central y sur de la SMO, este de la Faja Volcánica Transmexicana (en lo sucesivo FVT), la Sierra Norte de Oaxaca y hasta los bosques de la Sierra Madre y Meseta Central de Chiapas. (figuras 2 y 5).

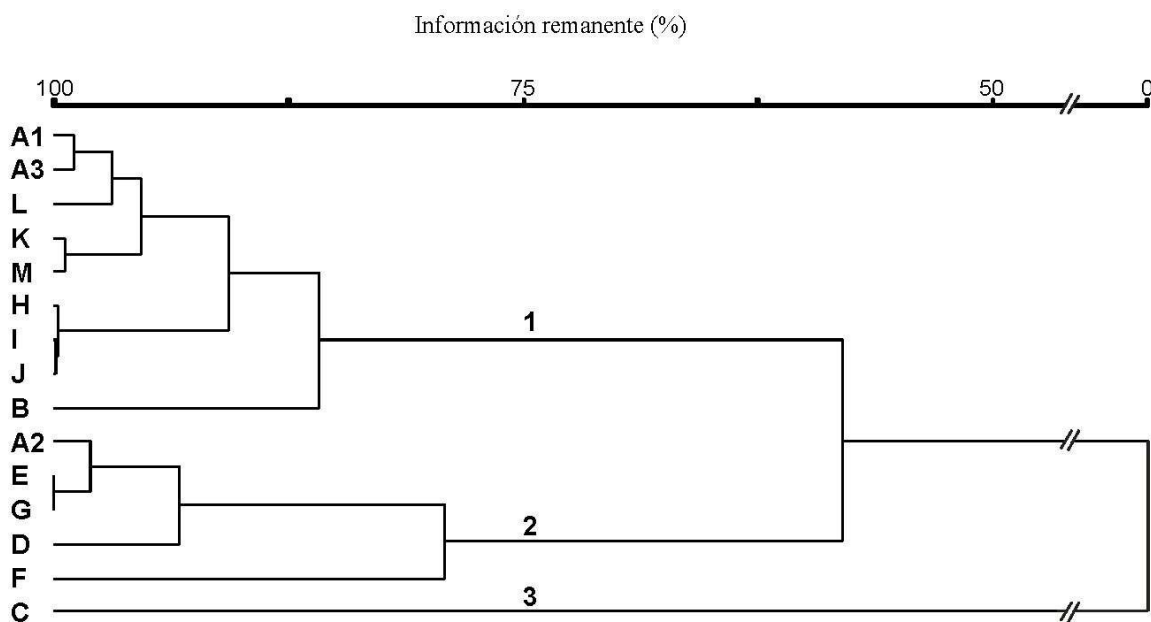


Figura 6. Dendrograma de la similitud bioclimática de los grupos y subgrupos de BMM mediante la distancia euclídeana.

El conjunto 2 se integra por cinco grupos y subgrupos, distribuidos al norte de la SMO, centro y oeste de la FVT, la Planicie Costera del Noroeste y los bosques de la Sierra Madre del Sur (figuras 2 y 5). El conjunto C (figura 6)

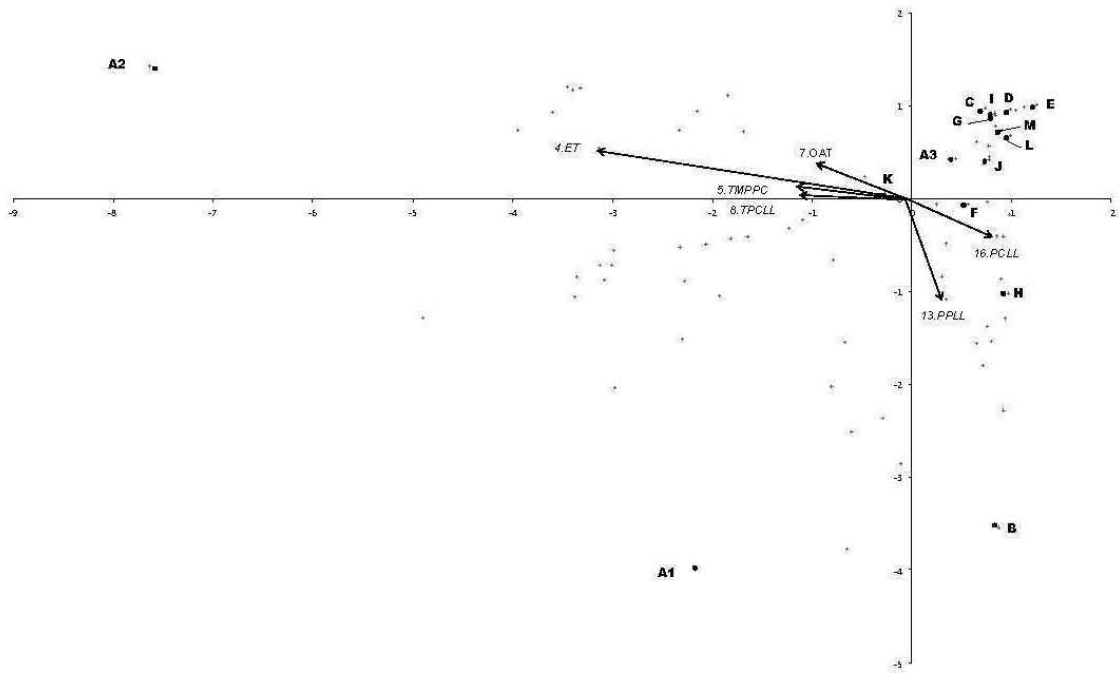
corresponde al grupo C que incluye dos bosques ubicados en la Planicie Costera del Golfo de México y en la parte este de la FVT (figuras 2 y 5).

La ordenación por componentes principales (figura 7) explica el 42.07% de la varianza acumulada entre los dos primeros ejes (1= 27.66, 2= 14.41). El análisis indica que la estacionalidad de la temperatura (4.ET) es el factor más importante, explica la variación a lo largo del eje de ordenación 1 ($r = -0.794$), seguido por la temperatura máxima promedio del periodo más cálido (5.TMPPC, $r = -0.475$) y la temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (8.TPCLL, $r = -0.471$). Para el eje 2, las principales variables bioclimáticas fueron la precipitación del periodo más lluvioso (13.PPLL, $r = -0.465$), la estacionalidad de la temperatura (4.ET, $r = 0.332$) y la precipitación del cuatrimestre más lluvioso (16.PCLL, $r = -0.282$).

En el lado izquierdo del eje 1 del espacio de ordenación se separa el subgrupo A2 ubicado al norte de la SMO, en la parte inferior del eje 2 se separa el subgrupo A1 y el grupo B ubicados al centro de la SMO y en Chiapas, respectivamente. Finalmente, de forma general los vectores obtenidos muestran gradientes de temperatura y de precipitación hacia la parte izquierda y derecha del espacio de ordenación.

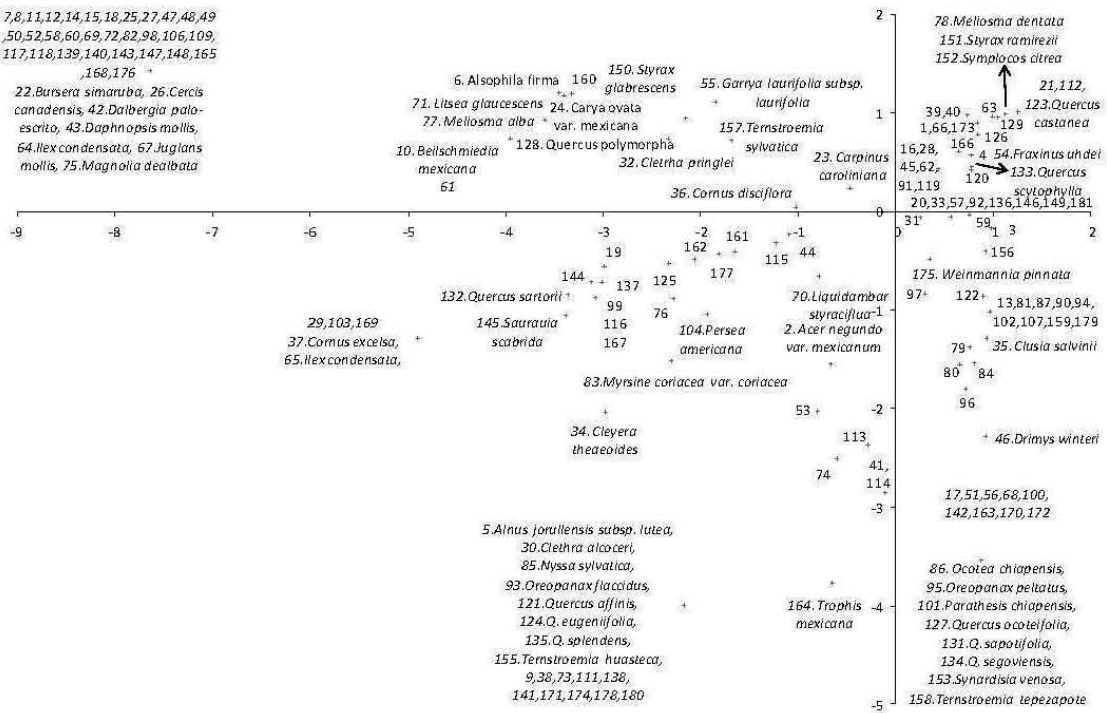
4.2 Mapas de distribución geográfica actual

Los mapas de la distribución actual de las especies características del BMM de cada uno de los grupos (A1 a M) muestran que los manchones de bosque presentan dos estados de conservación (BMM conservado y BMM con vegetación secundaria arbustiva y herbácea). Los registros de presencia de las especies coinciden parcialmente con los fragmentos de BMM, se observan manchones donde no se han realizado estudios de ningún tipo e incluso áreas donde se han realizado estudios pero no se registró la presencia de BMM en el Inventario Nacional Forestal del año 2000 (Instituto de Geografía, UNAM; Palacio-Prieto *et al.*, 2000).



a)

7,8,11,12,14,15,18,25,27,47,48,49
50,52,58,60,69,72,82,98,106,109,
117,118,139,140,143,147,148,165
168,176
22. *Bursera simaruba*, 26. *Cercis
canadensis*, 42. *Daibergeria pato-
escrito*, 43. *Daphnopsis mollis*,
64. *Ilex condensata*, 67. *Juglans
mollis*, 75. *Magnolia dealbata*



b)

Figura 7. Ordenación mediante Análisis de Componentes Principales de los BMM de México. Se explica el 42.07% de varianza acumulada. a) Grupos y subgrupos: A – M, Vectores: solo se muestran las variables bioclimáticas más importantes, b) Especies +

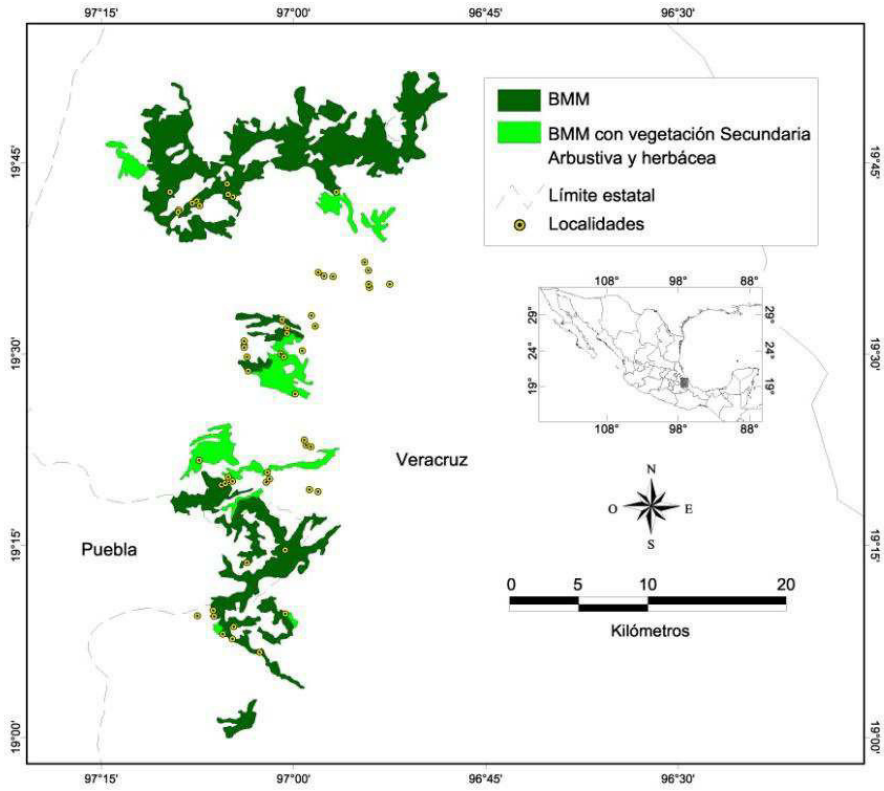


Figura 8. Distribución actual de *Liquidambar styraciflua* el área del grupo C.

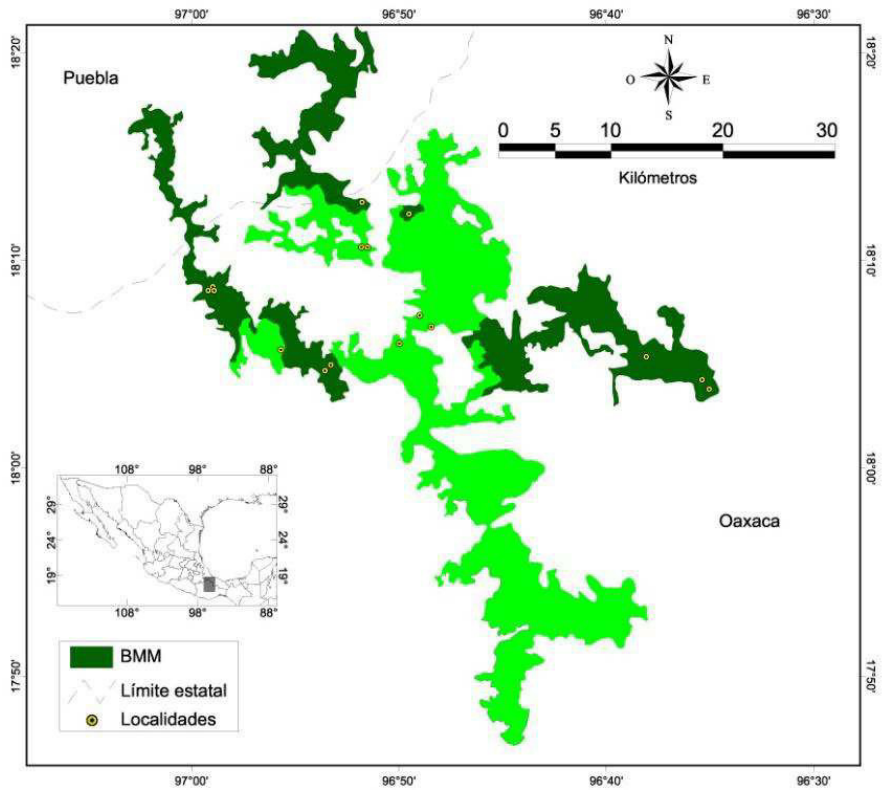
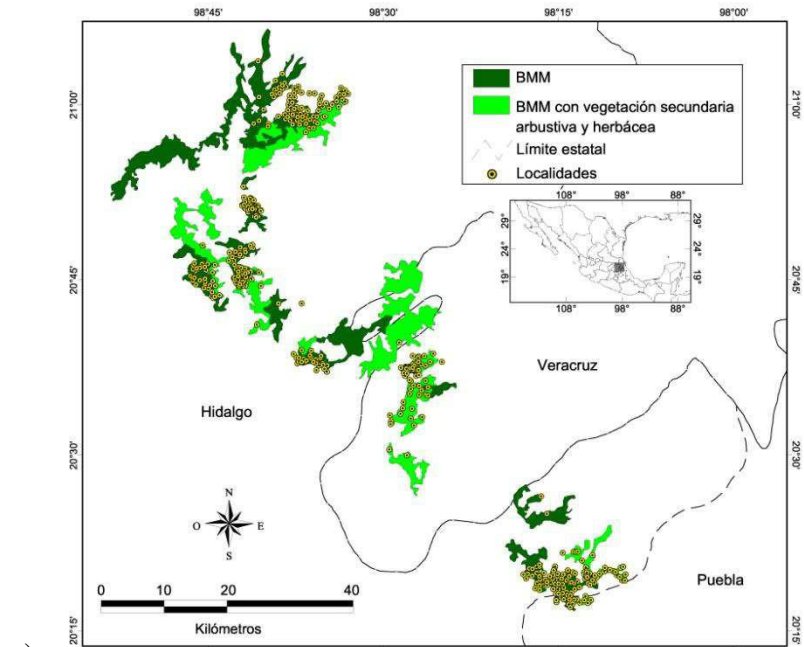
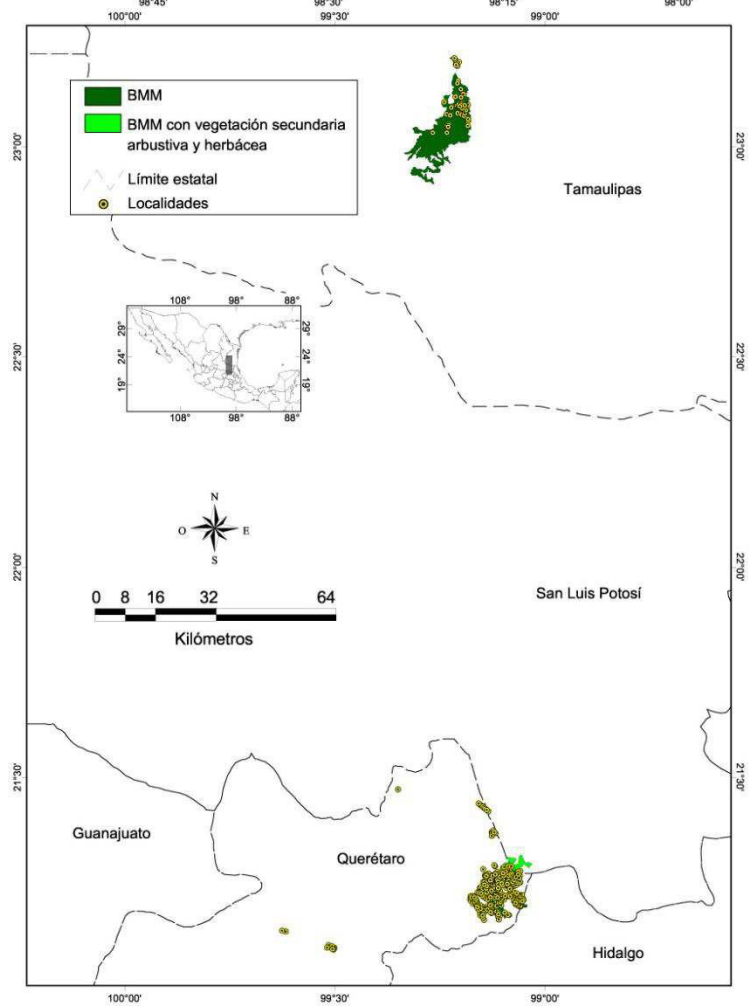


Figura 9. Distribución actual de *Magnolia schiedeana* para el área del grupo H.

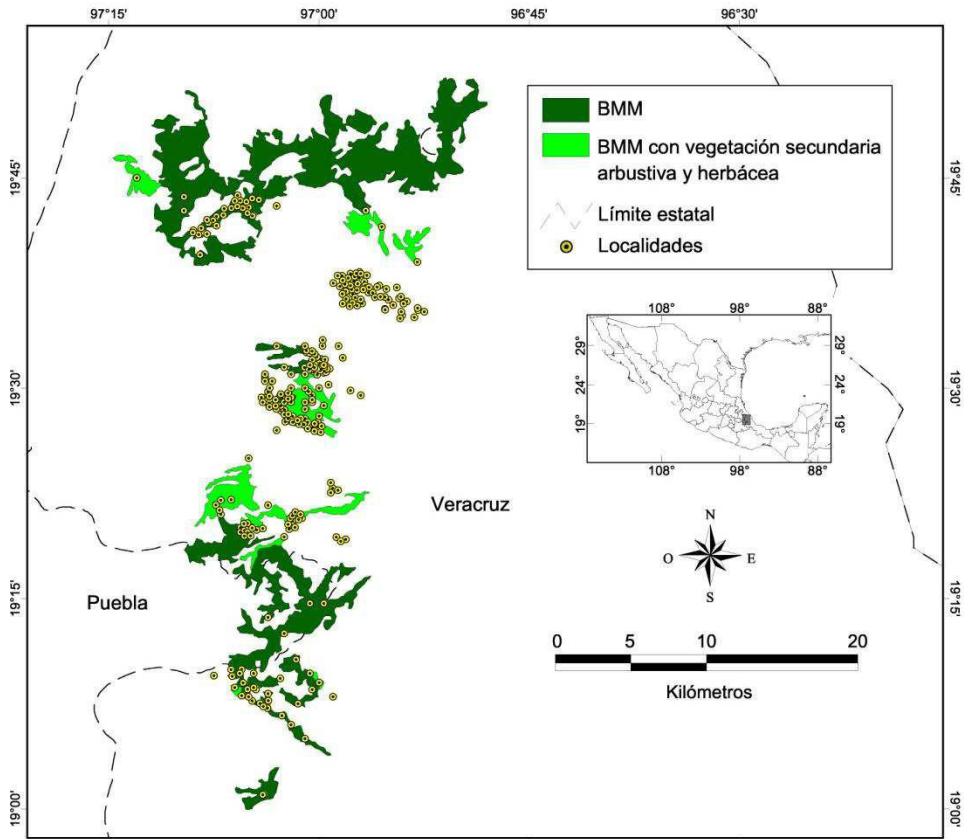


a)

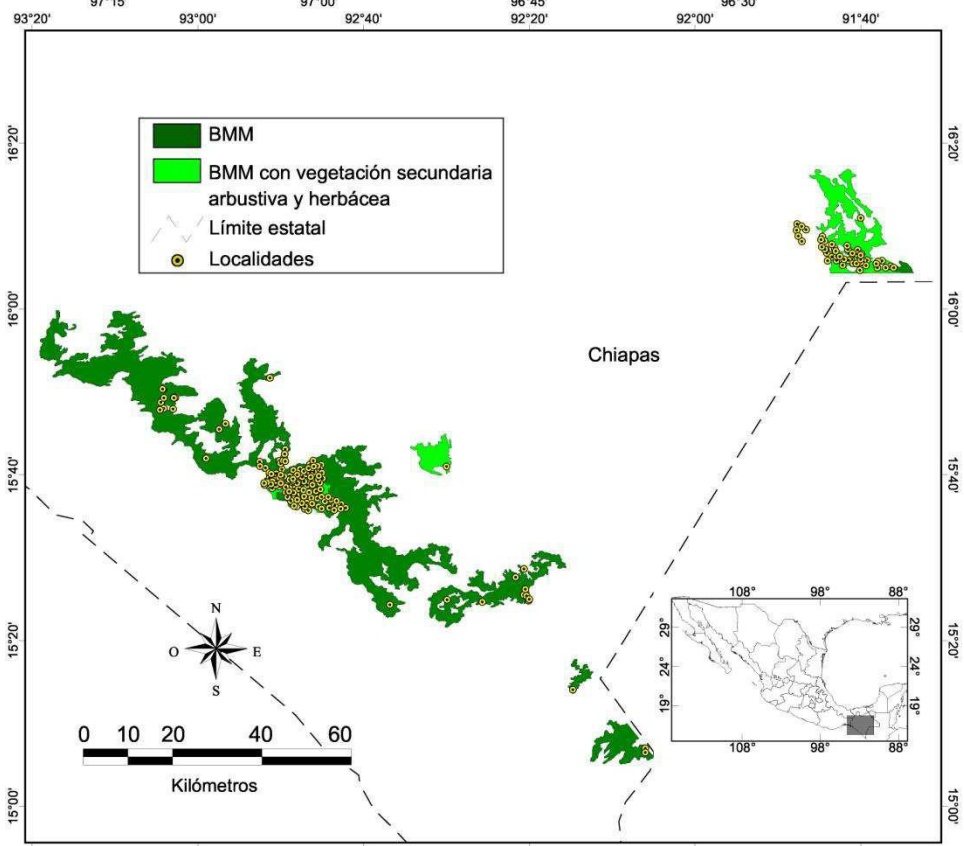


b)

Figura 10. Distribución geográfica actual de los grupos. a) A1, b) A2, c) A3, d) B, e) C, f) D, g) E, h) F, i) G, j) H, k) I, l) J, m) K, n) L, y o) M.

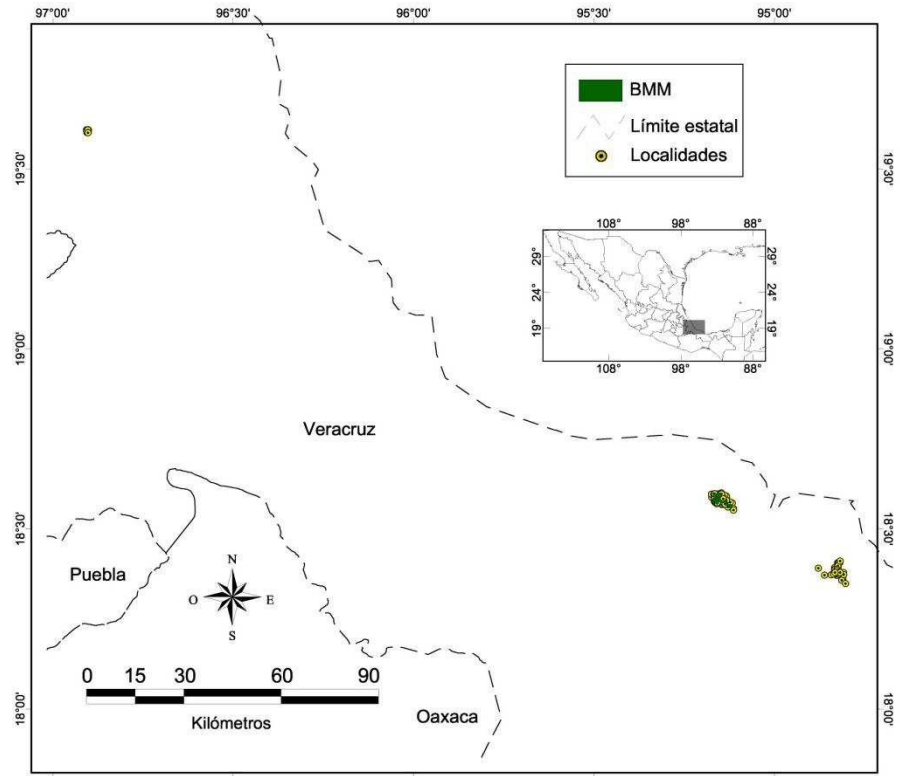


c)

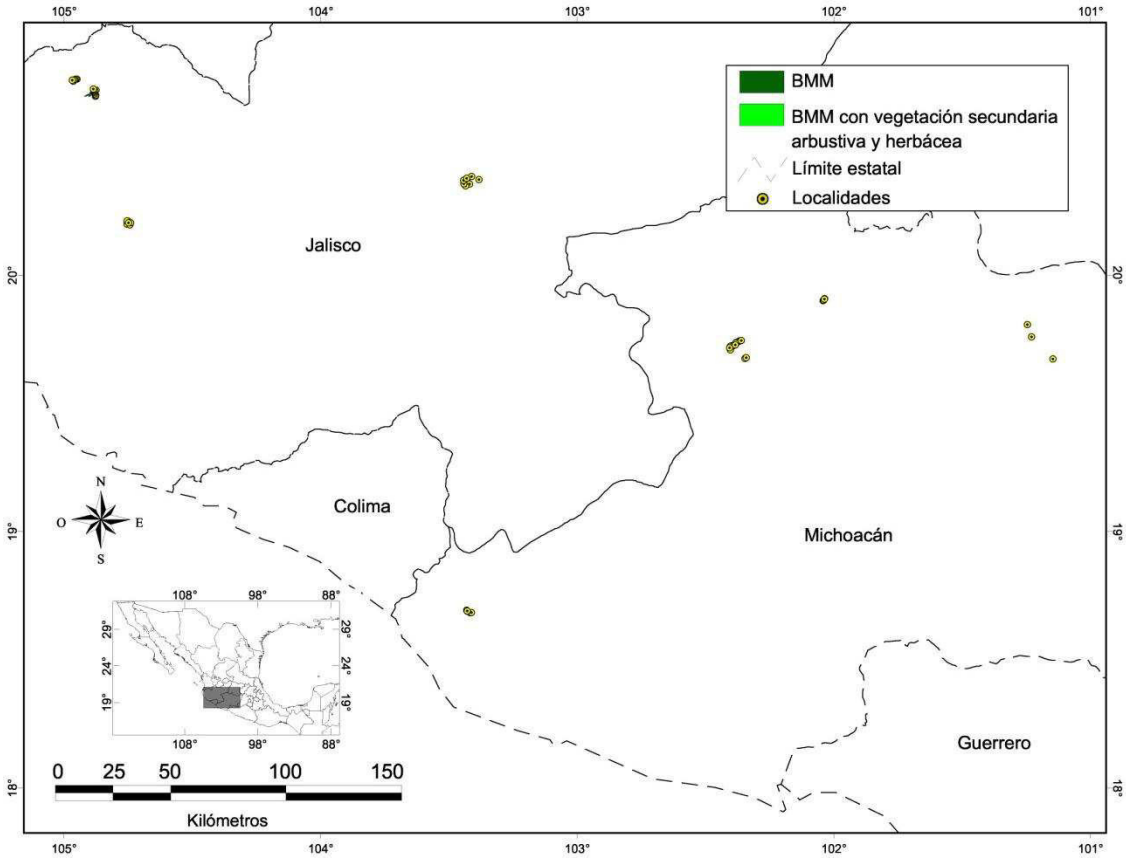


d)

Figura 10. Continuación.

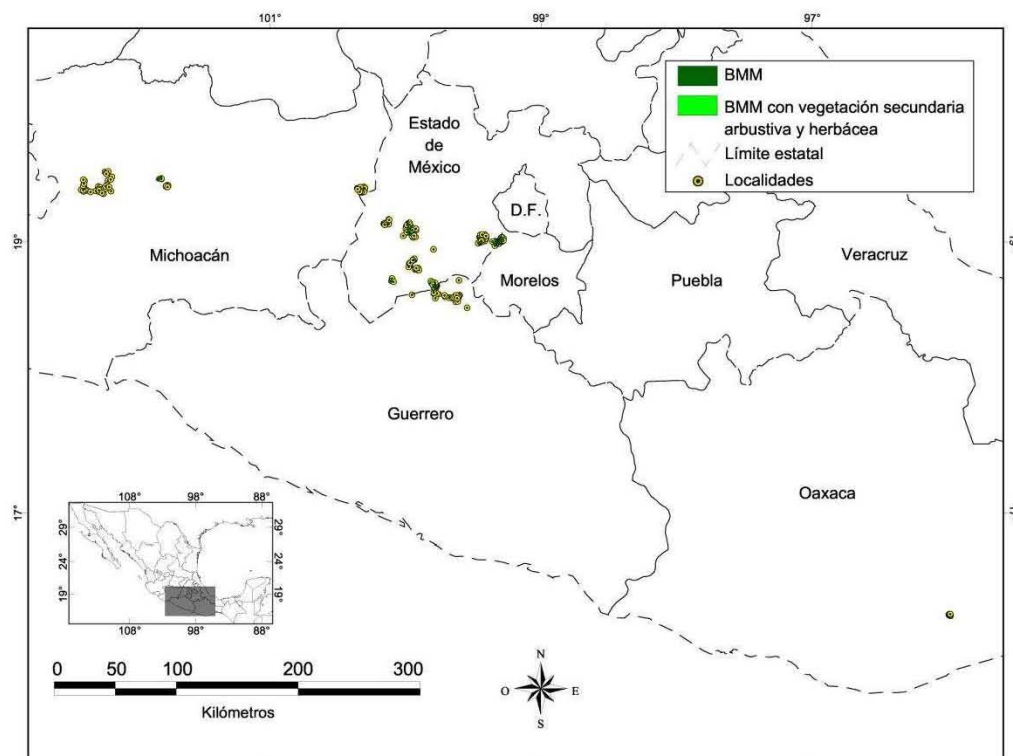


e)

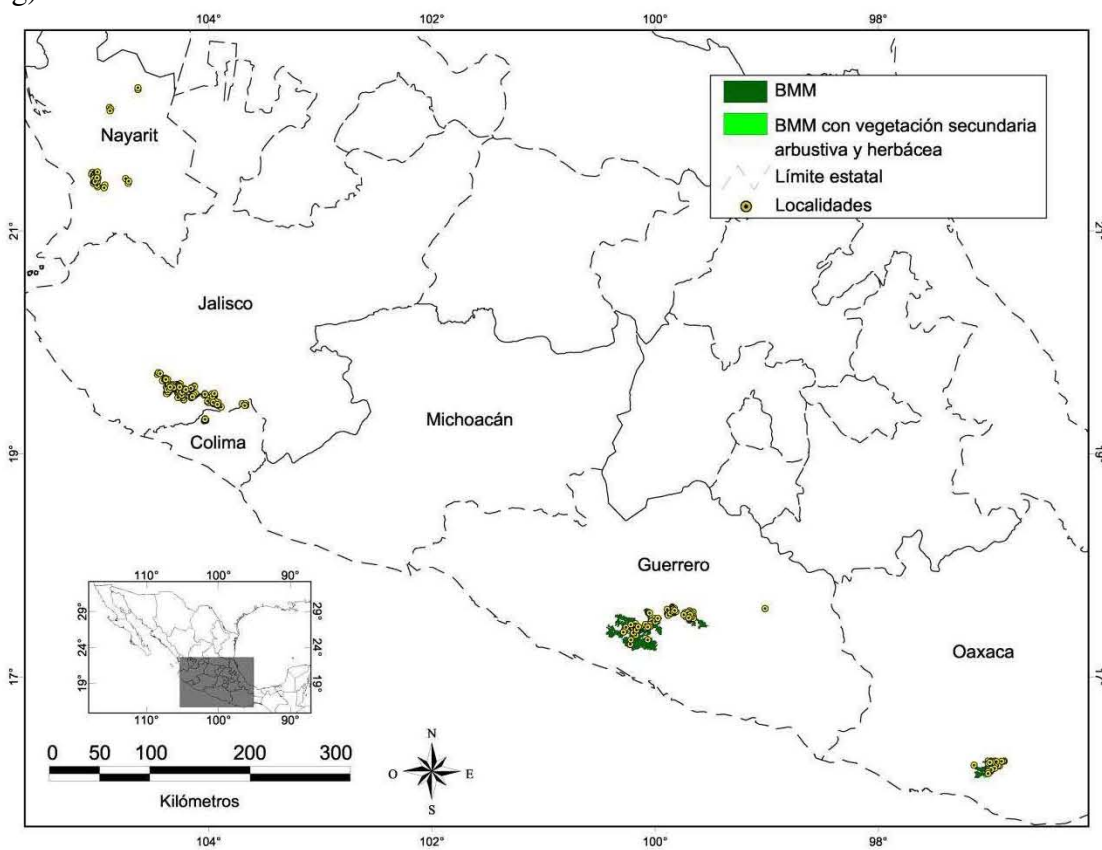


f)

Figura 10. Continuación.

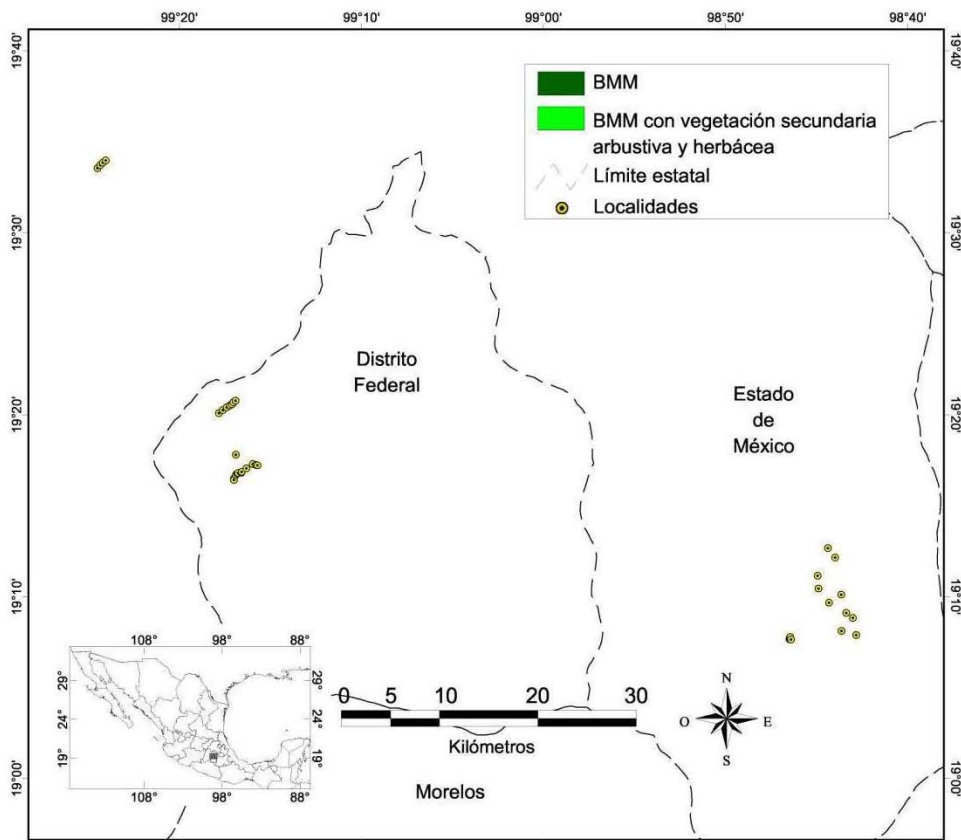


g)

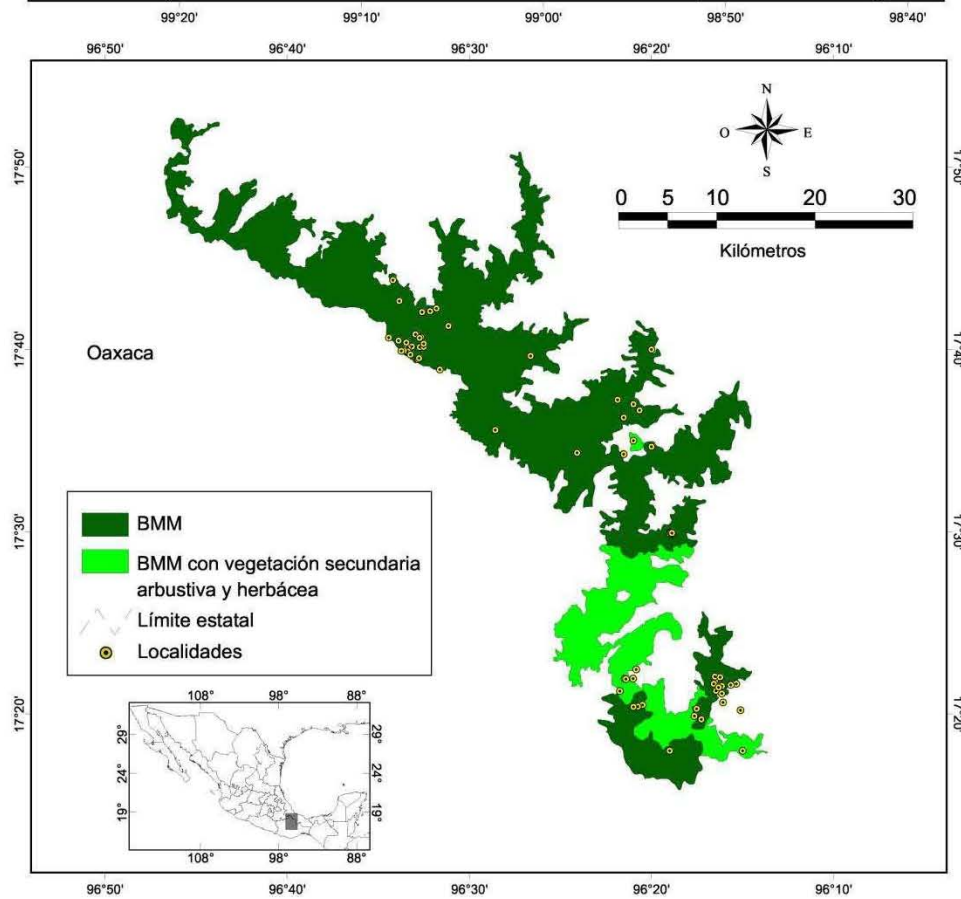


h)

Figura 10. Continuación.

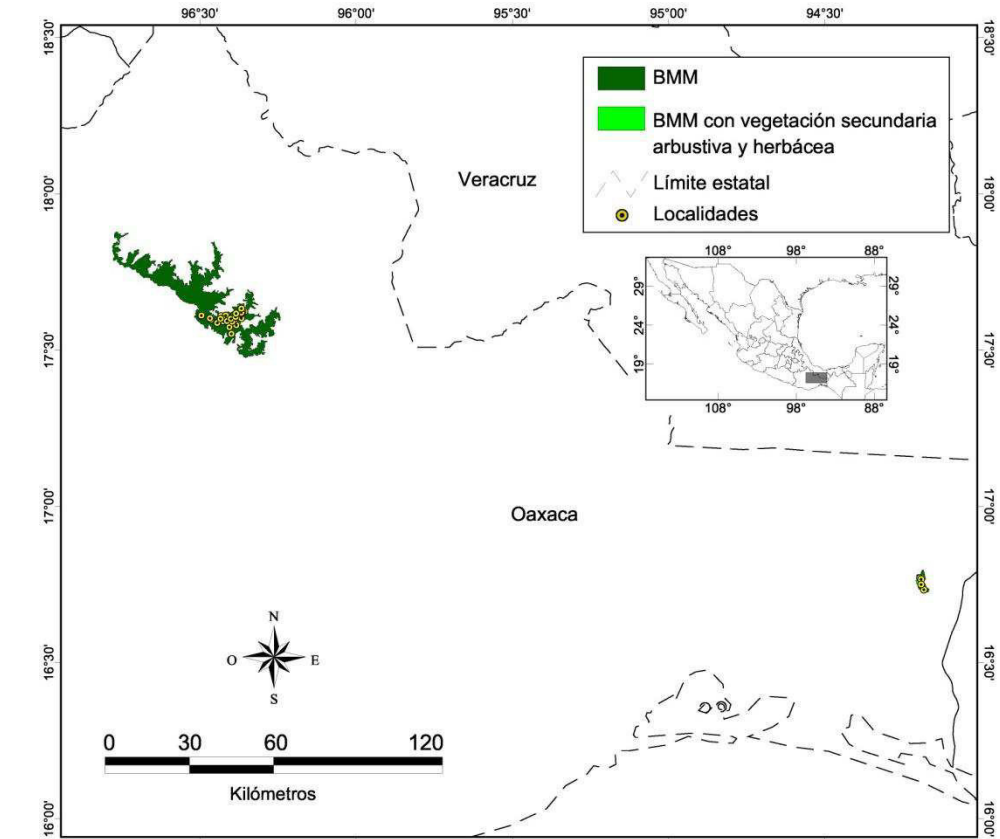


i)

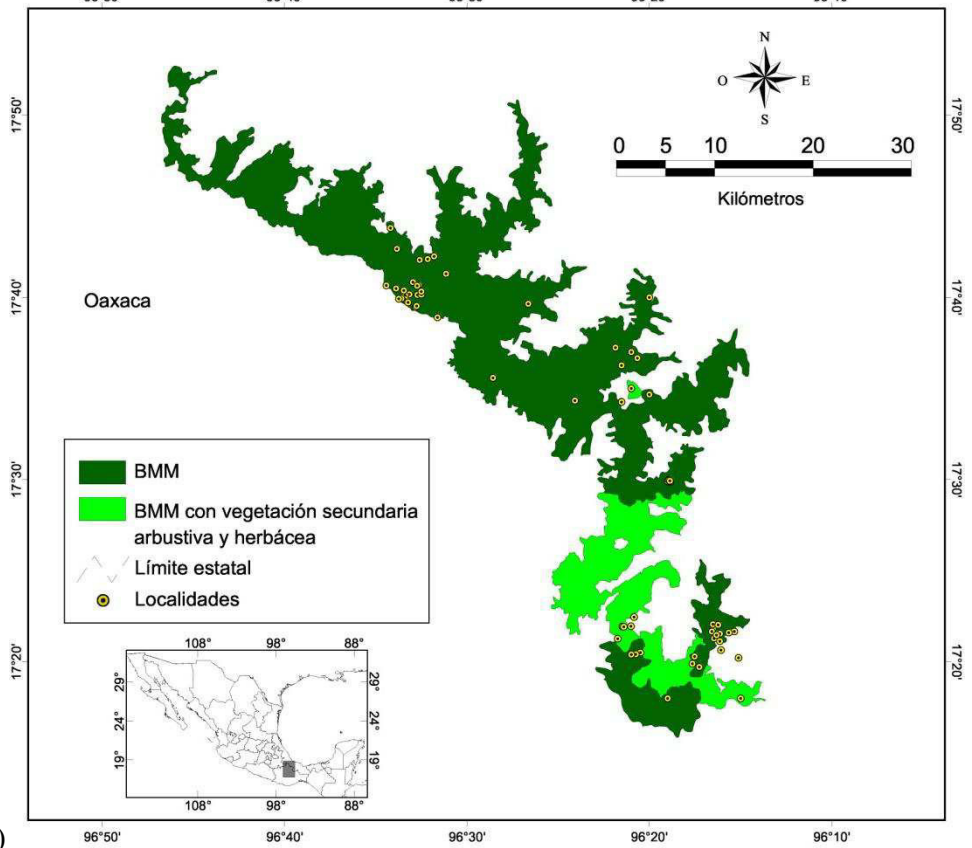


j)

Figura 10. Continuación.

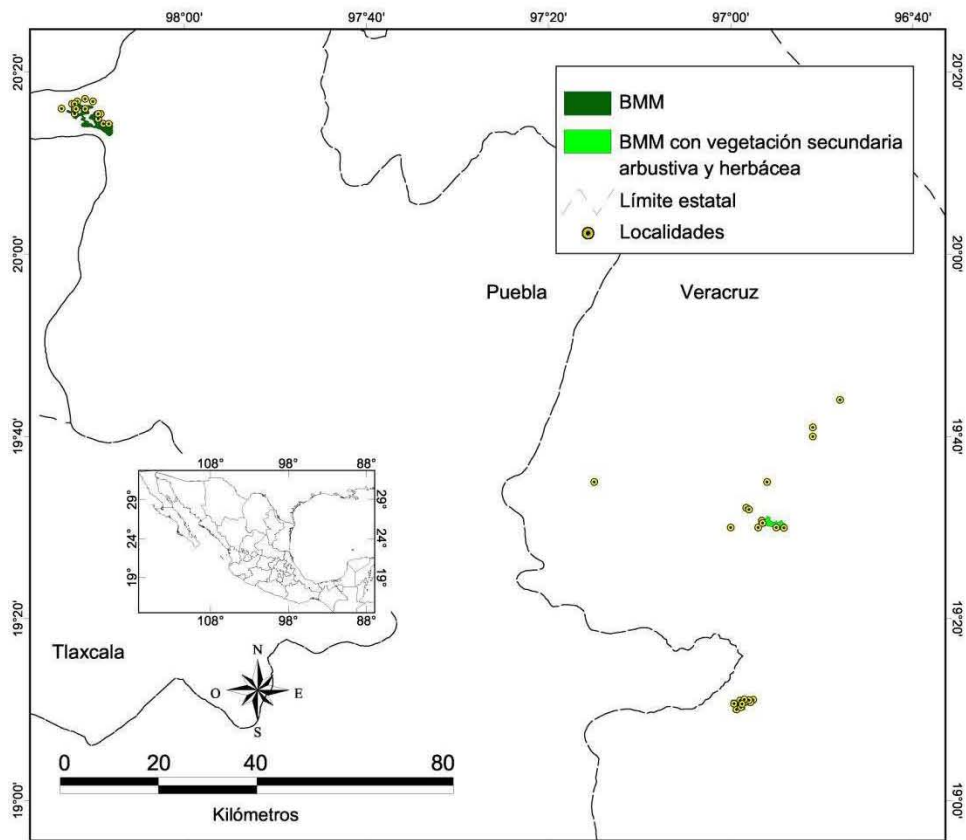


k)

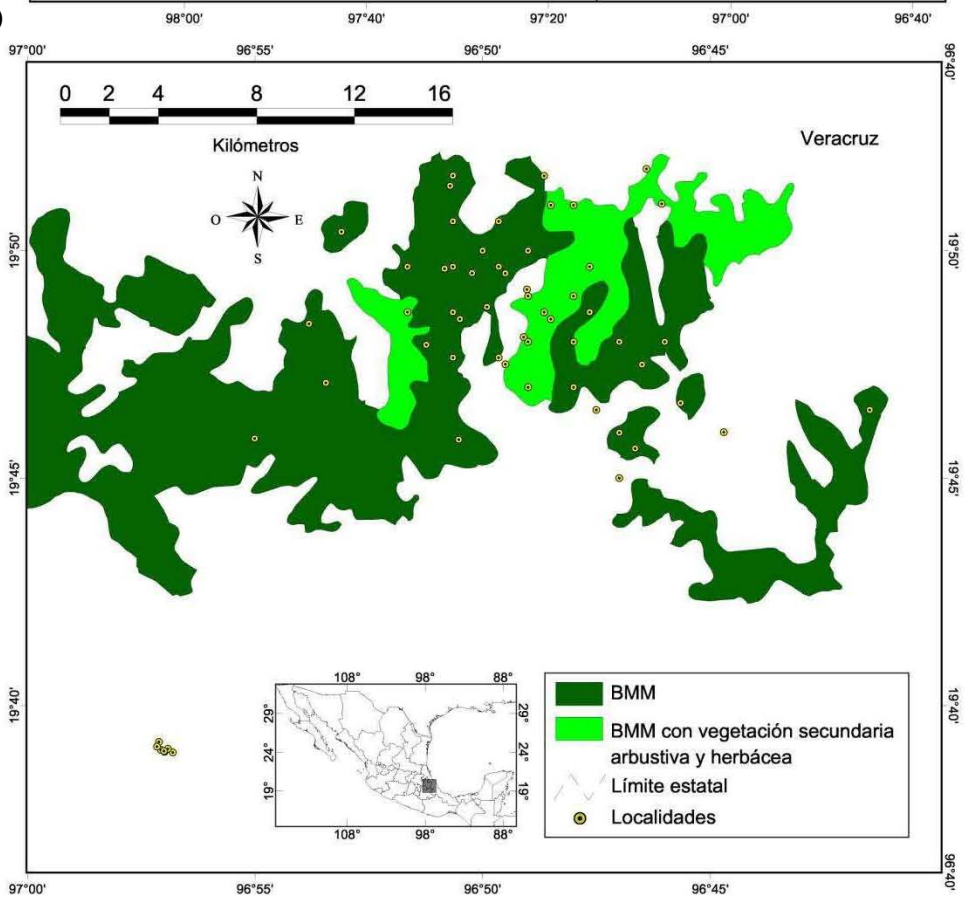


l)

Figura 10. Continuación.

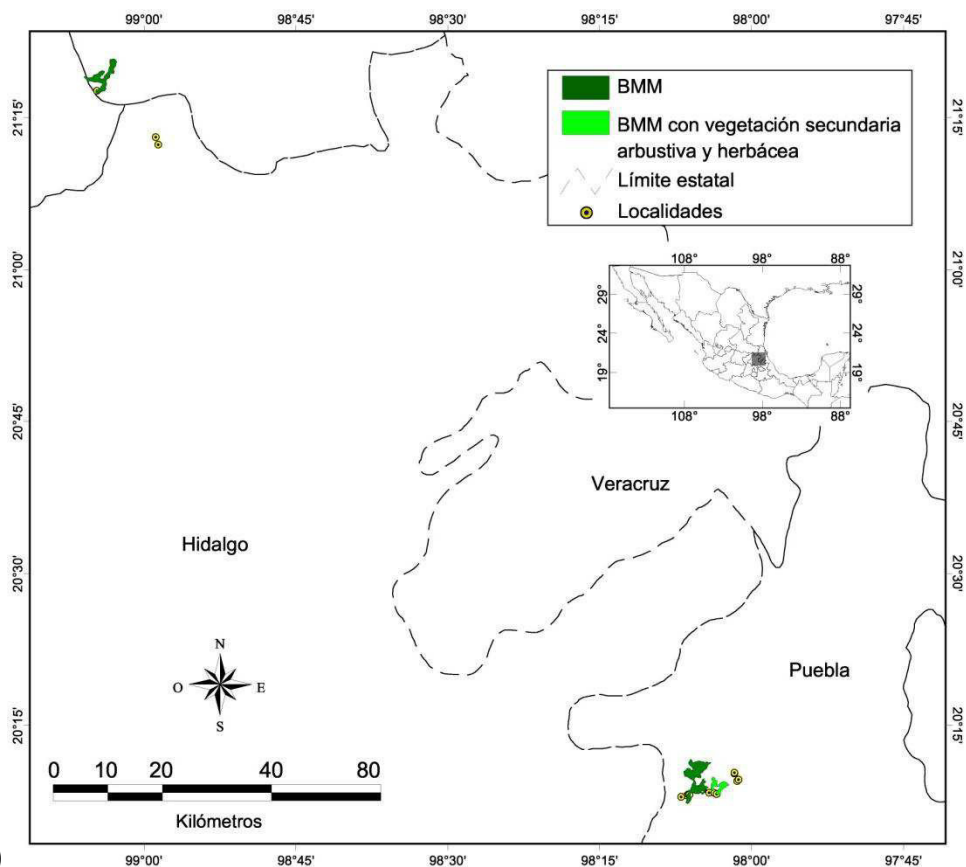


m)



n)

Figura 10. Continuación.



o) Figura 10. Continuación.

Con el fin de hacer más sintética la visualización de los resultados y dado que por cuestiones prácticas no se pueden mostrar las distribuciones de cada especie se decidió seleccionar algunas especies para ejemplificar la distribución actual (figuras 8 y 9). Los mapas de la distribución actual del BMM de cada grupo se presentan en la figura 10.

4.3 Mapas de distribución potencial actual y futura

La distribución potencial actual, estimada con los sistemas modeladores del nicho ecológico GARP y MaxEnt para cada grupo se observan en las figuras 11 a 25, la superficie calculada con GARP, generalmente es mayor a la computada por MaxEnt en un orden de magnitud que va desde 0.8 hasta 6.8, dependiendo del grupo considerado; los únicos grupos con menor superficie calculada con el sistema GARP fueron el A2 y el M (cuadro 3).

En los mapas de la distribución actual el sistema GARP modela la distribución del BMM en la extensión del área del grupo, mientras que el sistema MaxEnt generalmente se forma cerca de los registros de colecta considerados en la elaboración del modelo. Los modelos obtenidos en los diferentes escenarios de cambio climático indican una disminución paulatina de la extensión del BMM hacia el año de 2080.

Cuadro 3. Superficie potencial actual predicha de BMM (km²) para cada grupo.

Grupo	GARP	MaxEnt	Grupo	GARP	MaxEnt
A1	873.4	325.7	G	109.2	15.9
A2	381.8	465.9	H	1191.8	347.8
A3	776.7	124.8	I	792.1	494.8
B	901.6	890.9	J	1343.4	652.1
C	86.5	50.2	K	332.4	144.3
D	111.4	16.8	L	213.6	144.2
E	1471.5	541.5	M	115.1	211.8
F	1684.5	501.0			

4.3.1 Grupo A1

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 599.6 km² (cuadro 3 y figura 11); el sistema GARP predice 2.7 veces el área estimada por MaxEnt. Los modelos obtenidos en los diferentes escenarios de cambio climático para este grupo indican una disminución paulatina de la superficie del BMM hacia el año 2080 (cuadro 4 y figura 26), para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 20.5%, para el 2050 de 41.3% y para el 2080 de 71.3% de la superficie potencial original.

4.3.2 Grupo A2

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 423.8 km² (cuadro 3 y figura 12) para este grupo el sistema MaxEnt estima una superficie superior en 84.1 km² que el GARP. Los modelos de cambio climático para ambos SMNE presentan una disminución del BMM (cuadro 5 y figura 27), para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 14%, para el 2050 de 22.1% y para el 2080 de 34.4%.

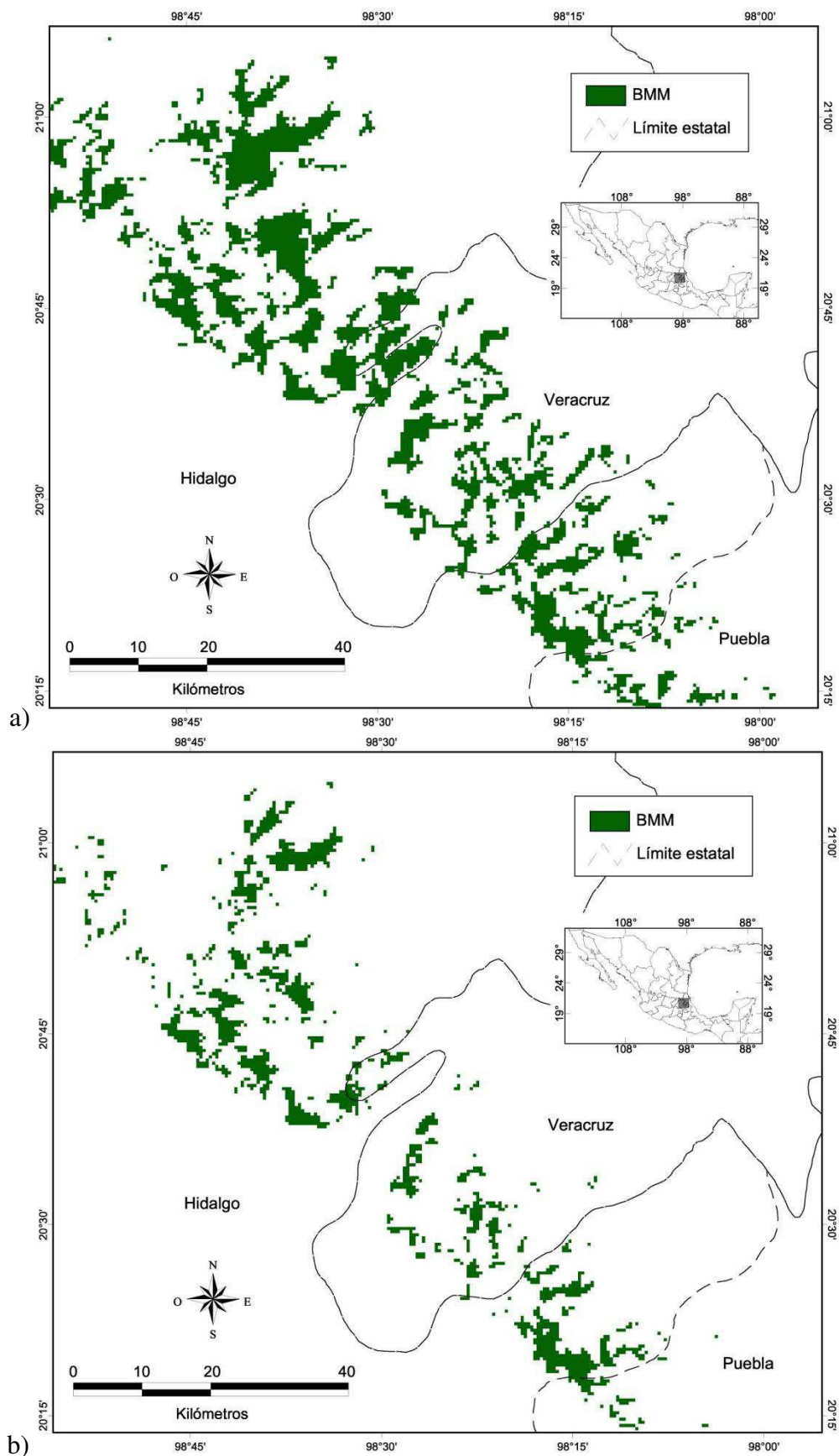
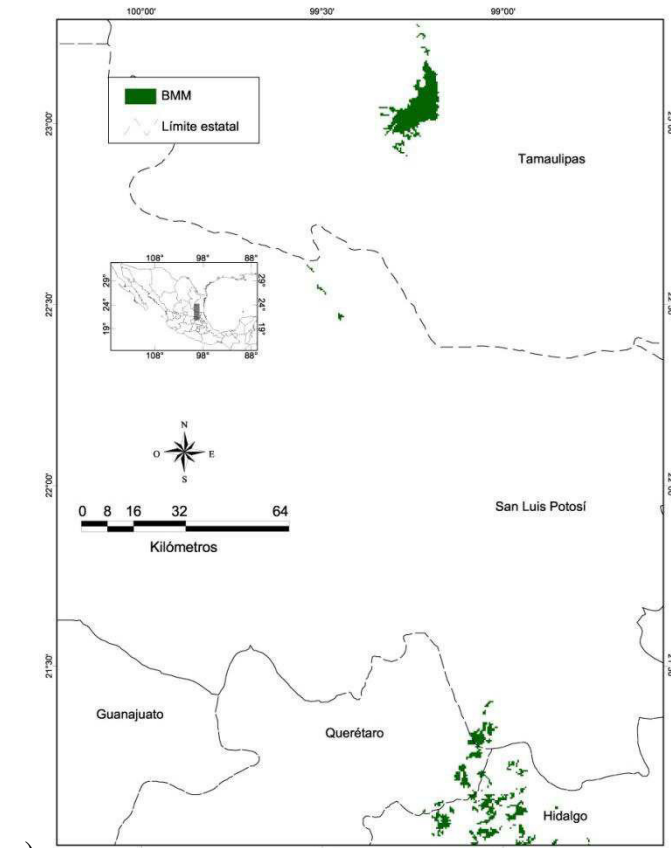
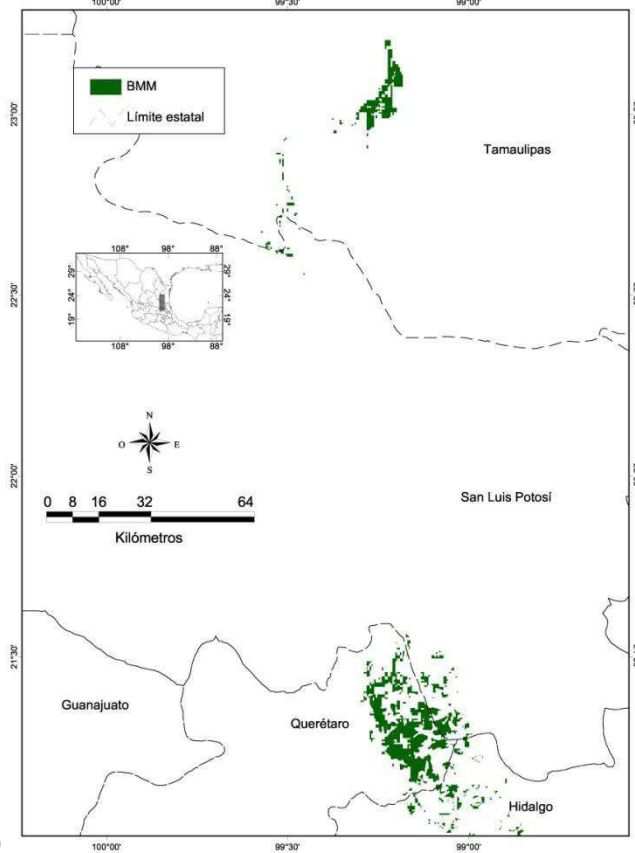


Figura 11. Comparación de la distribución potencial actual del grupo A1. a) GARP, b) MaxEnt.



a)



b)

Figura 12. Comparación de la distribución potencial actual del grupo A2. a) GARP, b) MaxEnt.

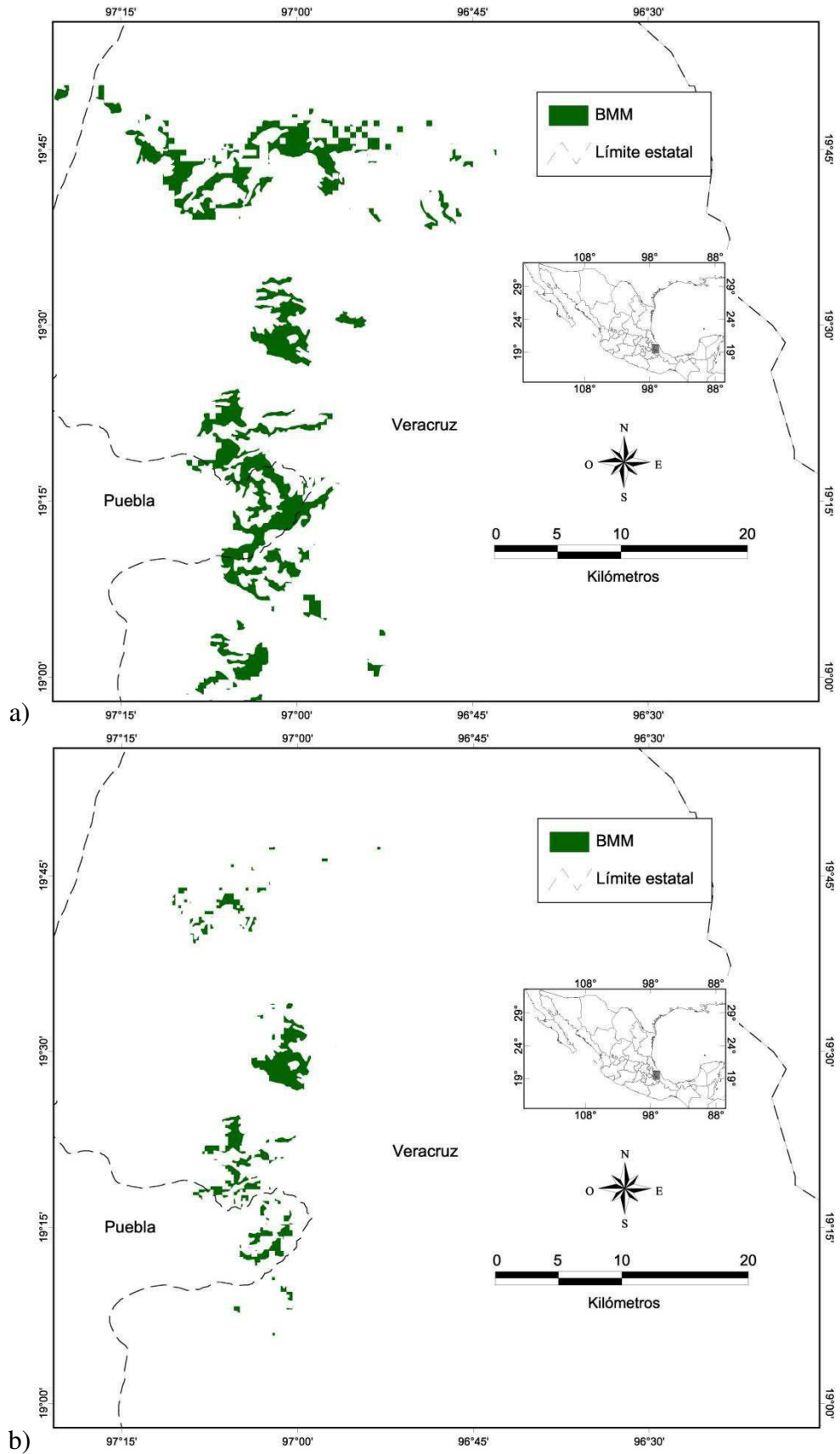


Figura 13. Comparación de la distribución potencial actual del grupo A3. a) GARP, b) MaxEnt.

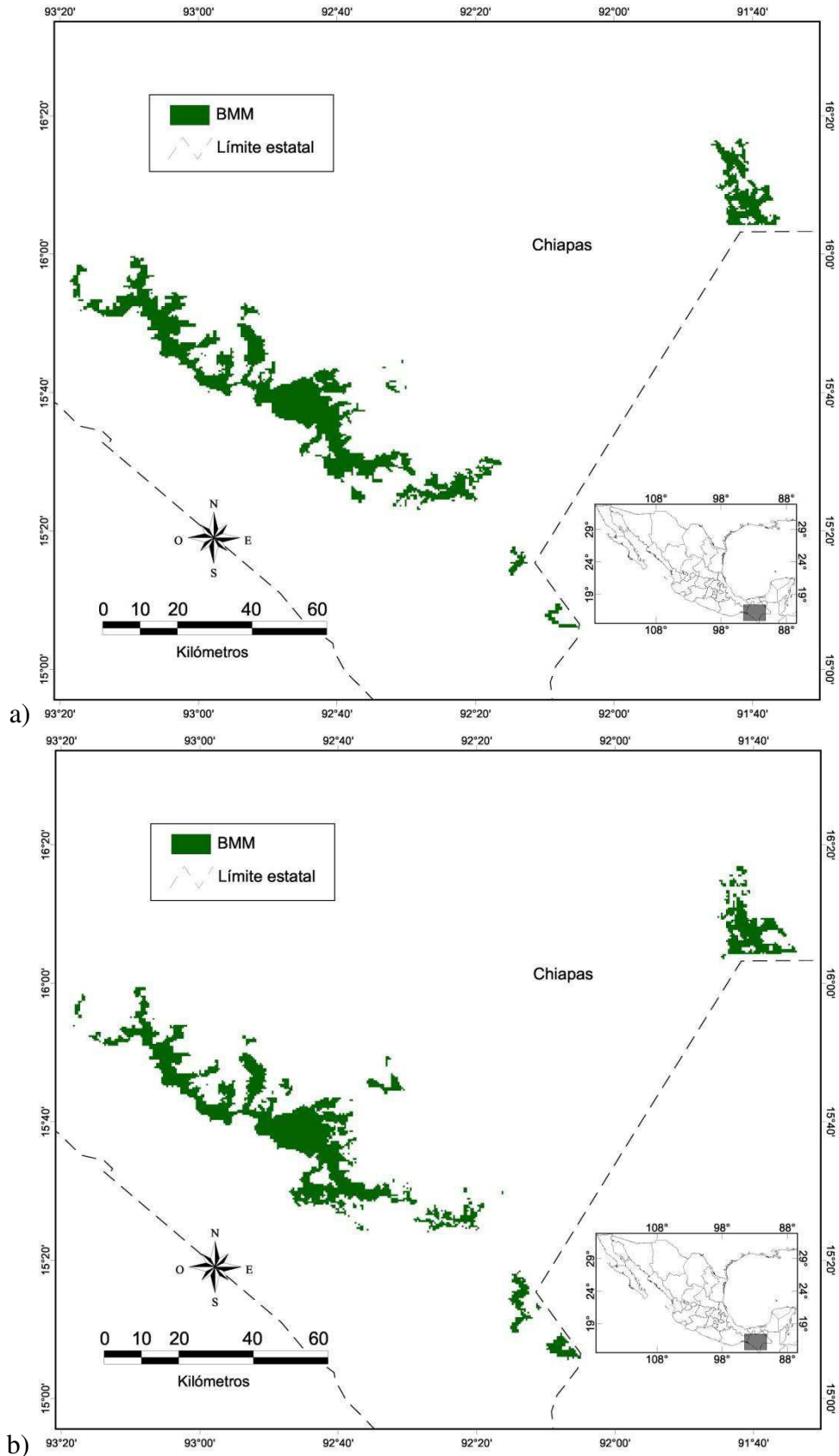
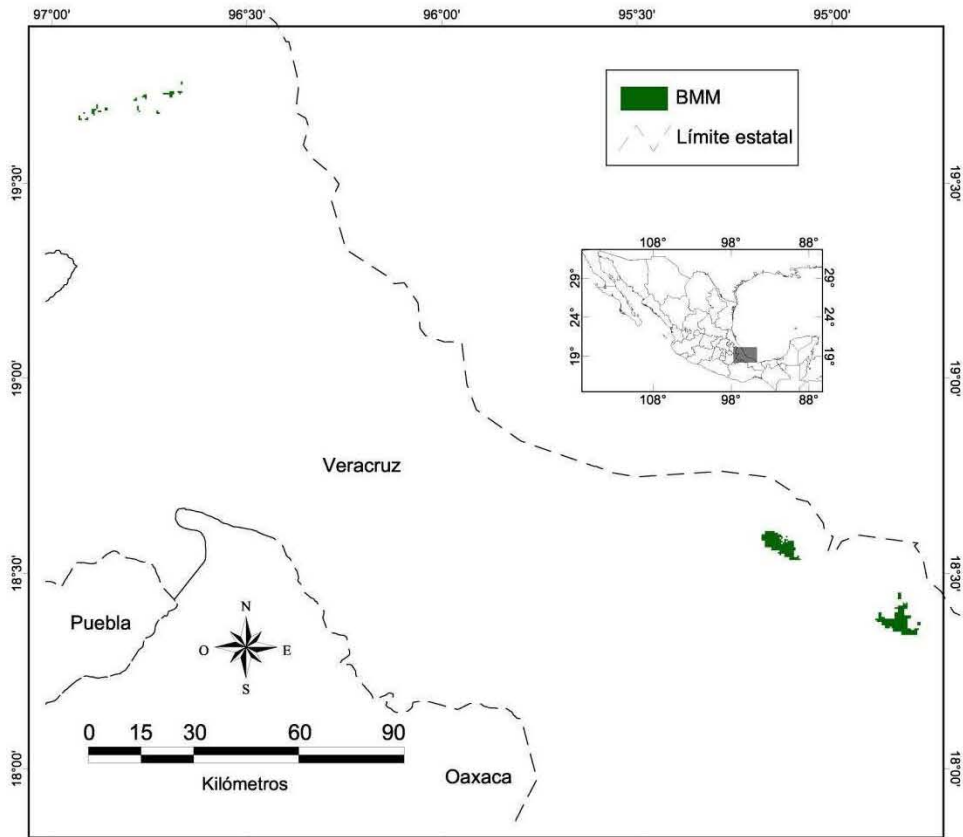
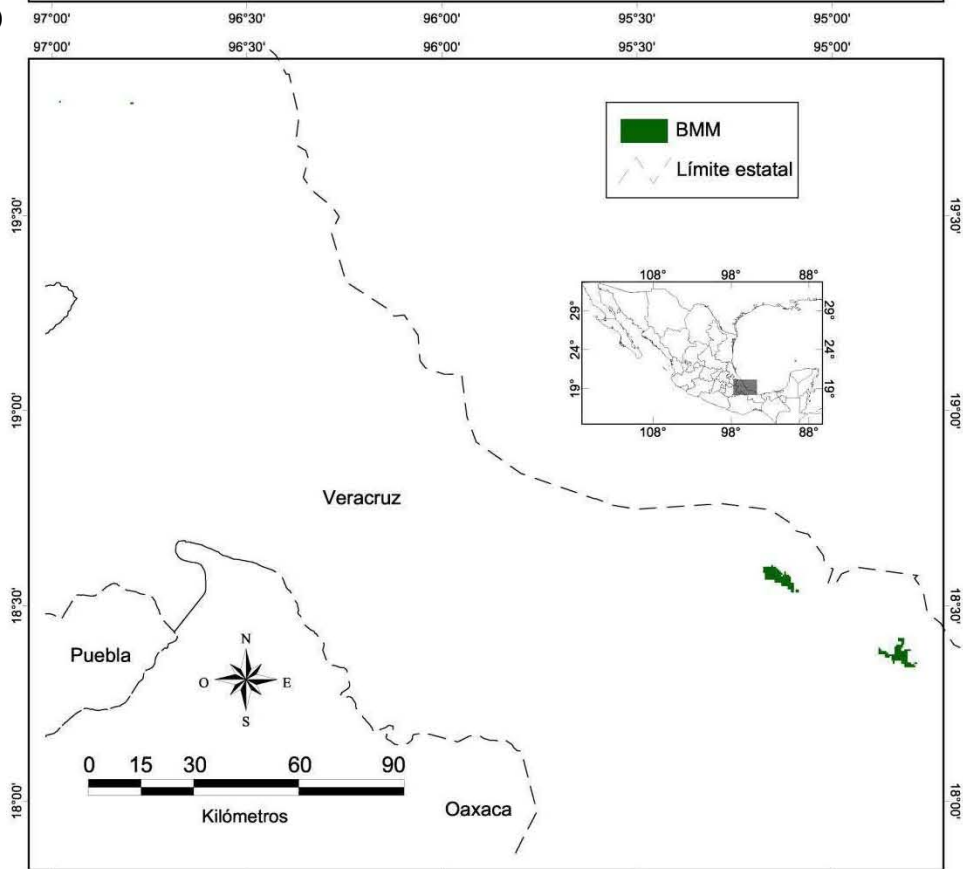


Figura 14. Comparación de la distribución potencial actual del grupo B. a) GARP, b) MaxEnt.

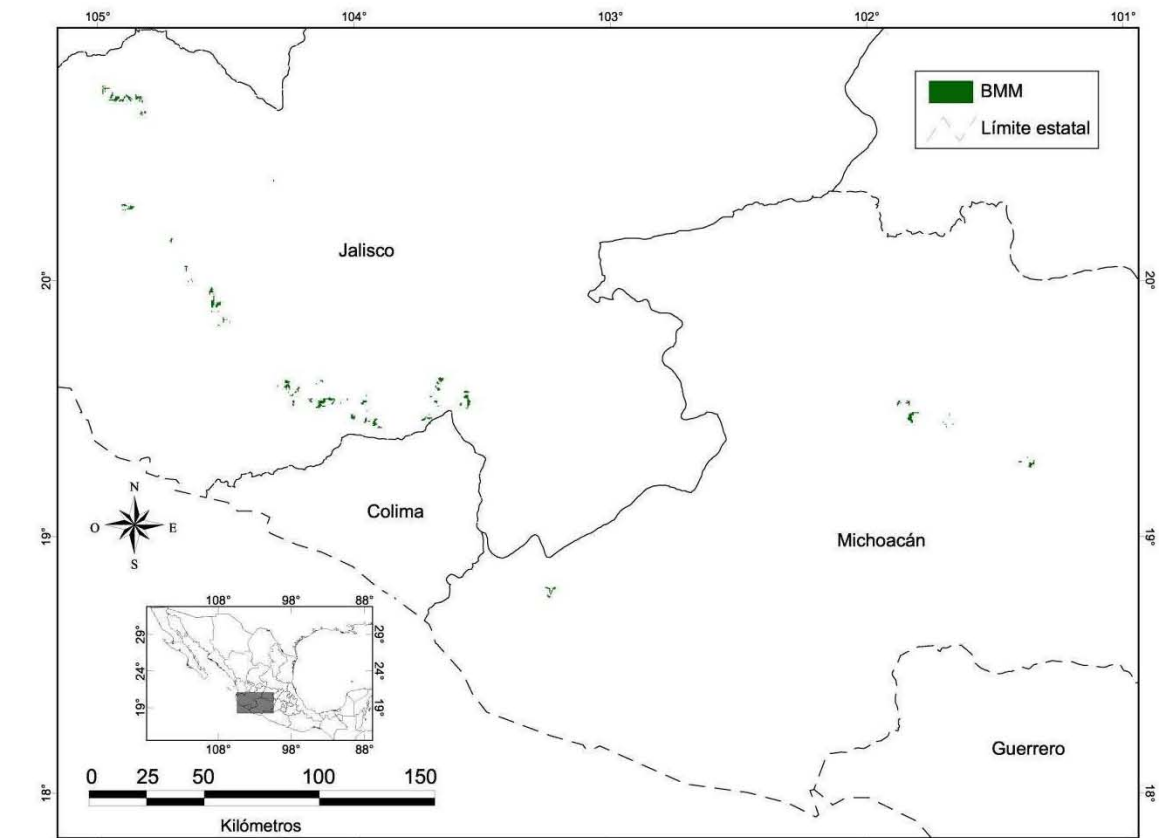


a)

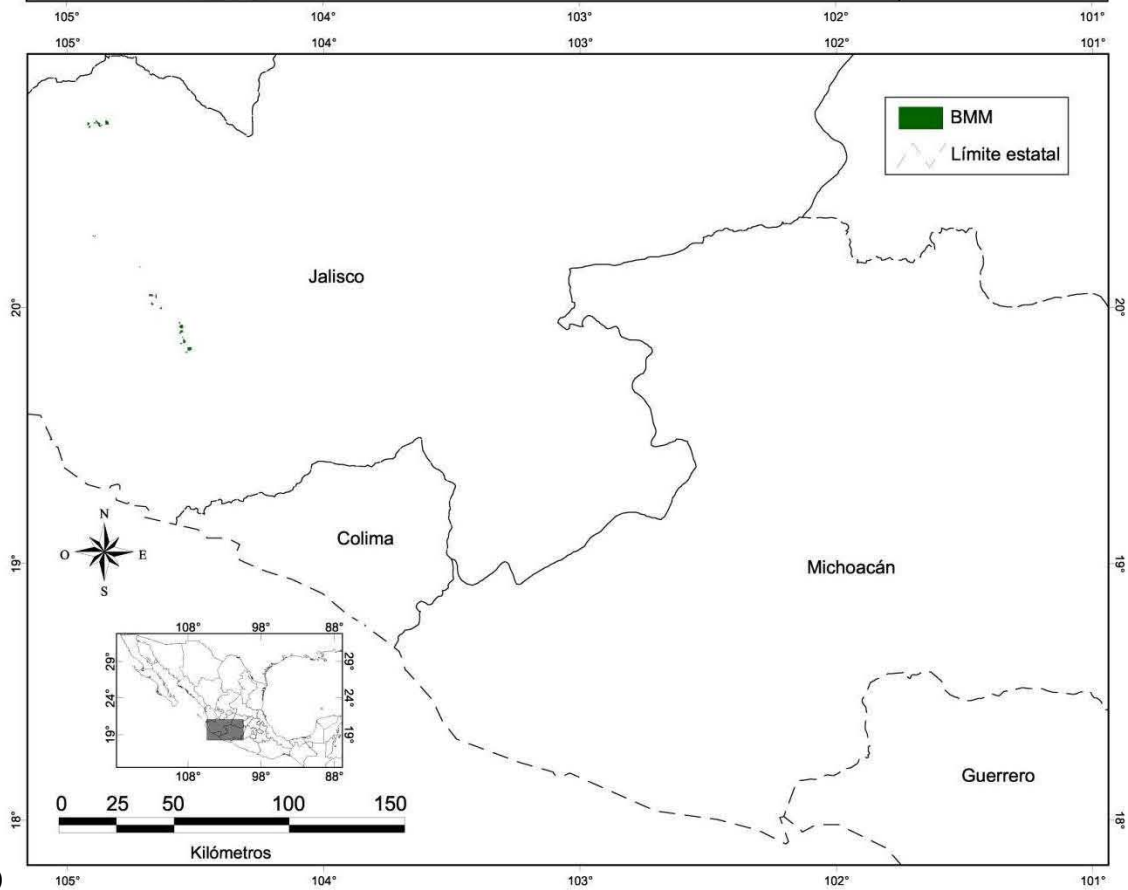


b)

Figura 15. Comparación de la distribución potencial actual del grupo C. a) GARP, b) MaxEnt.

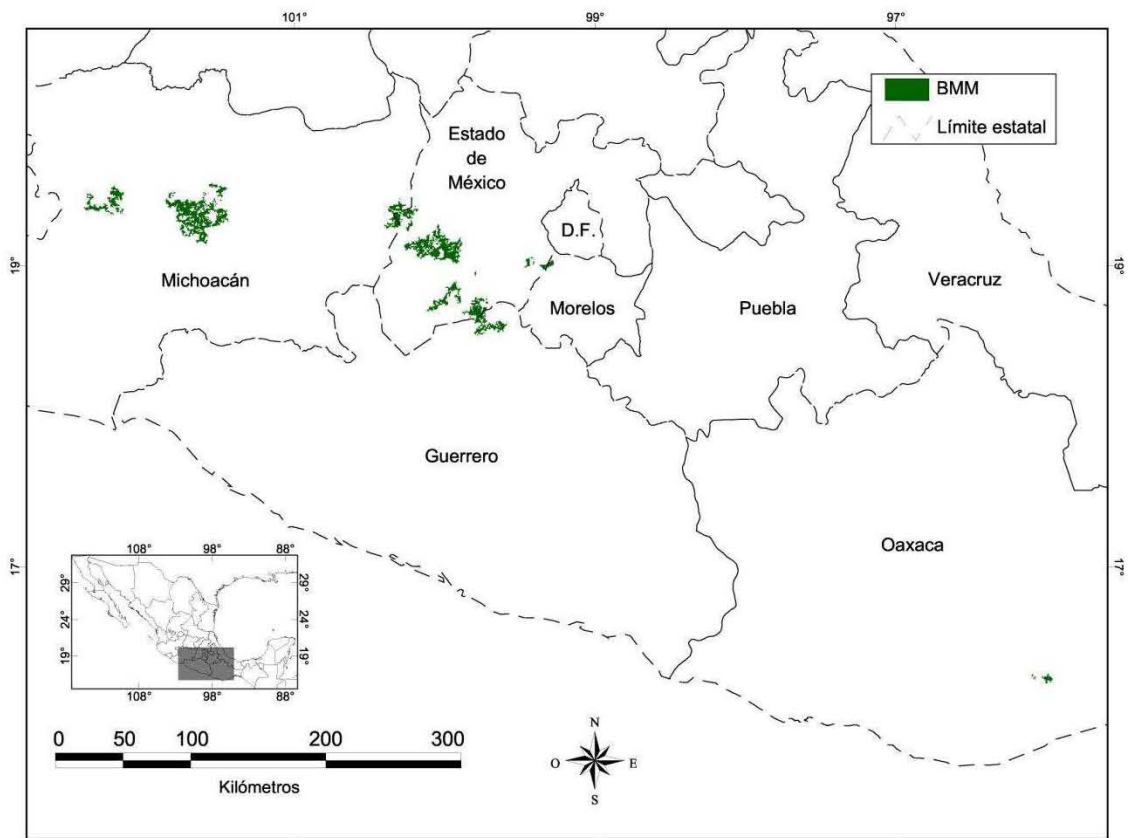


a)

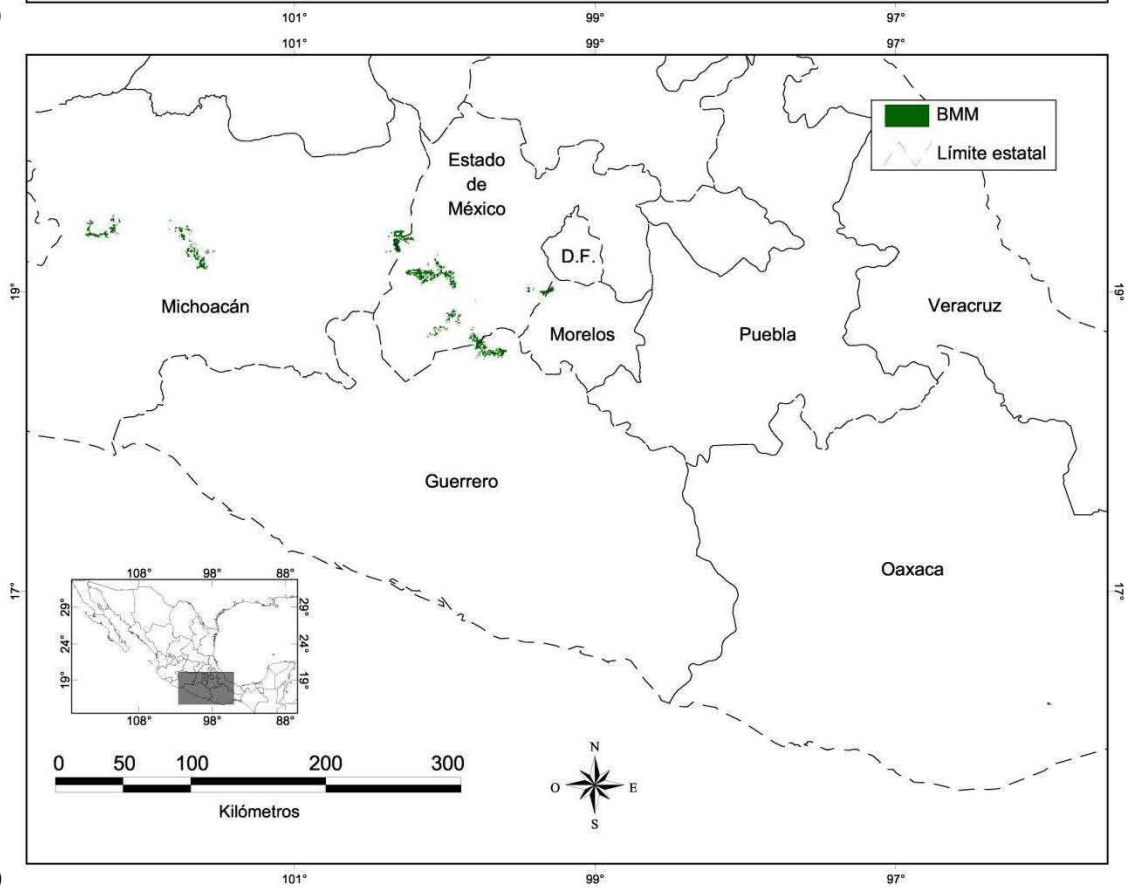


b)

Figura 16. Comparación de la distribución potencial actual del grupo D. a) GARP, b) MaxEnt.

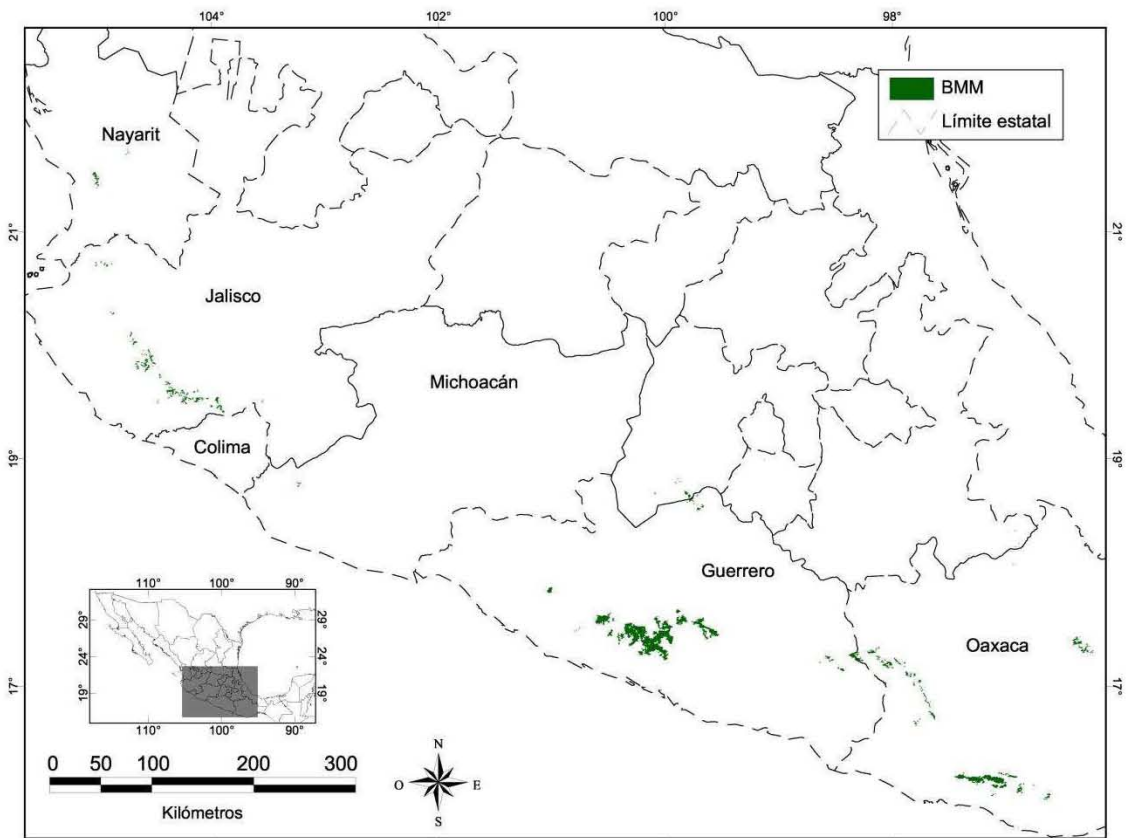


a)

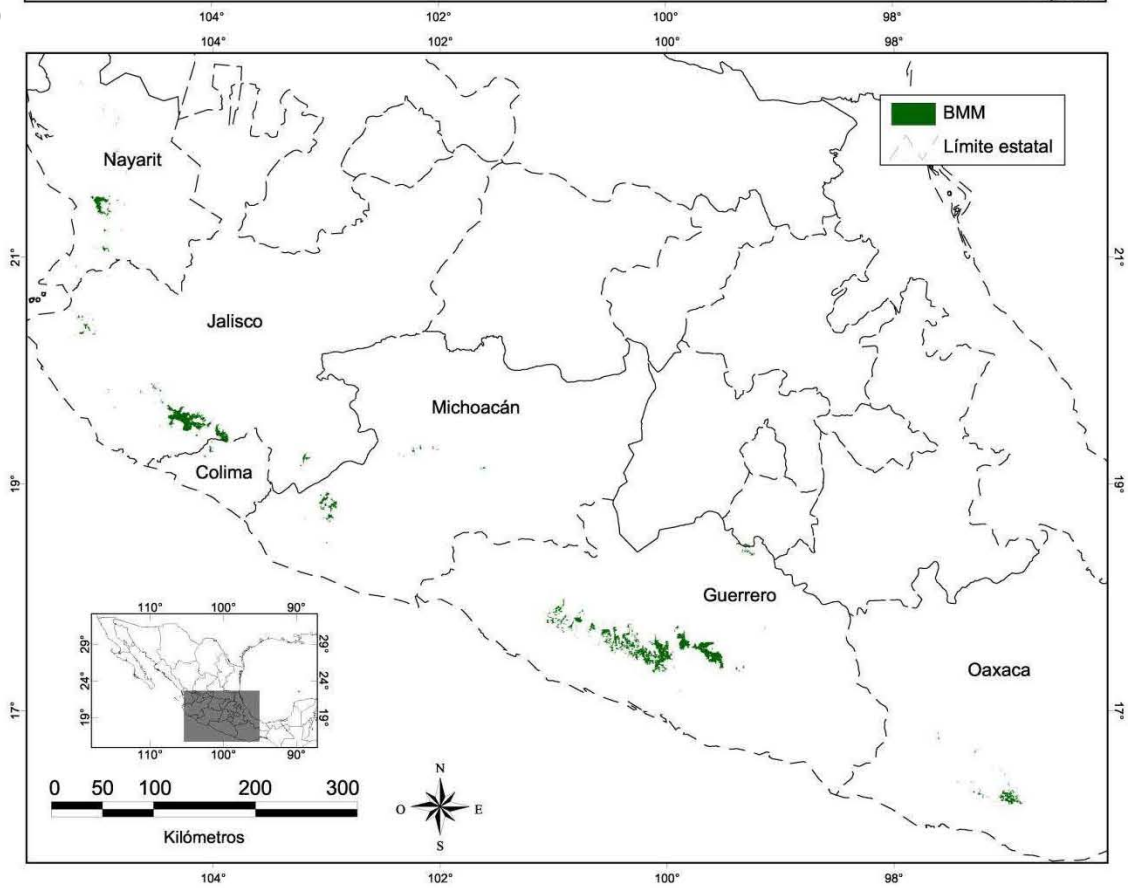


b)

Figura 17. Comparación de la distribución potencial actual del grupo E. a) GARP, b) MaxEnt.



a)



b)

Figura 18. Comparación de la distribución potencial actual del grupo F. a) GARP, b) MaxEnt.

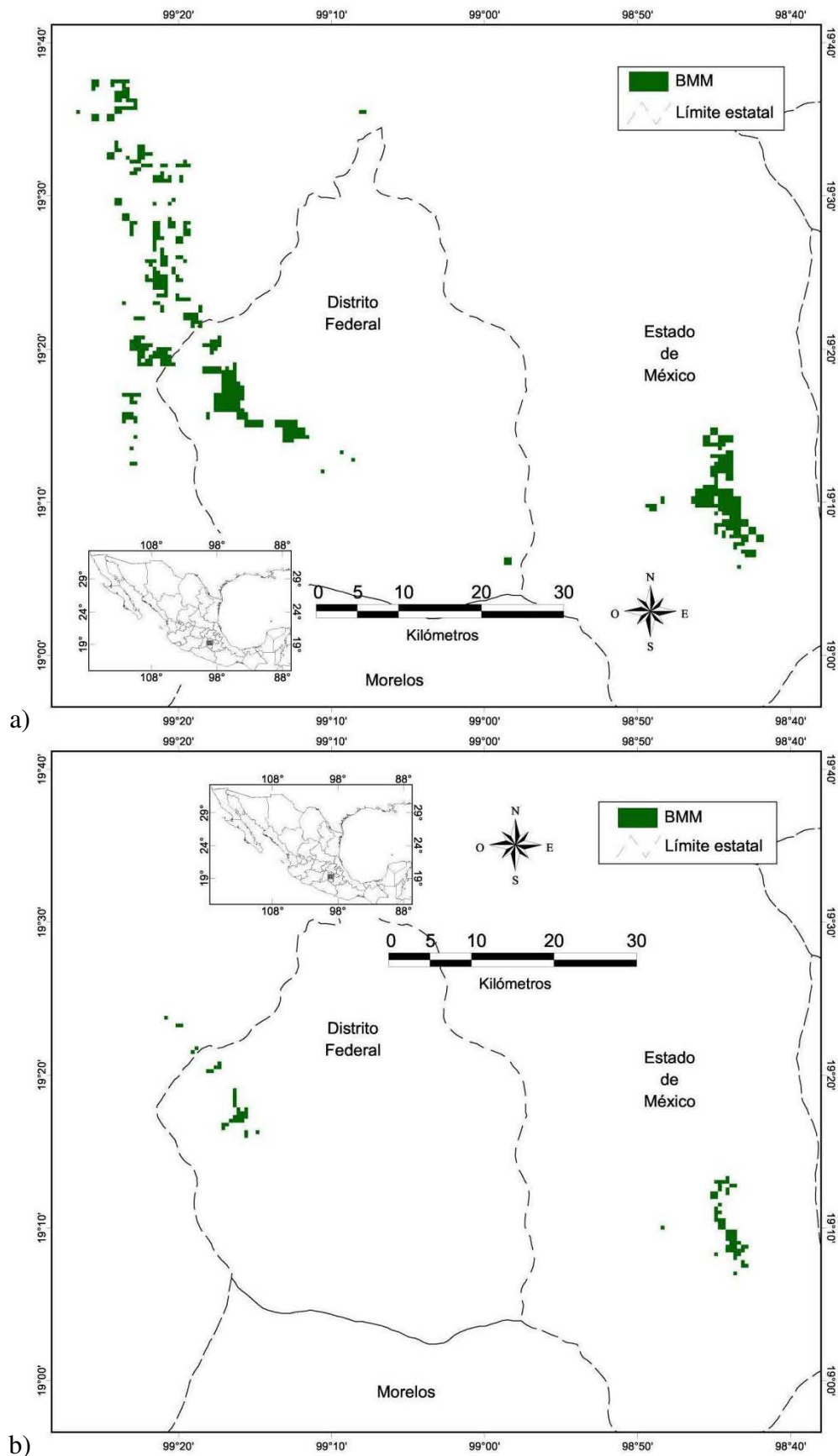
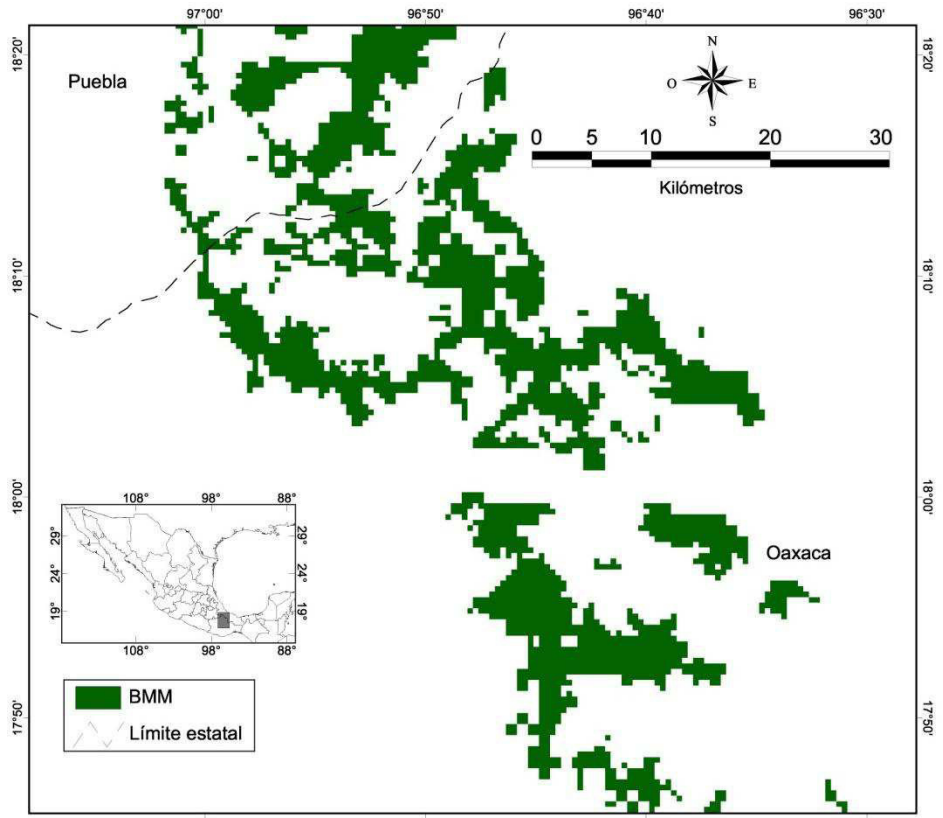
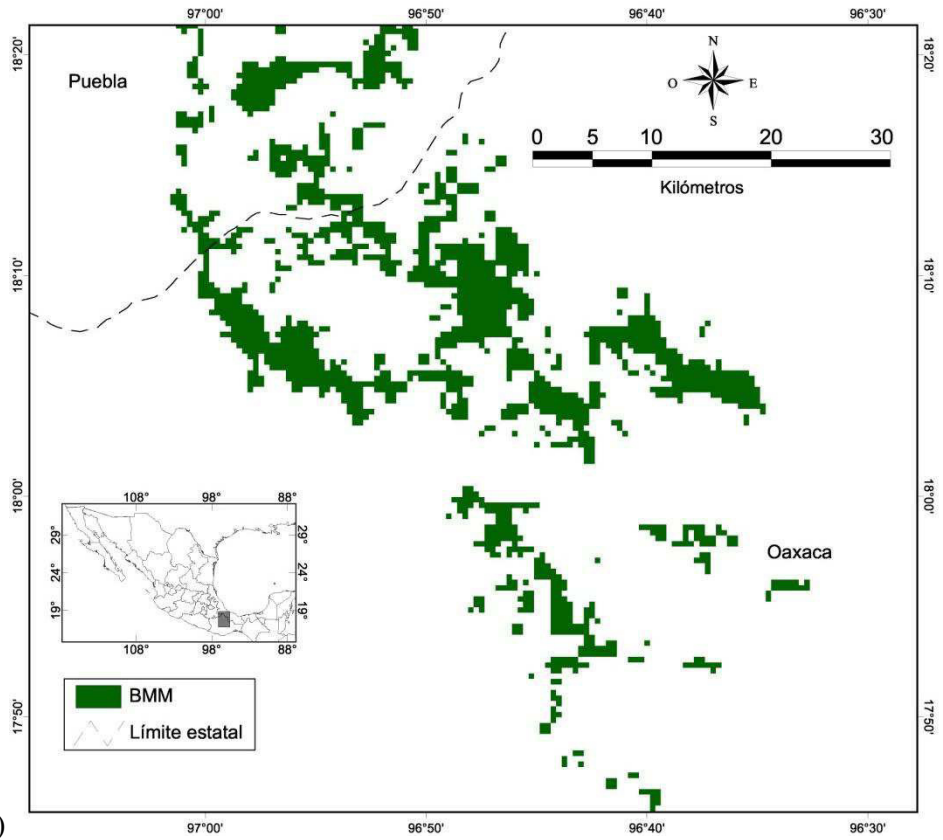


Figura 19. Comparación de la distribución potencial actual del grupo G. a) GARP, b) MaxEnt.



a)



b)

Figura 20. Comparación de la distribución potencial actual del grupo H. a) GARP, b) MaxEnt.

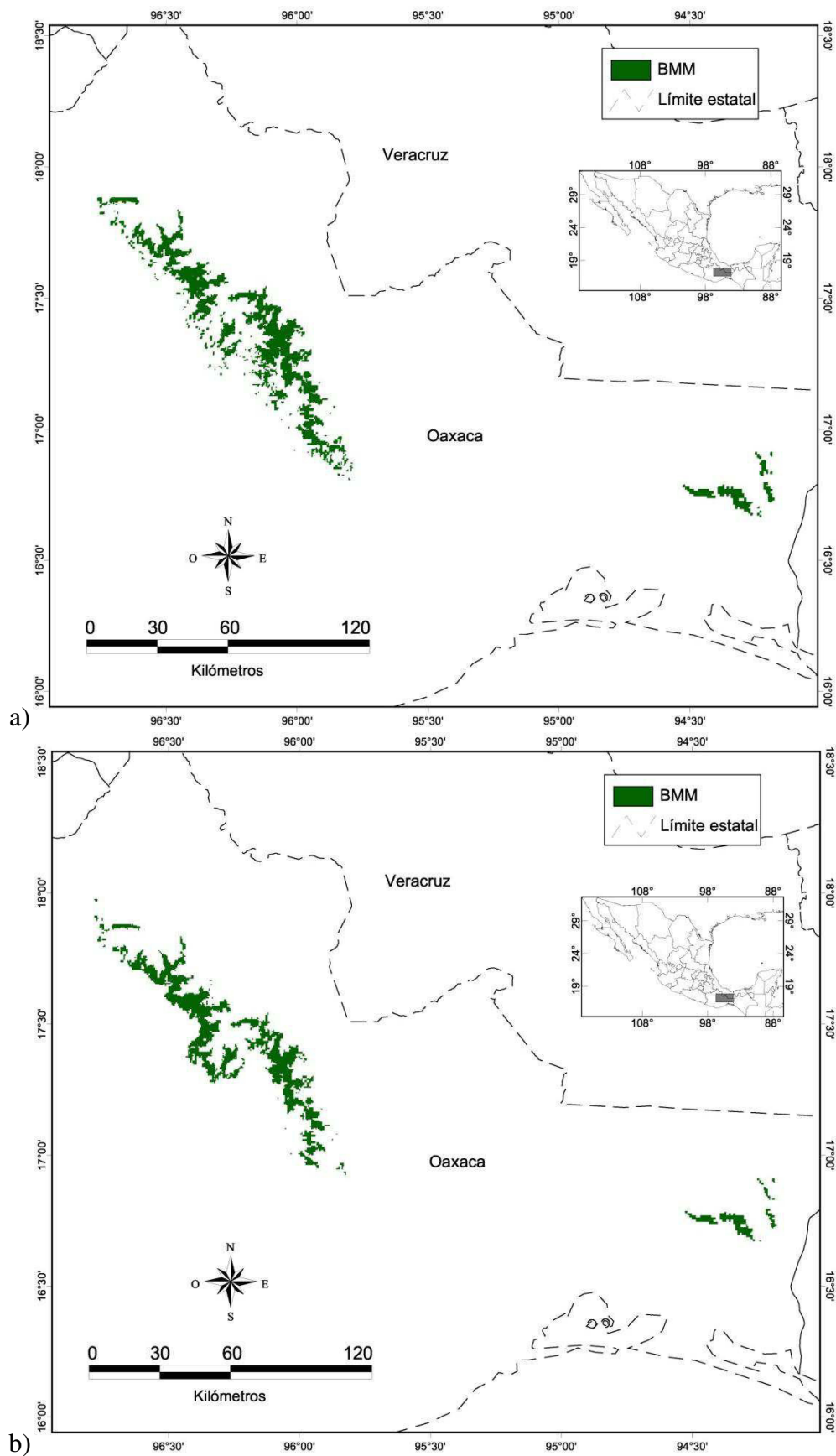


Figura 21. Comparación de la distribución potencial actual del grupo I. a) GARP, b) MaxEnt.

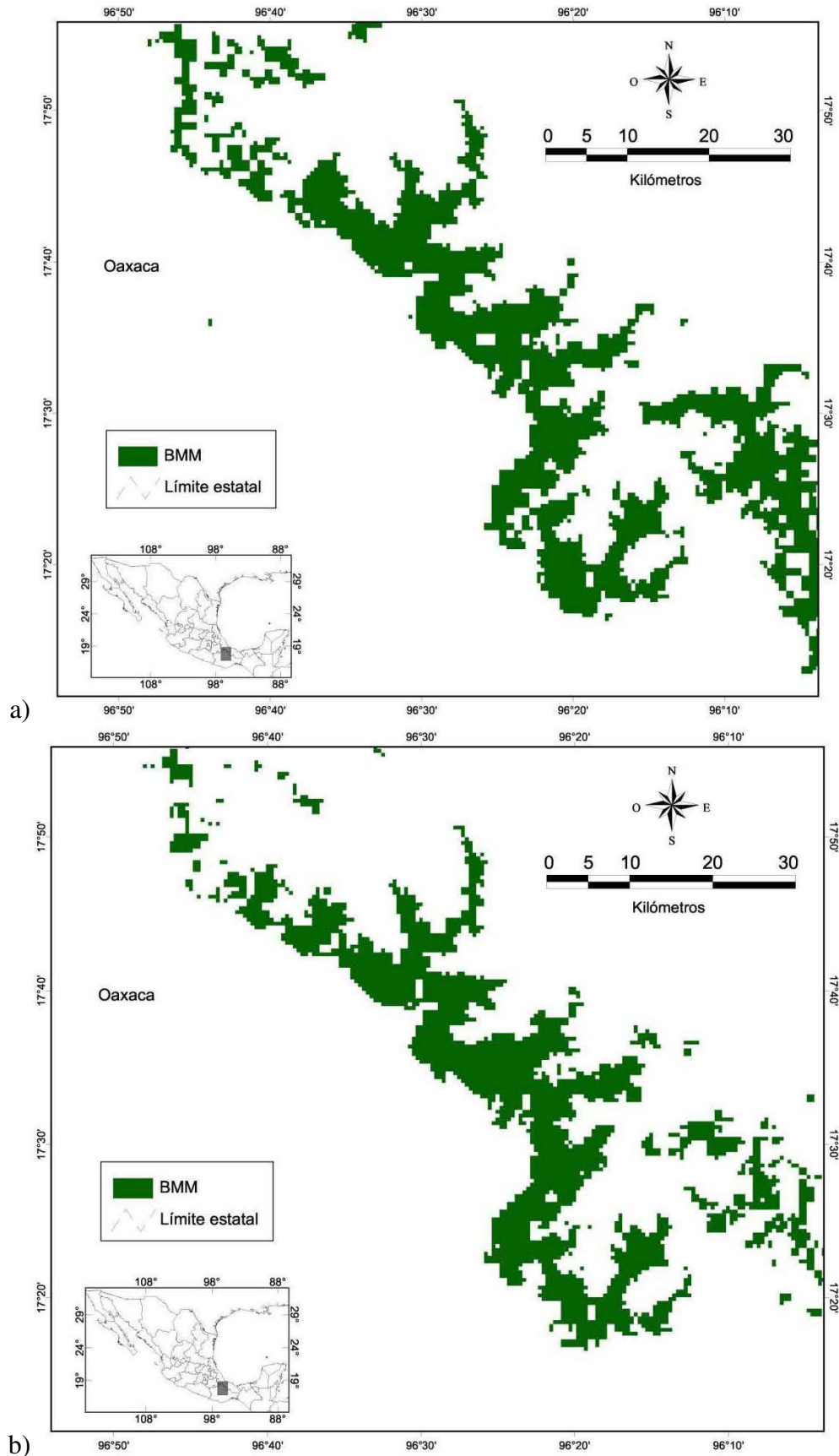


Figura 22. Comparación de la distribución potencial actual del grupo J. a) GARP, b) MaxEnt.

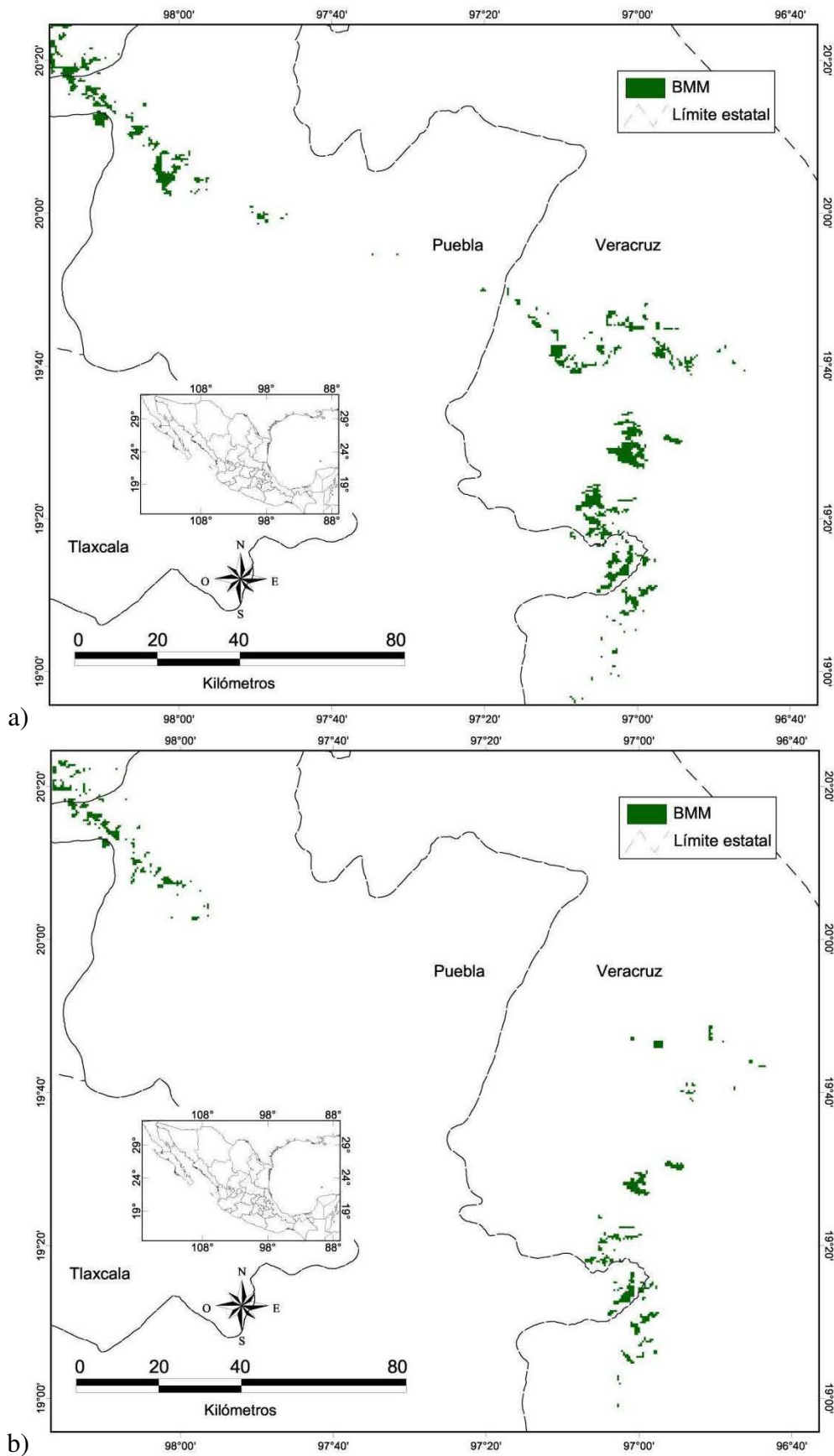


Figura 23. Comparación de la distribución potencial actual del grupo K. a) GARP, b) MaxEnt.

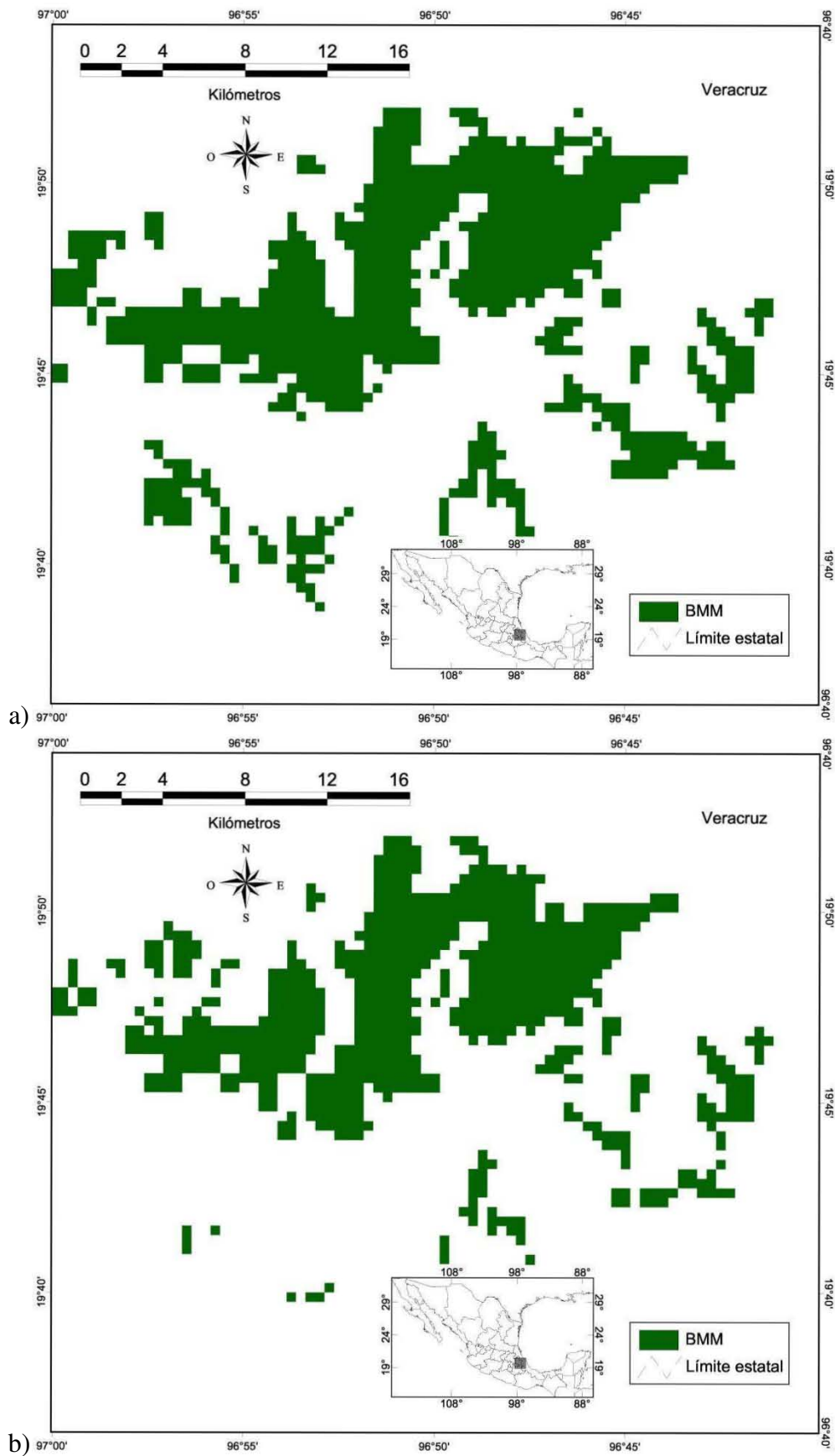


Figura 24. Comparación de la distribución potencial actual del grupo L. a) GARP, b) MaxEnt.

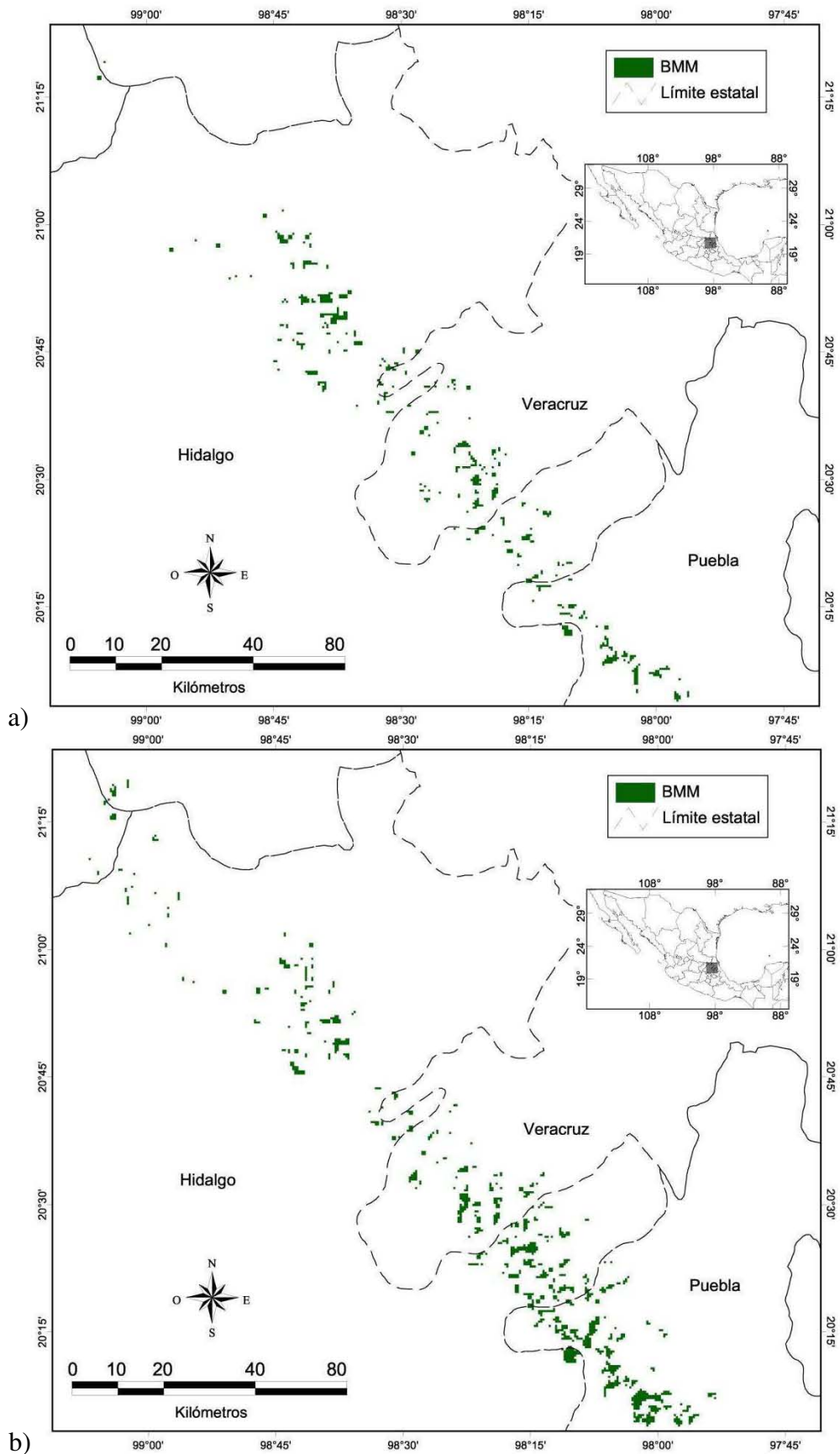


Figura 25. Comparación de la distribución potencial actual del grupo M. a) GARP, b) MaxEnt.

Cuadro 4. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo A1 en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	68	32	72	28
		B2A	73	27	78	22
	CSIRO	A2A	83	17	86	14
		B2A	87	13	89	11
	HADCM3	A2A	77	23	79	21
		B2A	80	20	82	18
2050	CCCMA	A2A	52	48	56	44
		B2A	58	42	61	39
	CSIRO	A2A	52	48	59	41
		B2A	65	45	68	32
	HADCM3	A2A	63	47	68	32
		B2A	59	41	63	37
2080	CCCMA	A2A	30	70	33	67
		B2A	27	73	31	69
	CSIRO	A2A	40	60	45	55
		B2A	32	68	36	64
	HADCM3	A2A	18	82	20	80
		B2A	15	85	17	83

Cuadro 5. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo A2 en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	84	16	83	17
		B2A	88	12	86	14
	CSIRO	A2A	85	15	87	13
		B2A	88	12	89	11
	HADCM3	A2A	80	20	83	17
		B2A	89	11	90	10
2050	CCCMA	A2A	77	23	88	22
		B2A	79	21	80	20
	CSIRO	A2A	82	18	77	23
		B2A	78	22	79	21
	HADCM3	A2A	76	24	75	25
		B2A	77	23	77	23
2080	CCCMA	A2A	65	35	68	32
		B2A	67	33	70	30
	CSIRO	A2A	63	37	66	34
		B2A	68	32	62	38
	HADCM3	A2A	62	38	64	36
		B2A	67	33	65	35

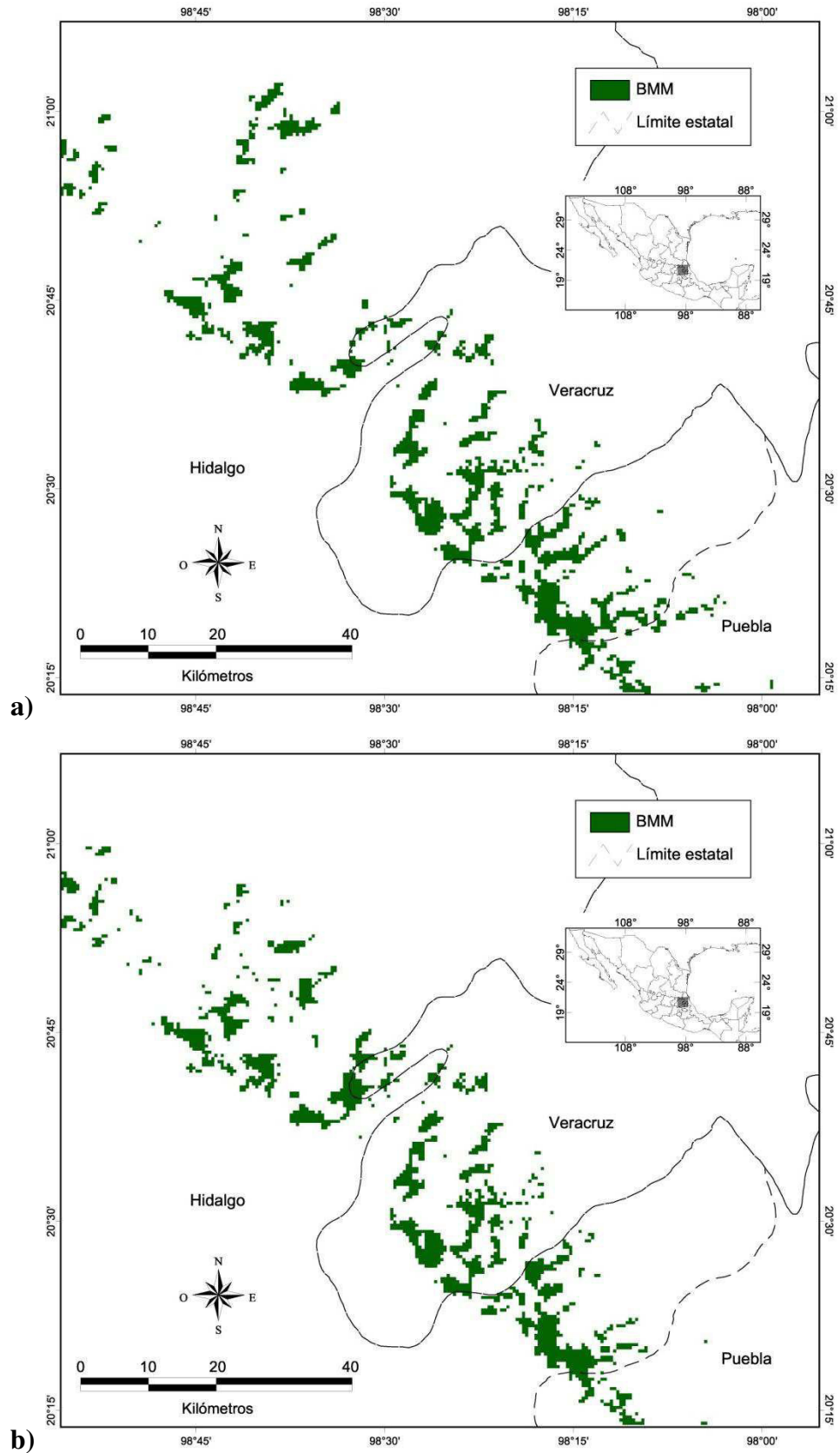


Figura 26. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo A1. a) CCCMA A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.

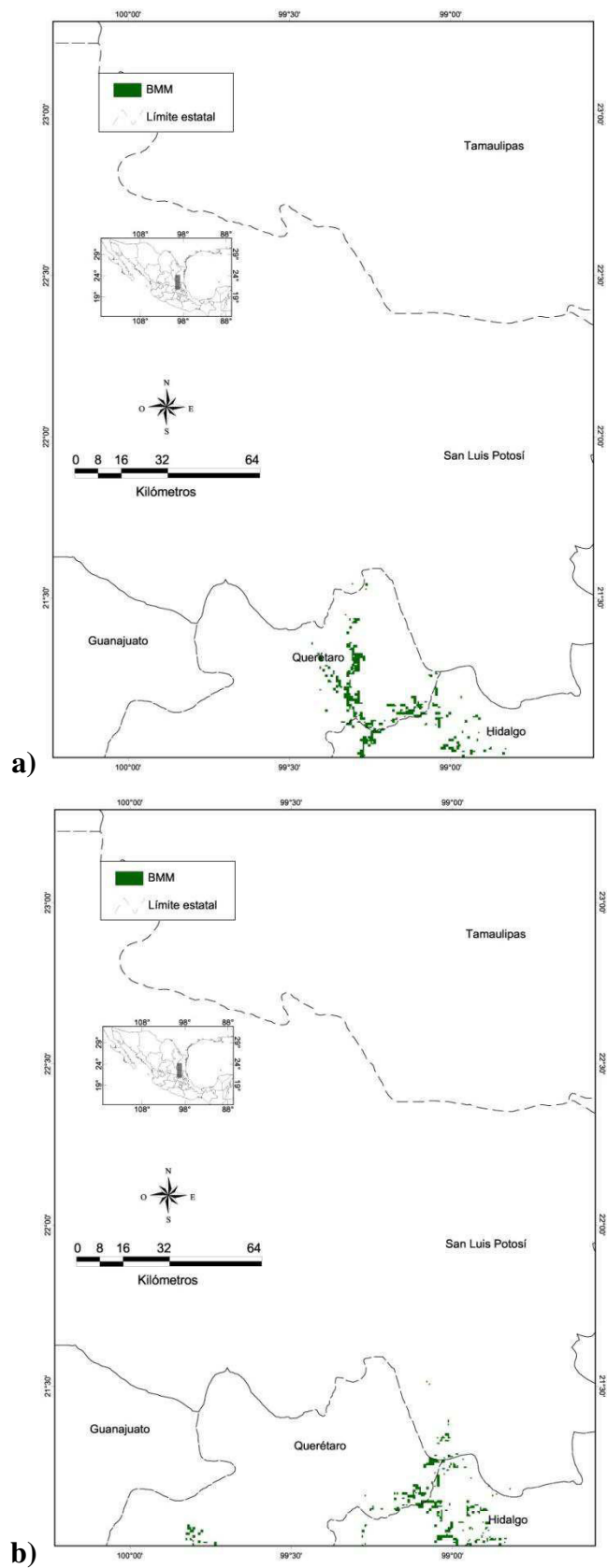


Figura 27. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo A2. a) HADCM3 A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.

4.3.3 Grupo A3

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 450.7 km² (cuadro 3 y figura 13), GARP predice seis veces mas la superficie predicha por MaxEnt. Los modelos con cambio climático para ambos sistemas presentan una disminución del BMM (cuadro 6 y figura 28); para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 15.4%, para el 2050 de 26.7% y para el 2080 de 41.2%.

Cuadro 6. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo A3 en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	80	20	83	17
		B2A	84	16	85	15
	CSIRO	A2A	84	16	79	21
		B2A	87	13	91	9
	HADCM3	A2A	83	17	80	20
		B2A	90	10	89	11
2050	CCCMA	A2A	73	27	75	25
		B2A	78	22	78	22
	CSIRO	A2A	76	24	65	35
		B2A	77	23	73	27
	HADCM3	A2A	78	32	71	29
		B2A	71	29	74	26
2080	CCCMA	A2A	55	45	54	46
		B2A	59	41	65	35
	CSIRO	A2A	54	46	61	39
		B2A	55	45	64	36
	HADCM3	A2A	61	39	66	44
		B2A	63	37	69	41

4.3.4 Grupo B

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 896.2 km², ambos sistemas predicen casi exactamente el mismo valor de superficie (cuadro 3 y figura 14). La disminución del BMM predicha con el cambio climático para ambos SMNE indica que para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 17.2%, para el 2050 de 46.7% y para el 2080 de 75.3% (cuadro 7 y figura 29).

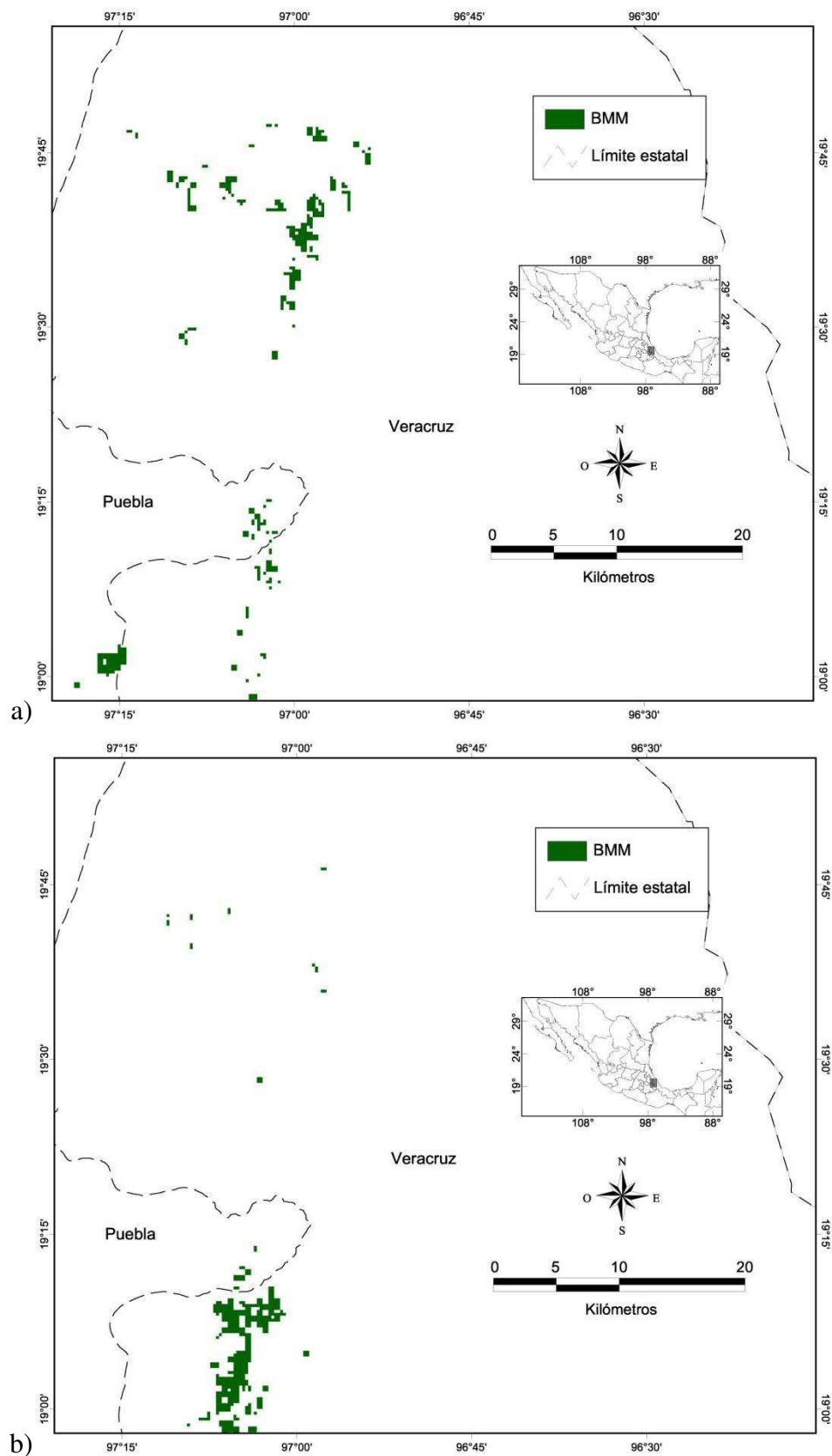


Figura 28. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo A3. a) CSIRO A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

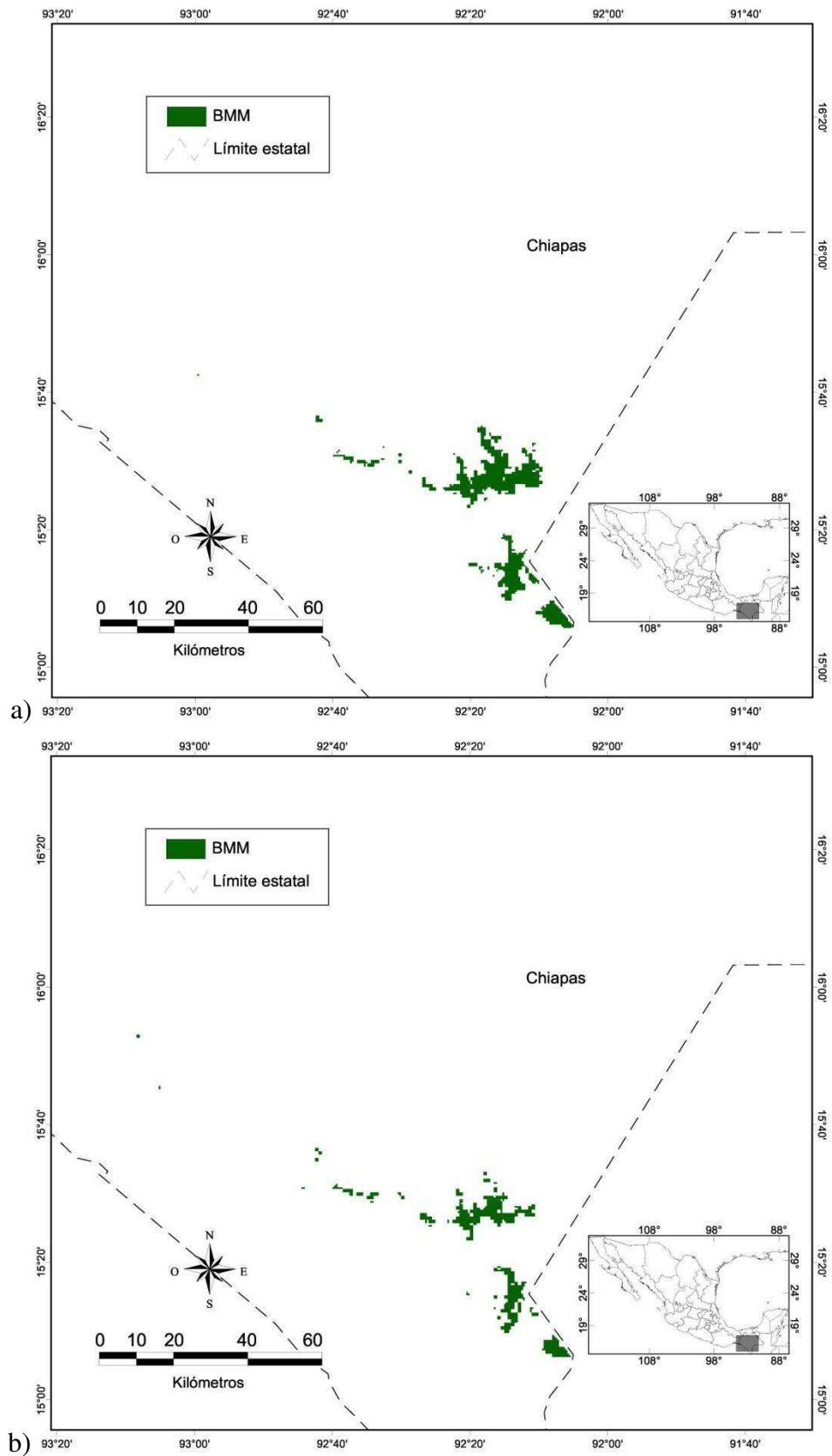


Figura 29. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo B. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

Cuadro 7. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo B en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	80	20	80	20
		B2A	84	16	80	20
	CSIRO	A2A	83	17	81	19
		B2A	85	15	82	18
	HADCM3	A2A	84	16	84	16
		B2A	85	15	85	15
2050	CCCMA	A2A	46	54	45	55
		B2A	65	35	54	46
	CSIRO	A2A	45	55	48	52
		B2A	63	37	57	43
	HADCM3	A2A	47	53	47	53
		B2A	60	40	62	38
2080	CCCMA	A2A	33	77	20	80
		B2A	28	72	22	78
	CSIRO	A2A	22	78	22	78
		B2A	30	70	26	74
	HADCM3	A2A	22	78	24	76
		B2A	28	72	30	70

4.3.5 Grupo C

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 68.3 km², GARP modela 36.3 km² más que MaxEnt (cuadro 3 y figura 15). La disminución del BMM (cuadro 8 y figura 30) para el año 2020 en promedio del 16.5%, para el 2050 de 30.4% y para el 2080 de 52.7%.

4.3.6 Grupo D

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 64.1 km², GARP predice 6.6 veces más la superficie predicha por MaxEnt (cuadro 3 y figura 16). La disminución de la superficie del BMM para ambos SMNE (cuadro 9 y figura 31) indica que para el año 2020 el área promedio estimada será del 21%, para el 2050 de 36.8% y para el 2080 de 67.2%.

Cuadro 8. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo C en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	88	12	83	17
		B2A	89	11	75	15
	CSIRO	A2A	82	18	80	20
		B2A	86	14	81	19
	HADCM3	A2A	83	17	79	21
		B2A	84	16	82	18
2050	CCCMA	A2A	70	30	65	35
		B2A	71	29	70	30
	CSIRO	A2A	68	32	69	31
		B2A	70	30	74	26
	HADCM3	A2A	66	34	70	30
		B2A	69	31	63	27
2080	CCCMA	A2A	43	57	70	60
		B2A	60	40	53	47
	CSIRO	A2A	40	60	37	63
		B2A	58	42	52	48
	HADCM3	A2A	45	55	38	62
		B2A	57	43	45	55

Cuadro 9. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo D en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	79	21	78	22
		B2A	80	20	78	22
	CSIRO	A2A	75	25	76	24
		B2A	81	19	83	17
	HADCM3	A2A	78	22	88	22
		B2A	81	19	81	19
2050	CCCMA	A2A	66	44	63	37
		B2A	61	39	69	31
	CSIRO	A2A	67	43	59	41
		B2A	70	30	63	37
	HADCM3	A2A	59	41	65	35
		B2A	68	32	69	31
2080	CCCMA	A2A	28	72	30	70
		B2A	44	56	35	65
	CSIRO	A2A	31	69	21	79
		B2A	32	68	42	58
	HADCM3	A2A	32	78	33	77
		B2A	41	59	45	55

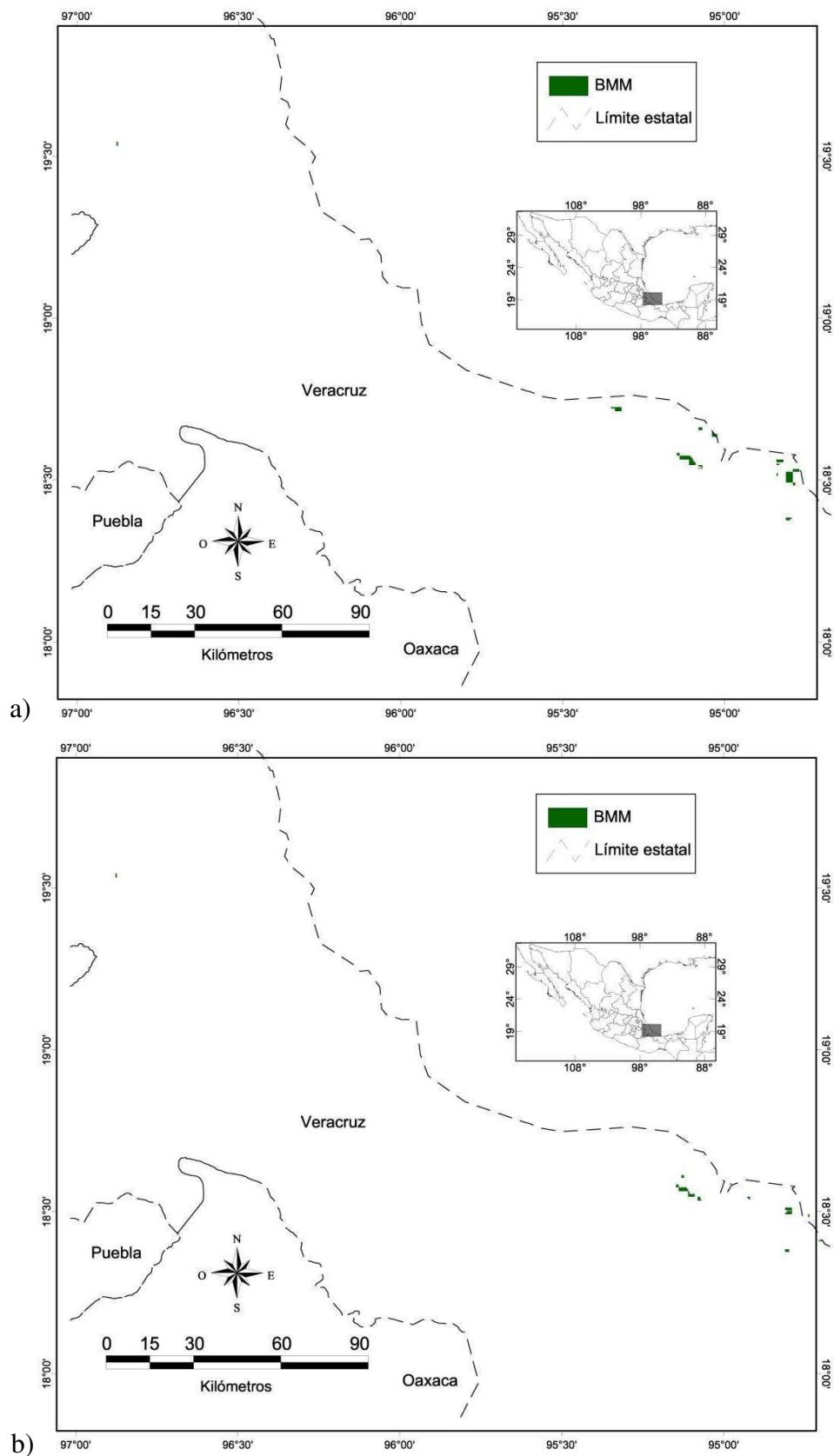


Figura 30. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo C. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

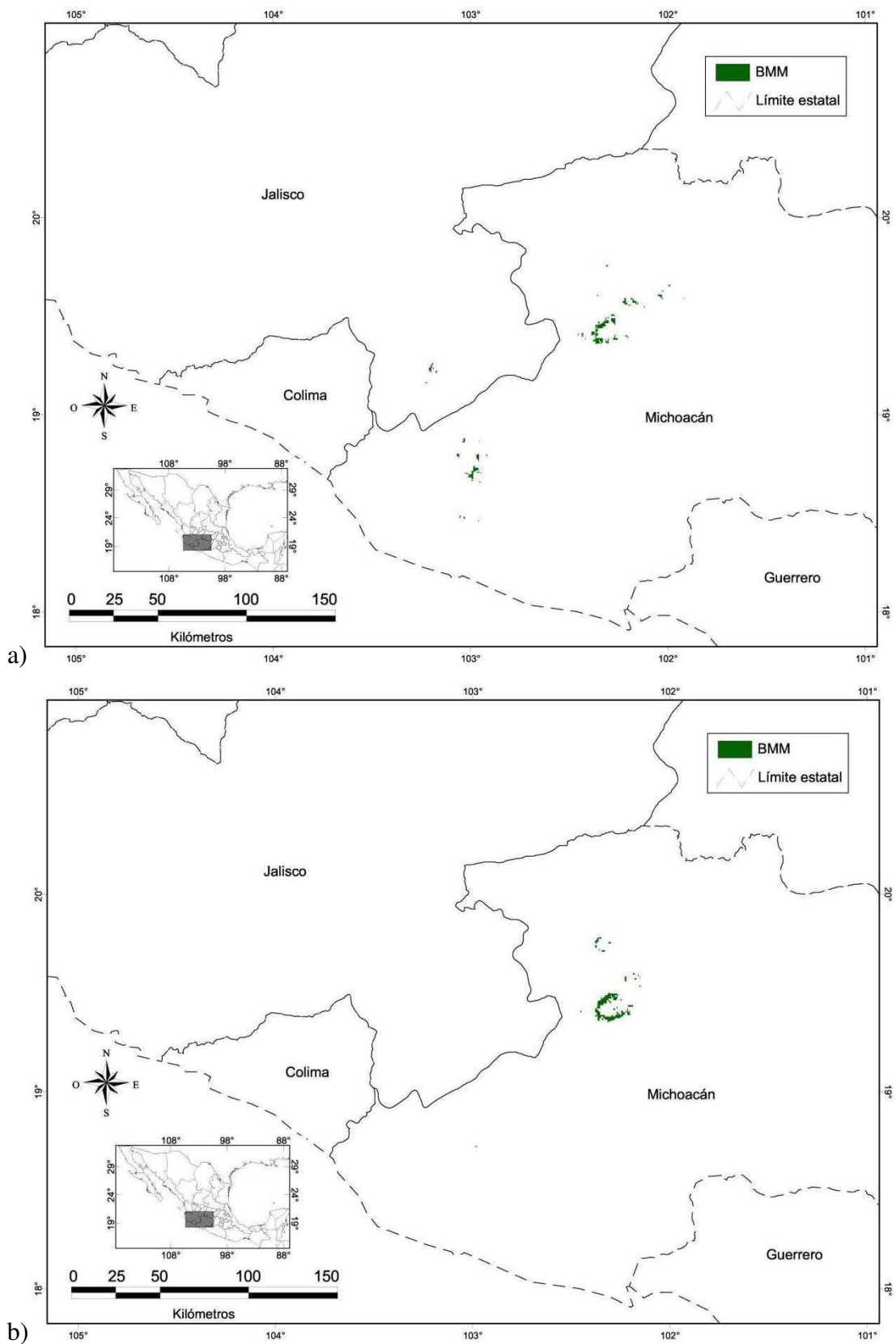


Figura 31. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo D. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

4.3.7 Grupo E

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 1006.5 km², la superficie predicha por GARP es 2.7 veces mayor que la de MaxEnt (cuadro 3 y figura 17). Para ambos SMNE los resultados muestran una disminución del BMM (cuadro 10 y figura 32), para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 30.2%, para el 2050 de 46.2% y para el 2080 de 73.6%.

4.3.8 Grupo F

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 1632.5 km² (cuadro 3 y figura 18). Ambos SMNE muestran resultados con una disminución del BMM (cuadro 11 y figura 33); para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 30.3%, para el 2050 de 42.4% y para el 2080 de 72.5%.

Cuadro 10. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo E en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	65	35	71	29
		B2A	67	33	74	26
	CSIRO	A2A	68	32	66	34
		B2A	84	26	72	28
	HADCM3	A2A	83	27	66	34
		B2A	75	25	67	33
2050	CCCMA	A2A	45	55	58	42
		B2A	45	55	62	38
	CSIRO	A2A	45	55	46	54
		B2A	60	40	61	39
	HADCM3	A2A	66	44	48	52
		B2A	64	36	66	44
2080	CCCMA	A2A	25	75	16	84
		B2A	32	68	26	74
	CSIRO	A2A	20	80	18	82
		B2A	22	78	34	66
	HADCM3	A2A	30	70	27	73
		B2A	33	67	34	66

Cuadro 11. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo F en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	76	34	66	34
		B2A	73	27	73	27
	CSIRO	A2A	69	31	69	31
		B2A	70	30	69	31
	HADCM3	A2A	73	27	65	35
		B2A	75	25	68	32
2050	CCCMA	A2A	58	42	60	40
		B2A	65	35	64	36
	CSIRO	A2A	59	41	52	48
		B2A	61	39	58	42
	HADCM3	A2A	50	50	49	51
		B2A	51	49	64	36
2080	CCCMA	A2A	16	70	30	84
		B2A	22	70	30	78
	CSIRO	A2A	24	76	25	75
		B2A	40	60	38	62
	HADCM3	A2A	33	67	18	82
		B2A	36	64	18	82

4.3.9 Grupo G

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 62.5 km² (cuadro 3 y figura 19). Los resultados muestran una disminución del BMM para ambos SMNE (cuadro 12 y figura 34), para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 20.3%, para el 2050 de 30% y para el 2080 de 40.2%.

4.3.10 Grupo H

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 769.8 km² (cuadro 3 y figura 20). Para ambos SMNE los resultados muestran una disminución del BMM (cuadro 13 y figura 35); para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 13.9%, para el 2050 de 29.4% y para el 2080 de 40.4%.

Cuadro 12. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo G en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	75	25	79	21
		B2A	77	23	81	19
	CSIRO	A2A	80	20	81	19
		B2A	82	18	85	15
	HADCM3	A2A	78	22	75	25
		B2A	79	21	84	16
2050	CCCMA	A2A	66	34	68	32
		B2A	74	26	69	31
	CSIRO	A2A	68	32	71	29
		B2A	71	29	73	27
	HADCM3	A2A	65	35	69	31
		B2A	71	29	75	25
2080	CCCMA	A2A	63	37	56	44
		B2A	65	35	57	43
	CSIRO	A2A	65	45	56	44
		B2A	62	38	64	36
	HADCM3	A2A	55	45	58	42
		B2A	62	38	65	35

Cuadro 13. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo H en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	82	18	81	19
		B2A	86	14	88	12
	CSIRO	A2A	85	15	85	15
		B2A	86	14	87	13
	HADCM3	A2A	86	14	88	12
		B2A	90	10	89	11
2050	CCCMA	A2A	73	27	67	33
		B2A	75	25	74	26
	CSIRO	A2A	65	35	69	31
		B2A	75	25	74	26
	HADCM3	A2A	65	35	67	33
		B2A	74	26	69	31
2080	CCCMA	A2A	61	39	60	40
		B2A	64	36	63	37
	CSIRO	A2A	58	42	55	45
		B2A	59	41	58	42
	HADCM3	A2A	56	44	55	45
		B2A	64	36	62	38

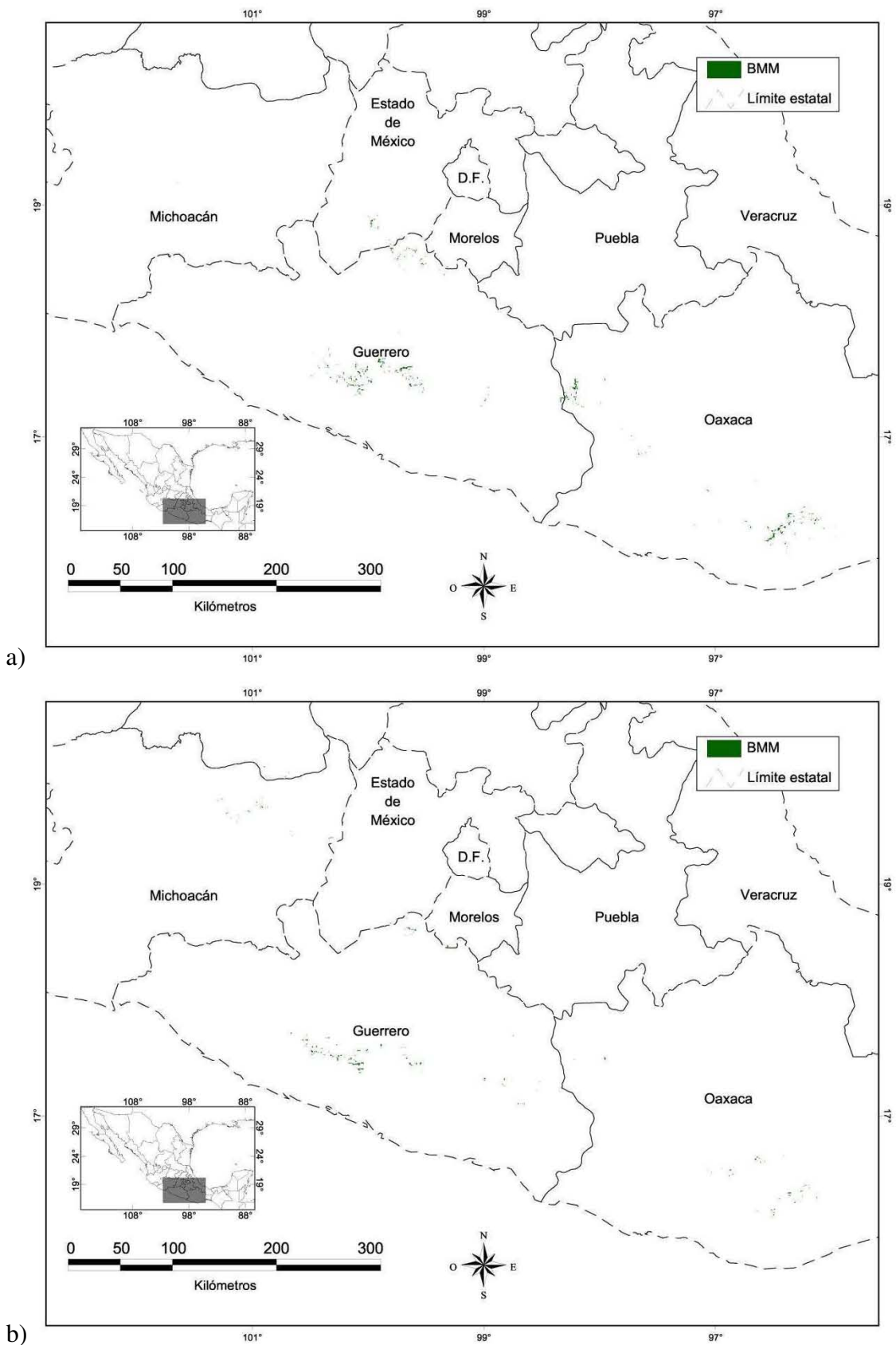


Figura 32. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo E. a) CSIRO A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

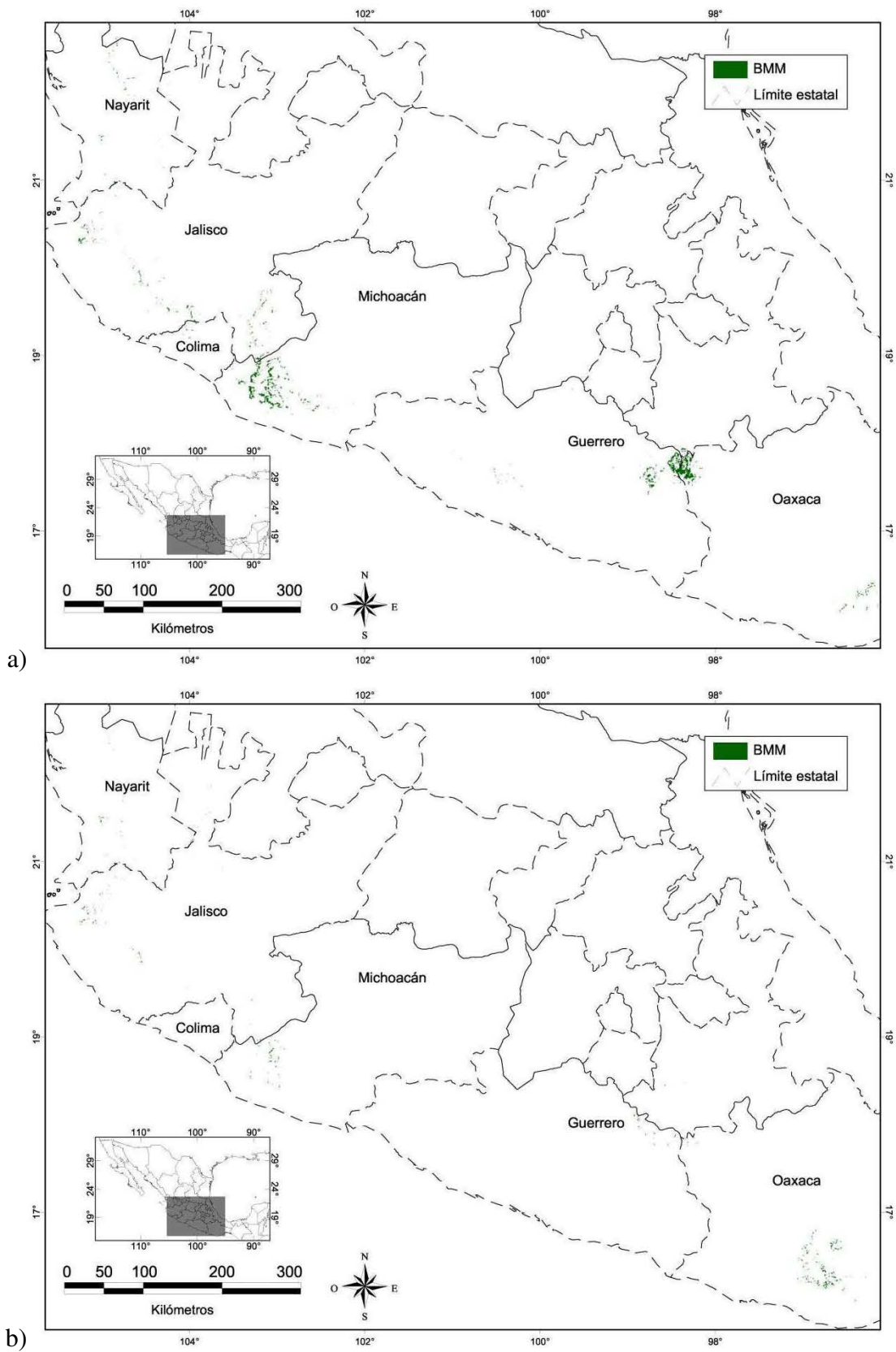


Figura 33. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo F. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

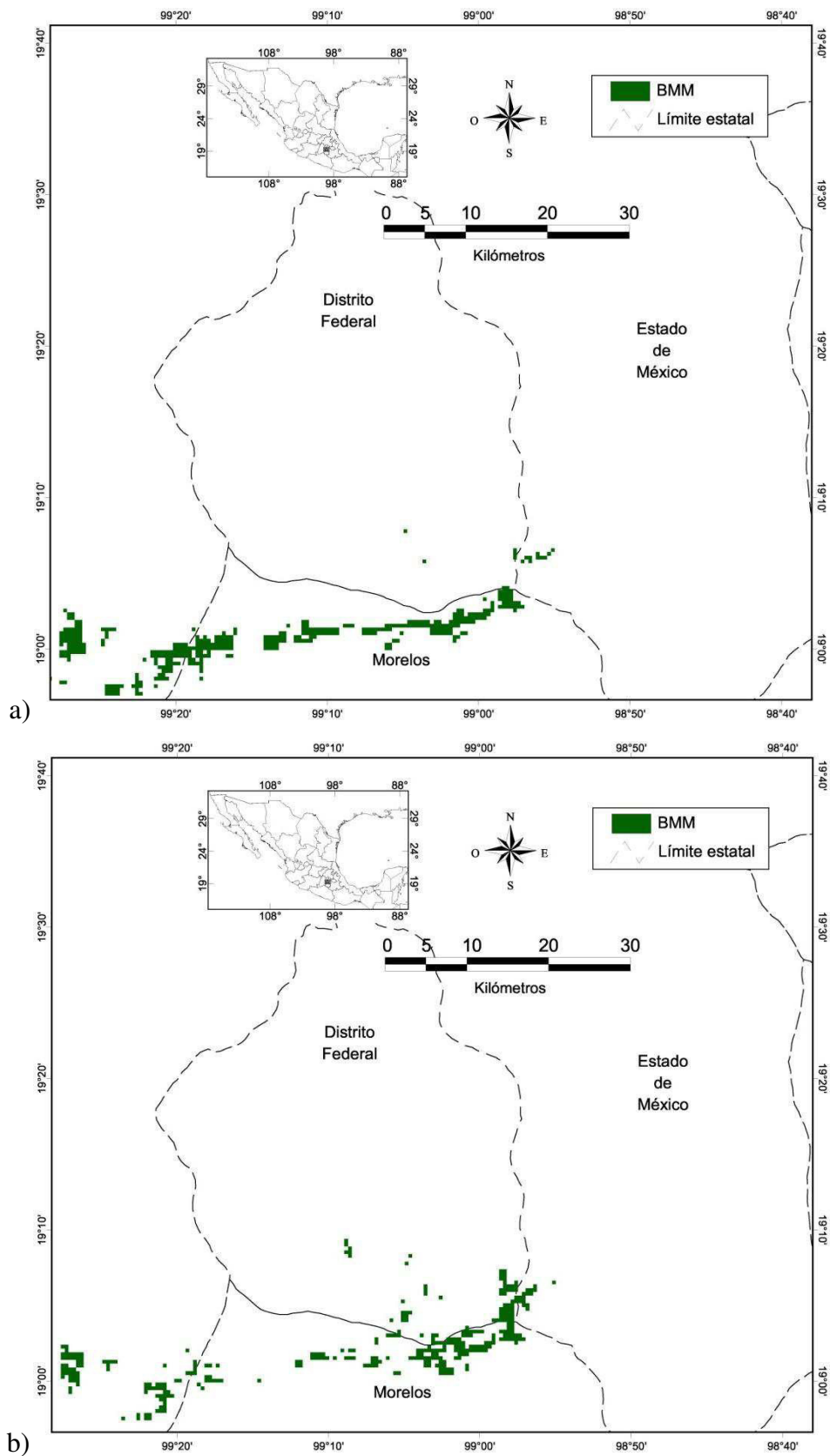


Figura 34. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo G. a) HADCM3 A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.

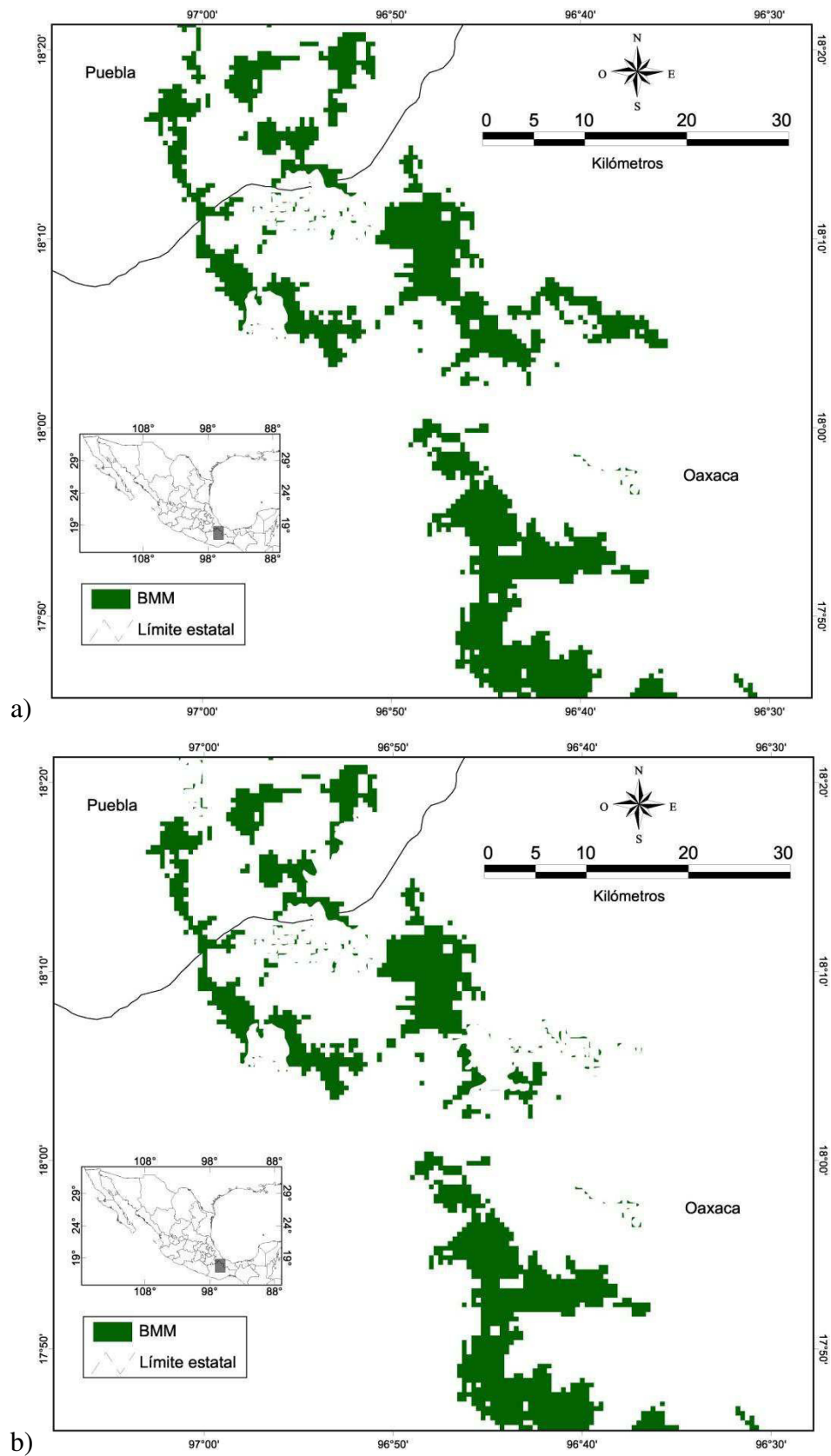


Figura 35. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo H. a) HADCM3 A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.

4.3.11 Grupo I

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 643.5 km² (cuadro 3 y figura 21). Los resultados muestran una disminución del BMM (cuadro 14 y figura 36), para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 16.6%, para el 2050 de 30.1% y para el 2080 de 49.7%.

4.3.12 Grupo J

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 997.8 km² (cuadro 3 y figura 22). Para ambos SMNE los resultados muestran una disminución del BMM (cuadro 15 y figura 37); para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 15.9%, para el 2050 de 29.6% y para el 2080 de 39.6%.

Cuadro 14. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo I en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	86	14	82	18
		B2A	86	14	82	18
	CSIRO	A2A	80	20	81	19
		B2A	81	19	86	14
	HADCM3	A2A	82	18	81	19
		B2A	87	13	87	13
2050	CCCMA	A2A	66	34	69	31
		B2A	70	30	72	28
	CSIRO	A2A	69	31	67	33
		B2A	72	28	71	29
	HADCM3	A2A	71	29	65	35
		B2A	74	26	73	27
2080	CCCMA	A2A	57	43	42	52
		B2A	60	40	39	61
	CSIRO	A2A	59	41	39	61
		B2A	64	36	35	65
	HADCM3	A2A	59	41	43	57
		B2A	61	39	40	60

Cuadro 15. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo J en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	81	19	80	20
		B2A	83	17	83	17
	CSIRO	A2A	87	13	17	13
		B2A	89	11	88	12
	HADCM3	A2A	81	19	81	19
		B2A	86	14	83	17
2050	CCCMA	A2A	69	31	65	35
		B2A	74	26	67	33
	CSIRO	A2A	72	28	68	32
		B2A	75	25	71	29
	HADCM3	A2A	68	32	68	32
		B2A	73	27	75	25
2080	CCCMA	A2A	60	40	60	40
		B2A	65	35	65	35
	CSIRO	A2A	56	44	61	39
		B2A	61	39	65	35
	HADCM3	A2A	56	44	58	42
		B2A	60	40	58	42

4.3.13 Grupo K

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 238.4 km² (cuadro 3 y figura 23). Los resultados muestran una disminución del BMM (cuadro 16 y figura 38), para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 15.6%, para el 2050 de 36.6% y para el 2080 de 59%.

4.3.14 Grupo L

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 178.9 km² (cuadro 3 y figura 24). Ambos SMNE muestran resultados con una disminución del BMM (cuadro 17 y figura 39); para el año 2020 la disminución promedio del BMM es del 15.5%, para el 2050 de 36.6% y para el 2080 de 61.3%.

Cuadro 16. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo K en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	80	20	77	23
		B2A	84	16	81	19
	CSIRO	A2A	78	22	82	18
		B2A	84	16	85	15
	HADCM3	A2A	77	23	76	24
		B2A	89	11	84	16
2050	CCCMA	A2A	70	30	55	45
		B2A	31	29	62	38
	CSIRO	A2A	56	44	62	38
		B2A	72	28	66	34
	HADCM3	A2A	63	37	60	40
		B2A	63	37	61	39
2080	CCCMA	A2A	49	51	35	65
		B2A	53	47	42	58
	CSIRO	A2A	32	68	39	61
		B2A	51	49	44	56
	HADCM3	A2A	30	70	40	60
		B2A	32	68	45	55

Cuadro 17. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo L en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	76	24	76	24
		B2A	90	10	87	13
	CSIRO	A2A	79	21	90	10
		B2A	86	14	90	10
	HADCM3	A2A	77	23	83	17
		B2A	90	10	90	10
2050	CCCMA	A2A	68	32	56	44
		B2A	73	27	60	40
	CSIRO	A2A	58	42	65	35
		B2A	58	42	67	33
	HADCM3	A2A	64	36	60	40
		B2A	65	35	67	33
2080	CCCMA	A2A	41	59	33	67
		B2A	34	66	46	54
	CSIRO	A2A	36	64	35	65
		B2A	45	55	36	64
	HADCM3	A2A	36	66	33	67
		B2A	53	47	39	61

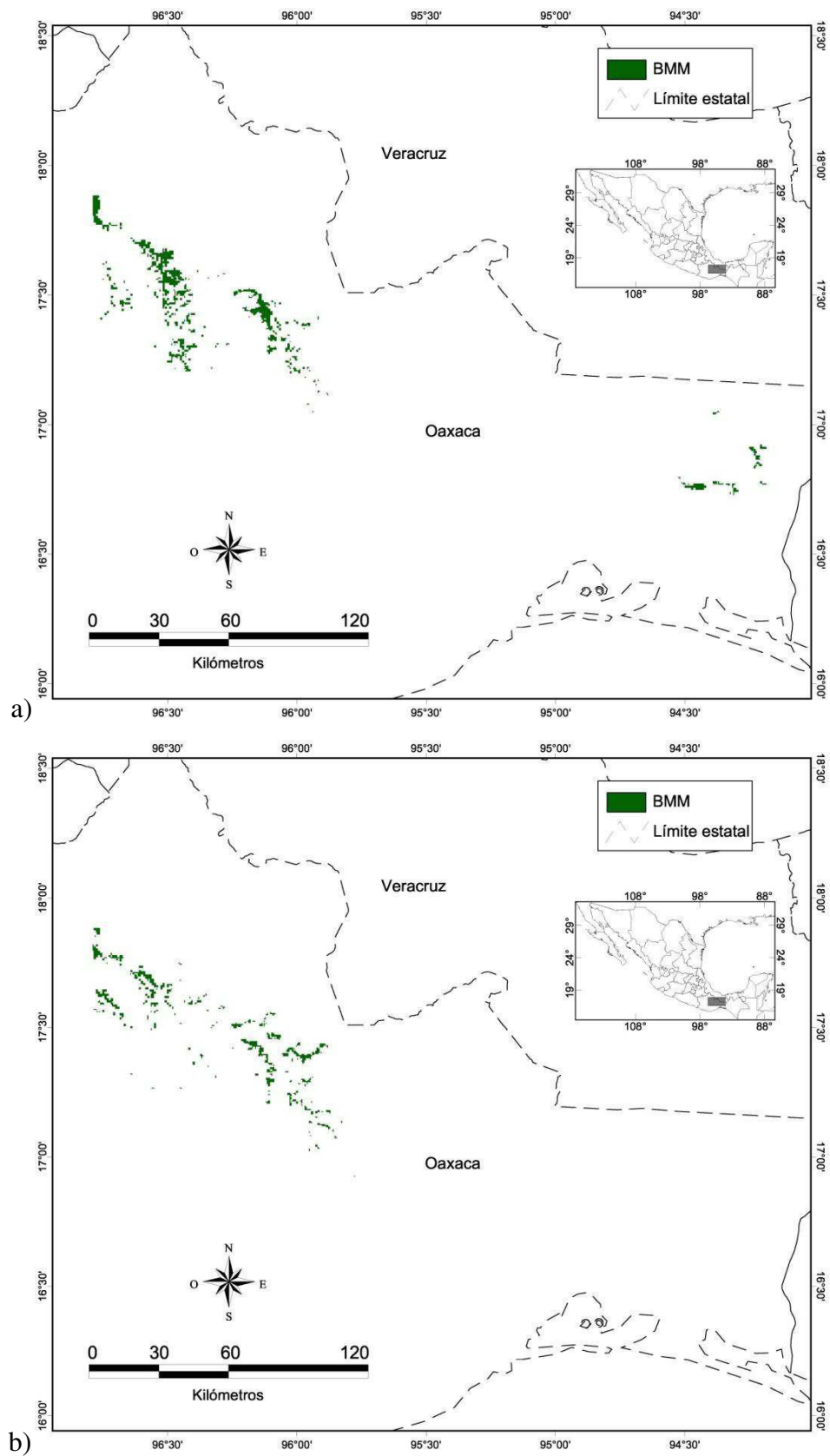


Figura 36. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo I. a) HADCM3 A2 año 2050, b) CSIRO A2 año 2080.

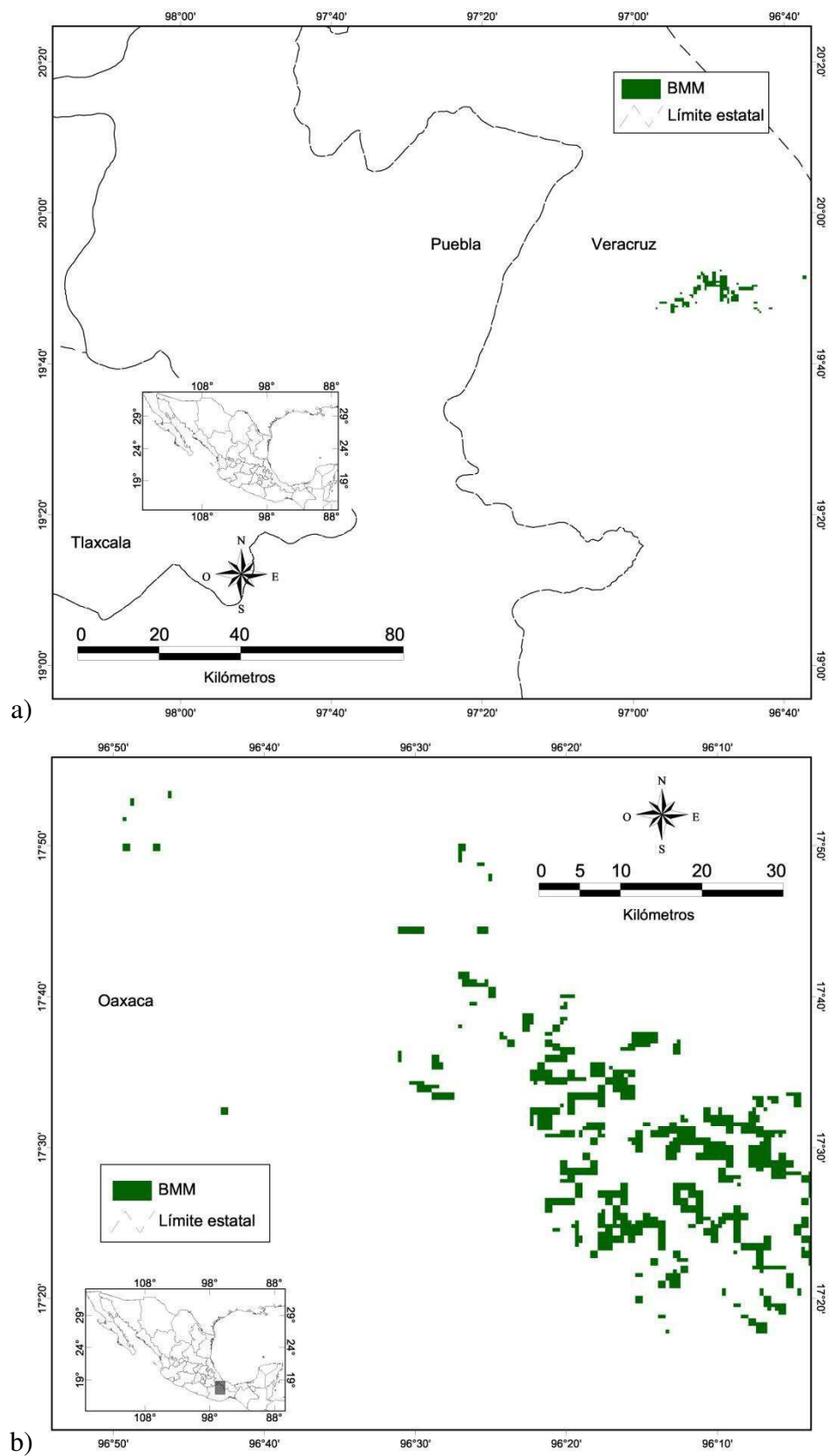


Figura 37. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo J. a) CCCMA A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.

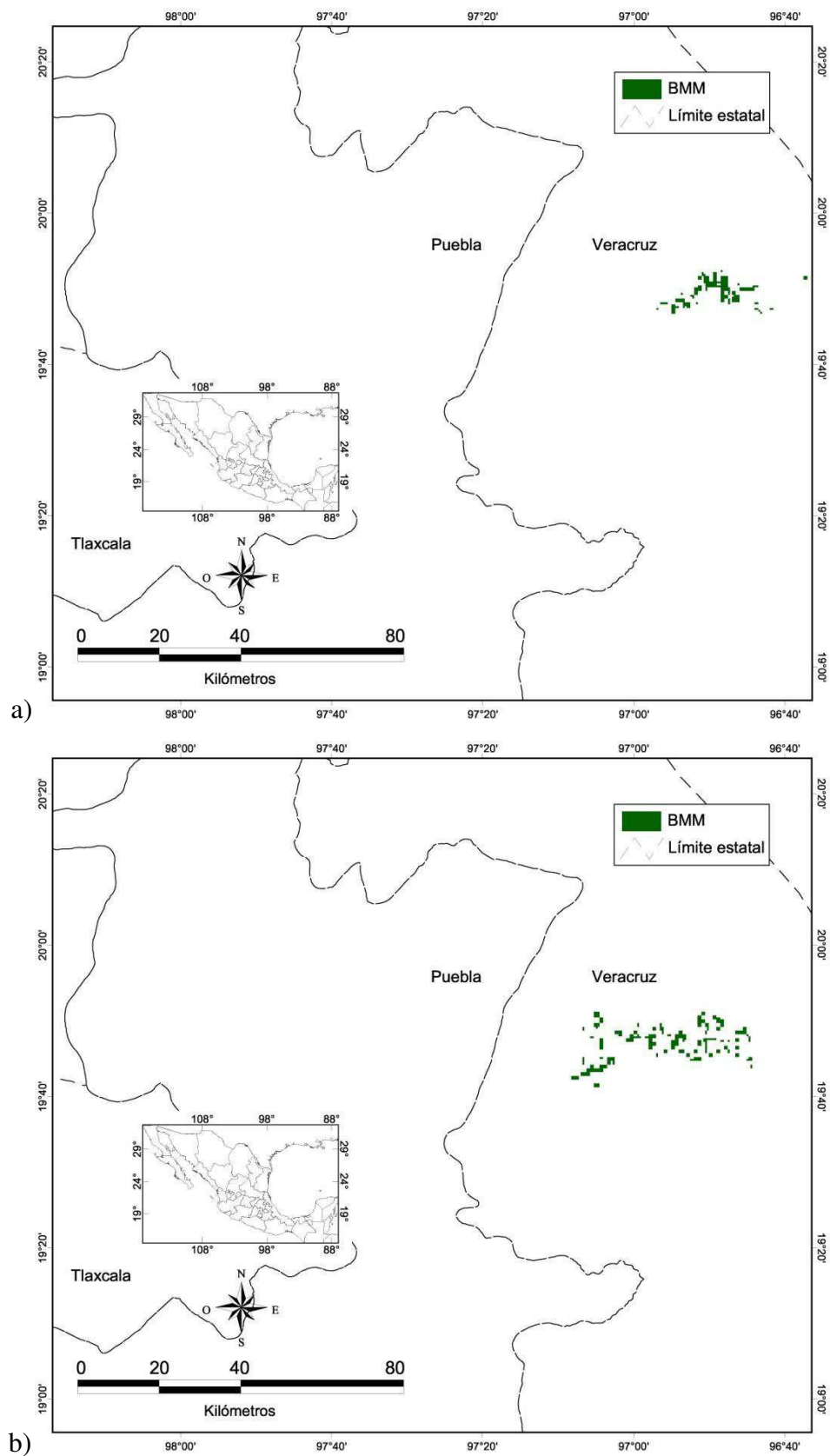


Figura 38. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo K. a) CCCMA A2 año 2050, b) HADCM3 A2 año 2080.

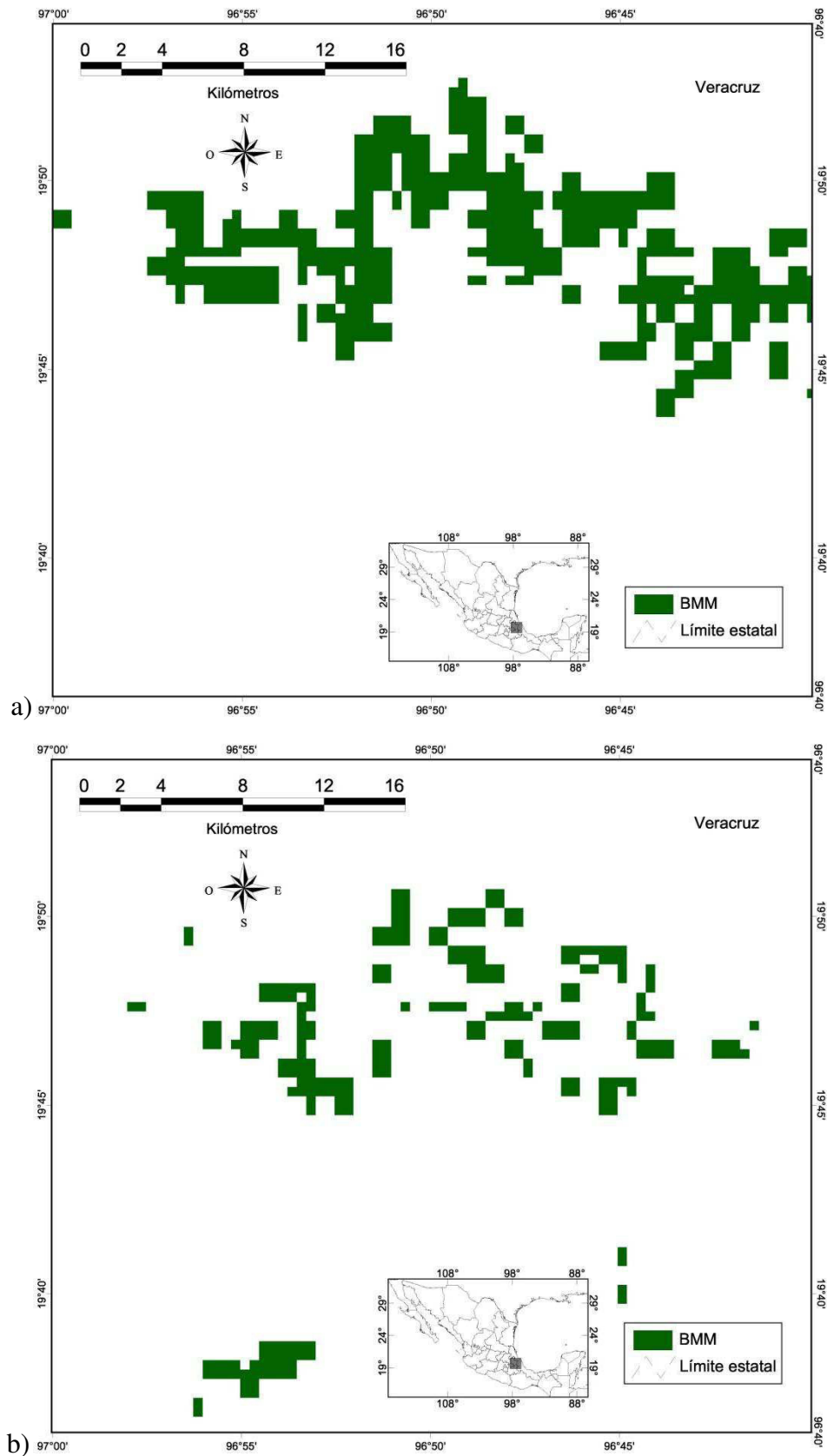


Figura 39. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo L. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

4.3.15 Grupo M

La distribución potencial actual del BMM del grupo cubre una superficie promedio de 163.5 km² (cuadro 3 y figura 25). Los resultados muestran una disminución del BMM (cuadro 18 y figura 40), para el año 2020 la disminución promedio del bosque es del 15.1%, para el 2050 de 29.2% y para el 2080 de 41.1%.

Cuadro 18. Comparación de las superficies de la distribución potencial del BMM del grupo M en los diferentes escenarios de cambio climático.

Año	Modelo	Escenario	GARP		Maxent	
			Área conservada (%)	Área perdida (%)	Área conservada (%)	Área perdida (%)
2020	CCCMA	A2A	88	12	82	18
		B2A	89	11	83	17
	CSIRO	A2A	85	15	82	18
		B2A	85	15	89	11
	HADCM3	A2A	84	16	80	20
		B2A	90	10	82	18
2050	CCCMA	A2A	72	28	66	34
		B2A	74	26	72	28
	CSIRO	A2A	66	34	70	30
		B2A	75	25	72	28
	HADCM3	A2A	70	30	68	32
		B2A	72	28	73	27
2080	CCCMA	A2A	55	45	55	45
		B2A	60	40	63	37
	CSIRO	A2A	59	41	56	44
		B2A	63	37	60	40
	HADCM3	A2A	55	45	55	45
		B2A	63	37	63	37

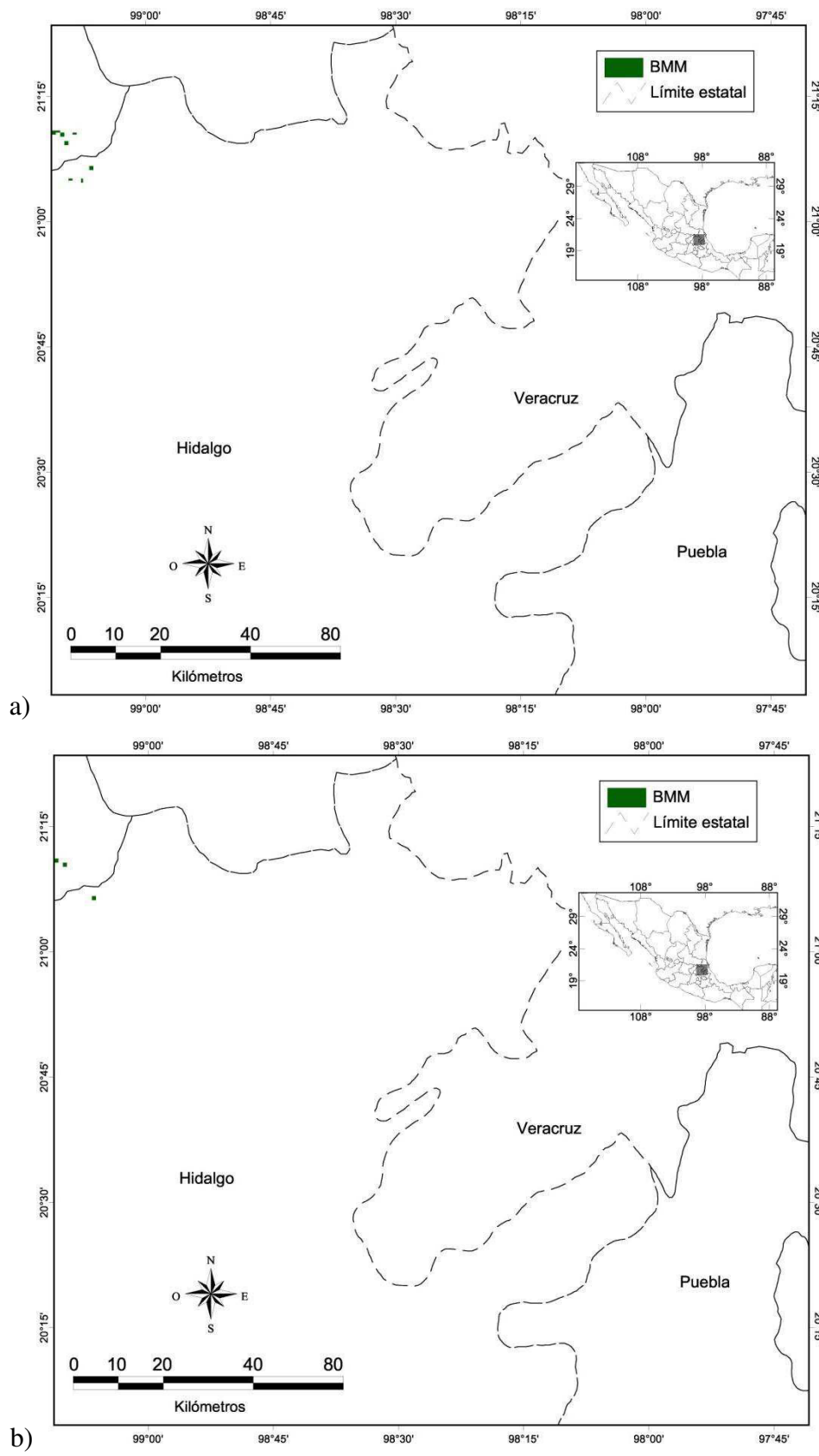


Figura 40. Comparación de la distribución potencial del BMM para los escenarios de cambio climático del grupo M. a) CCCMA A2 año 2050, b) CCCMA A2 año 2080.

5. DISCUSIÓN

En los últimos años el BMM de México ha retomado importancia, no solo desde el punto de vista biogeográfico, ecológico y florístico, sino también, desde la perspectiva de los servicios ambientales que proporciona a las comunidades humanas y de biodiversidad que alberga.

Recientemente, Villaseñor (2010) realiza una revisión de bases de datos y de la literatura relacionada con el BMM y propone una nueva denominación para esta comunidad vegetal, plantea el término Bosque húmedo de montaña (BHM) y encuentra que la riqueza de especies estimada para este tipo de vegetación corresponde al doble de la que se había estimado en estudios previos, reportando 6,790 especies en 1625 géneros y 238 familias (Rzedowski, 1978; 1991; Challenger, 1998). Los resultados iniciales de esta investigación coinciden con las cifras antes mencionadas, pues la base de datos de la flora vascular del BMM de México generada en esta investigación, a partir de los estudios florísticos, estructurales y ecológicos, corresponde aproximadamente al 95% del total de las especies, reportadas por Villaseñor (2010) para el BHM.

La composición florística del BMM es variable y aún en una misma localidad se pueden presentar diferencias espaciales en la distribución de las especies; estas diferencias se reflejan principalmente en la estructura y fisonomía del bosque, lo cual ha provocado que se considere como una comunidad bastante heterogénea (Miranda y Sharp, 1950; Puig, 1974; Rzedowski, 1978). La información que se tiene de este tipo de vegetación es difícil de interpretar y generalizar, debido a la variabilidad fisonómica y estructural del BMM en las provincias florísticas del país.

Esta heterogeneidad se atribuye a que las zonas de México donde se desarrolla, constituyen una compleja matriz de variables ambientales, como la

altitud, suelo y clima; aunando a ello su historia biogeográfica, que a su vez interactúan con las particularidades locales, como la orientación, la pendiente, la altitud, la latitud, la nubosidad, y la humedad del aire y del suelo para constituir un tipo de vegetación complejo (Ruiz-Jiménez, 1995; Ruiz-Jiménez et al., 2000).

Rzedowski (1996) publica un análisis preliminar de la flora vascular de los BMM de México, presenta una lista preliminar de 13 familias y 650 géneros (con al menos una especie), de plantas vasculares exclusivas o preferenciales de este tipo de vegetación. Ante la imposibilidad de conocer la distribución completa de las especies diagnósticas del BMM de México, debido a que no se tiene el inventario completo de este tipo de vegetación para el país o a que los estudios están sesgados hacia ciertas zonas geográficas, entre otras razones; se han utilizado diferentes estrategias para seleccionar las especies que representen las características ecológicas, biogeográficas o históricas de esta comunidad vegetal.

Se han empleado criterios que combinan características biogeográfico-históricas, ecológico-estructurales y ecofisiológicas para seleccionar los géneros preferenciales (Alcántara *et al.*, 2002), especies restringidas al BHM (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2012), o especies estenotópicas (Rojas-Soto *et al.*, 2012). En esta investigación la selección de las especies se realizó considerando la variación florístico-geográfica-bioclimática de los BMM en el país, mediante análisis multivariados con el fin de encontrar grupos florísticamente similares en las provincias florísticas de México.

En este estudio se consideraron 83 localidades con BMM, que incluyen 2,856 especies de plantas vasculares, las cuales se compararon mediante técnicas estadísticas de análisis multivariado de clasificación y ordenación, para simplificar y reducir conjuntos complejos de datos de la vegetación, a través de la generación de modelos sobre las relaciones entre las especies, la vegetación y el ambiente; éstas se utilizaron posteriormente para identificar las especies características del BMM (McCune y Grace, 2002; Sánchez-González y López-Mata, 2003).

La clasificación de los BMM de México permitió determinar grupos y subgrupos; en los dendrogramas (figuras 3 y 4) se presenta un arreglo de las localidades del BMM de acuerdo a su similitud florística, que corresponde con la ubicación geográfica conforme a las provincias florísticas (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Trujillo, 1990) o las subprovincias geológicas (Ferrusquía-Villafranca, 1998) a las que pertenecen. Asimismo, los dendrogramas muestran grupos conformados por localidades de BMM cercanas entre sí y otros conjuntos formados por bosques de diferentes provincias florísticas.

Normalmente, las localidades más cercanas entre sí presentan mayor semejanza en su composición florística y a medida que se incrementa la distancia entre ellas, disminuye el número de especies compartidas (Puig *et al.*, 1983; Puig, 1989); en este estudio, se corroboró que las localidades de BMM muestran mayor similitud florística con áreas fisiográficas contiguas solamente si se ubican en zonas con condiciones climáticas similares (Luna-Vega *et al.*, 1988). Como por ejemplo, los subgrupos A1, A2 y A3 del grupo A en la SMO.

No obstante, existen localidades cercanas que pueden presentar diferencias en su composición florística y tener valores de similitud bajos, de manera que en los dendrogramas forman grupos con bosques de diferentes provincias florísticas (subgrupos del grupo A y grupo B, grupo B y grupo C) . Se debe considerar que las diferencias en la riqueza específica para cada una de las localidades analizadas puede estar influenciada por factores, ambientales, históricos, de disturbio antropogénico y metodológicos.

Las diferencias bioclimáticas de precipitación y temperatura entre localidades pueden dar como consecuencia baja semejanza florística entre ellas; las diferencias bioclimáticas significativas entre las mismas, son suficientes para que exista una diferenciación biogeográfica, aumentando las tasas de especiación por vicarianza. La baja semejanza florística entre localidades puede deberse a aspectos metodológicos como el tipo de muestreo empleado, los criterios de delimitación de la zona de estudio, los esfuerzos de colecta y de muestreo y el tamaño del área considerada (Sánchez, 2004).

La composición florística de una zona se debe a procesos que ocurren a escala local y regional (Ohmann y Spies, 1988), en tanto que la diversidad biológica de una región es el resultado de la interacción entre los factores que favorecen la aparición de nuevos fenotipos y facilitan su acumulación durante un tiempo geológico amplio.

El análisis comparativo de los dendrogramas obtenidos con otros estudios en los que se han empleado índices de similitud, muestra lo siguiente:

El grupo A incluye la mayoría de los bosques de la SMO considerados en este estudio, se dividió en tres subgrupos de acuerdo con su ubicación geográfica dentro de la sierra (centro, norte y Veracruz, A1, A2 y A3, respectivamente); el agrupamiento coincide con los resultados de otros estudios florísticos y estructurales realizados en la SMO.

Puig y Bracho (1987) y Puig (1989) indican que el BMM de Gómez Farías, Tamaulipas presenta los mayores valores de similitud florística a nivel genérico y específico con otros bosques del centro y norte de la SMO (Huayacocotla, Tlanchinol y Xilitla). Alcántara y Luna-Vega (1997) comparan la composición florística del BMM de Tenango de Doria (Hidalgo) y encuentran la mayor similitud florística con los bosques del centro de la SMO (Tlanchinol, Helechales y Hayacocotla), asimismo, la similitud disminuye con los bosques más lejanos y los de otras provincias florísticas (Sierra de San Carlos y Montebello, Chiapas).

El subgrupo A1 coincide con los resultados de Acosta (2004), en el que compara la composición florística a nivel de género de varios BMM del nordeste, centro y sur de México y encuentra que los bosques de Hidalgo son más afines entre sí.

En el subgrupo A3, que está formado por la mayoría de los BMM de Veracruz que se incluyen en este estudio, se agrupa el bosque de Teocelo donde Luna-Vega et al. (1988) estudiaron la composición florística y realizaron la comparación de ésta con la de otras localidades del país mediante el índice de

Sorensen, encontraron que a nivel de género la mayor similitud la presenta con un BMM del centro de Veracruz, seguido por un bosque de Chiapas; estos resultados coinciden de manera general con los de Luna-Vega *et al.* (1988) y la relación de los grupos B y C (figuras 3 y 4) constituidos por BMM de los estados de Chiapas y de Veracruz, respectivamente. La topología general de los subgrupos A1, A2 y A3 es similar a la que encontró Acosta (2004) para los BMM de la SMO.

El grupo E constituido por los BMM de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), se divide de manera general en dos subgrupos, el del centro y el del oeste (figuras 3 a 5), esta división coincide con los resultados encontrados por López (1995), quien compara diversas localidades de BMM de la FVT del Estado de México, mediante el índice de similitud de Sorensen, además, elabora un dendrograma en el que se hace notoria la similitud del bosque de Valle de Bravo y el de la Mesa de Holotepec, dicha similitud disminuye con los bosques de la Sierra de Zacualpan, las cañadas de Ocuilan y la Sierra de Sultepec.

Es necesario hacer notar que a pesar de que en este grupo se consideran localidades de la misma provincia florística (Rzedowski, 1978), la cercanía geográfica no asegura la mayor similitud entre los bosques, ya que existe una gran influencia climática tropical de provincias cercanas, que influyen en la composición florística y además las condiciones ecológicas relacionan estas localidades con la cuenca del Balsas (López, 1995). Así también, el grupo E concuerda con los resultados del estudio de Fragoso (1990), en el que el BMM de la sierra de Zacualpan presenta la mayor similitud florística con el bosque de Ocuilan.

La división del grupo E en subgrupos con mayor similitud florística, y geográficamente distribuidos dentro de la FVT (figuras 3 a 5), se apoya con los resultados de Luna-Vega *et al.* (1989), quienes comparan el bosque de Ocuilan con otras localidades y encuentran la mayor semejanza en su composición florística con bosques cercanos de la misma provincia y ésta disminuye conforme aumenta la distancia entre ellos (Tepoztlán, Tancítaro y la Vertiente Oeste del Iztaccíhuatl, respectivamente). En el estudio de los BMM del noreste, centro y sur

de México, Acosta (2004) muestra un conjunto de bosques de la FVT que presentan este comportamiento (Sultepec, Ocuilan y Valle de México).

De manera general, para la FVT, es notorio que las localidades más cercanas tienen mayor similitud florística; las localidades contiguas con condiciones ecológicas diferentes o que presentan influencia climática de otras provincias florísticas colindantes, pueden presentar altos valores en el índice de similitud (Luna-Vega *et al.*, 1988; Luna-Vega *et al.*, 1989; López, 1995).

El grupo F conjunta BMM de las serranías meridionales del oeste de la FVT, de la Sierra Madre del Sur (en lo sucesivo SMS) y la Planicie Costera del Noroeste (PCN); en los dendrogramas (figuras 2 y 3) se observa que los BMM de la SMS de Oaxaca, dentro de los grupos E y F se agrupan con los bosques de la FVT y posteriormente con los de la SMO.

Esta relación coincide parcialmente con el estudio de Acosta (1997) en el que compara la afinidad a nivel de género del BMM de Pluma Hidalgo, Oaxaca, con otros bosques del país, mediante el índice de similitud de Sorensen, la mayor similitud la encuentra con el bosque de Teocelo (Luna-Vega *et al.*, 1988), seguido del bosque de la Sierra Madre del Sur de Guerrero (Lorenzo *et al.*, 1983) y el de Gómez Farías, Tamaulipas (Puig, 1989). También la misma relación la encuentra Acosta (2004) analizando los BMM del noreste, centro y sur del país.

El grupo I conjunta los bosques de la Chinantla y el Cerro Salomón, ambos de las serranías meridionales de Oaxaca pero de diferentes vertientes y provincias geológicas, considerados como un relictos del Terciario y un bosque del tipo *elfin forest*, respectivamente, se desarrollan en condiciones ambientales similares de humedad y en condiciones ecológicas particulares. Este grupo también lo obtiene Acosta (2004) en su estudio de los BMM del noreste, centro y sur del país.

Los grupos D, J, K, L y M no presentan coincidencias con la mayoría de los estudios donde se han empleado índices de similitud, análisis numéricos y

biogeográficos debido a que la mayoría de las localidades que aquí se consideran, no habían sido incluidas en análisis previos.

En los trabajos de Vázquez-García (1993) y Ramírez-Marcial (2001) se utilizaron análisis de ordenación, para comparar la relación de los BMM de México con los bosques de Centroamérica y de manera general obtuvieron resultados similares; agrupaciones de bosques de acuerdo a la vertiente en la que se ubican (del Golfo o Pacífica), bosques relacionados florísticamente con Centroamérica y otros aislados por su diversidad y altitud particulares. Comparando tales resultados con los del presente estudio, se tiene que existen coincidencias en las agrupaciones por vertiente y por provincias florísticas (figuras 3 a 5); por ejemplo, las localidades conjuntadas en los subgrupos del grupo A, para la vertiente atlántica y los grupos F y D para la vertiente pacífica.

Comparando los resultados con el de Luna-Vega *et al.* (1999) quienes realizan un análisis de las relaciones históricas del BMM de México, mediante un análisis de parsimonia de endemismos, entre los grupos y los clados, se presentan coincidencias generales (subgrupo A1 y clado E que incluye a Eloxochitlán, Huautla de Jiménez, Molocotlán, Tenango de Doria, Tlahuelompa y Tlanchinol,) y parciales (subgrupo A2 y clado B que contiene al Noreste de Querétaro y Gómez Farías, grupo B y C con el clado A que incluye Montebello y El Triunfo). Además, los UGO's comprendidos en algunos grupos (E y F) están incluidos dentro de ciertos clados (D y C). De este modo existen coincidencias en la constitución de los grupos o clados que conforman las provincias florísticas.

Se puede aseverar que conforme se genera más información acerca del BMM de México, los estudios de similitud robustecen las hipótesis de relación entre los manchones de este bosque en las provincias florísticas.

Si se considera un mayor número de localidades en los análisis, se corrobora la semejanza de la composición florística en las localidades geográficamente más cercanas entre sí; no obstante, para ciertas regiones, las diferencias en los resultados dependen del progreso que se tiene en los listados

de las áreas que se comparan, por lo que sólo se podrán dar interpretaciones suficientes cuando se cuente con listas florísticas terminadas (Puig y Bracho, 1987; Puig, 1989; Luna-Vega et al., 1988).

Empero, en todos los estudios que se han realizado es evidente la presencia de grupos naturales y grupos heterogéneos, cuyas relaciones de afinidad contradictoria ponen de manifiesto la necesidad de seguir realizando estudios dentro de esta comunidad vegetal particular, de gran importancia y vulnerabilidad (Puig *et al.*, 1983; Luna-Vega *et al.*, 1988; Acosta, 1997, Acosta 2004).

Los valores altos de similitud en la composición florística, en los parámetros bioclimáticos y las condiciones fisiográficas entre las localidades cercanas, sugieren la posibilidad de que en la antigüedad los bosques formaban parte de uno solo (Puig y Bracho, 1987; Puig, 1989; Luna-Vega *et al.*, 1988). Además, la semejanza puede deberse a que éstos han pasado por los mismos acontecimientos históricos y climáticos, constituyendo floras similares en origen y evolución (Luna-Vega *et al.*, 1988).

Las fluctuaciones climáticas y los cambios fisiográficos del Pleistoceno, pudieron haber contribuido a la diversificación de la flora de México, aunque estas ya estaban establecidas desde el Terciario medio (Rzedowski, 1991); los cambios climáticos del Neogeno y del Pleistoceno provocaron extinciones locales y nuevas invasiones de taxa principalmente en el sur del país a partir de refugios florísticos (Toledo, 1982).

A nivel regional, el clima y la ubicación geográfica de México son los factores que determinan la composición florística y la distribución general de los BMM. El cambio en la composición florística entre las localidades se presenta conforme aumenta la distancia entre ellas, debido a las condiciones ambientales locales (Vázquez-García, 1993). Estos patrones deben tomarse en cuenta cuando se establecen áreas naturales protegidas, es importante que en su delimitación se incluya un área representativa de este tipo de vegetación en la zona.

Así mismo, la composición florística de los BMM cercanos puede modificarse debido al disturbio antropogénico de bajo y alto impacto; los primeros consideran la extracción selectiva de especies comerciales, leña, productos no maderables (helechos, orquídeas y palmas) y el pastoreo; los del segundo rubro implican el cambio de uso de suelo para establecer áreas agrícolas, ganaderas, urbanas que provocan la fragmentación y destrucción del BMM (Challenger, 1998). Como sucede en los bosques de las localidades de los subgrupos A1, A2 y A3 del grupo A y K en la SMO.

No obstante, los disturbios antropogénicos pueden tener efectos positivos en la composición florística de una región, al ocasionar la hibridación de especies silvestres y domesticadas o efectos negativos que determinan su desaparición (Bye, 1993).

En lo que se refiere al análisis de clasificación bioclimática de los grupos y subgrupos, se conformaron conjuntos que de forma general, presentan una distribución en la vertiente del Golfo y la parte sur de la vertiente del pacífico (conjunto 1, figura 6) y en la parte norte de la vertiente del Golfo, la FVT y la vertiente Pacífica (conjunto 2, figura 6).

Es probable que la similitud bioclimática del conjunto 1 (subgrupos A1, A3, y grupos B, H, I, J, K, L y M) se deba a que las provincias florísticas o las subprovincias geológicas donde se ubican las localidades de BMM que conforman estos grupos y subgrupos están influidos por los siguientes sistemas meteorológicos estacionales:

En verano o temporada de lluvias (mayo a octubre), dominan los sistemas tropicales y de vientos que incluyen los alisios del hemisferio norte con dirección noreste o suroeste, que toman la humedad de las aguas cálidas del Golfo de México y se cargan de humedad causando lluvias torrenciales (Soto y Gama, 1997; Soto, 2004; Trejo, 2004). La cantidad de humedad que se vierte en las sierras depende del grado de exposición, la profundidad de los vientos y las dimensiones de dichas cadenas montañosas.

En esta misma época o a finales del verano y principios del otoño se presentan perturbaciones tropicales, los denominados ciclones que se forman en aguas tropicales cálidas y avanzan hacia ambas vertientes del territorio mexicano (Soto y Gama, 1997; Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004; Soto, 2004; Trejo, 2004).

De noviembre a febrero (o hasta abril), en la época seca, se presentan los “nortes”, que son masas de aire frío continental provenientes del sur de Canadá y del norte de Estados Unidos de América, que al pasar sobre el Golfo de México se llenan de humedad y ocasionan el aumento de la precipitación, descensos rápidos en la temperatura y vientos fríos y húmedos dominantes del norte y noreste de hasta 100 km/h (Rzedowski, 1978; Soto y Gama, 1997; Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004; Soto, 2004; Trejo, 2004).

La distribución del BMM de México es la más septentrional en el mundo, debido a lo cual las condiciones climáticas son marcadamente estacionales (Challenger, 1998), la disminución estacional de las lluvias es compensada por la presencia de niebla a nivel de la vegetación (Stadtmuller, 1987); sin embargo, la temperatura muestra estacionalidad y se pueden presentar heladas en los meses más fríos o de manera esporádica, en zonas de menor altitud (Rzedowski, 1978).

En el análisis de ordenación, el factor más importante que explicó la distribución de los grupos y subgrupos fue la estacionalidad de la temperatura, presentó los valores más heterogéneos para los subgrupos A1 y A2, y los más homogéneos para el grupo B; haciendo evidente su separación en el espacio de ordenación. Esta separación refuerza la hipótesis biogeográfica donde se considera que algunas de las provincias florísticas de México no constituyen unidades naturales (Luna et al., 1999), particularmente para la SMO (subgrupos A1 y A2) y Serranías Transísmicas y Soconusco (grupo B).

Mapas de distribución actual

Para la generación de los mapas de distribución actual de las especies seleccionadas se requiere de mapas digitales con mayor resolución espacial a partir de escalas grandes, es necesario mencionar que la escala del mapa digital del Inventario Nacional Forestal del año 2000 (Instituto de Geografía, UNAM; Palacio-Prieto *et al.*, 2000) es pequeña (1: 250,000); al realizar la asignación de los polígonos de BMM con los registros de las especies, la intersección coincide parcialmente con los manchones de BMM, es frecuente que la escala no permita observar manchones de BMM donde se han llevado a cabo estudios.

Ejemplo de lo anterior es que, en el Inventario Nacional Forestal del año 2000 (Instituto de Geografía, UNAM; Palacio-Prieto *et al.*, 2000), no se registran manchones pequeños o cañadas de BMM en los cuales se han realizado observaciones de la presencia de especies diagnósticas de BMM (en la cañada de Contreras dentro del grupo G; Rzedowski, 1970) y otros en los que se han llevado a cabo diversos estudios, entre ellos se puede mencionar el caso del BMM de Santo Tomás Teipán en Oaxaca (Mejía, 2003; Mejía *et al.* 2004).

Los mapas de la distribución geográfica actual del BMM ponen de manifiesto la evidente necesidad de continuar con estudios que registren la presencia de este tipo de vegetación en el país; inventarios florísticos, estudios ecológico-estructurales, restauración ecológica, cartografía de la vegetación, etc.

A pesar de que en los últimos años se han publicado estudios de diversa índole relacionados con el BMM para advertir sobre su vulnerabilidad ante el cambio climático (Ponce-Reyes *et al.*, 2012; Rojas-Soto *et al.*, 2012) y su importancia florística (Villaseñor, 2010), se sabe que el conocimiento florístico es limitado y se deben de incrementar los esfuerzos por estudiarlo (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2012).

Para todos los grupos existen parches de BMM en los que no se han realizado estudios, a pesar de conocer la distribución geográfica de este

importante tipo de vegetación mediante la cartografía digital disponible (escala 1:250,000); es importante comenzar plantear estrategias de estudio desde diversos enfoques florísticos, faunísticos, ecológicos, etc.

Además deben establecerse proyectos de investigación conjuntos entre el INEGI y diversas instituciones de educación superior para plantear metodologías conjuntas para cartografiar a escala grande el BMM del país con el apoyo de los SIG y de herramientas de percepción remota.

Existen regiones del país donde los esfuerzos para conocer el BMM desde el punto de vista florístico han sido notables: las reservas de la Biósfera de El Triunfo en Chiapas, en la Sierra de Manantlán en Jalisco y Colima, en los BMM de Hidalgo, entre otros, en contraste, amplias regiones del país no se han estudiado o existen escasos estudios, tales como la Sierra Norte de Puebla y los bosques de Oaxaca.

La zona donde se distribuye el grupo A1, los BMM de la SMO del estado de Hidalgo y de Huayacocotla Veracruz, es indudablemente es una de las regiones de BMM florísticamente mejor conocidas en el país, pese a que aún no se tienen los inventarios florísticos de todos los manchones de BMM de la región; quedando por inventariar aproximadamente el 50% de los mismos.

Sin embargo, este amplio conocimiento florístico debe de ser utilizado para consolidar el conocimiento ecológico-estructural enfocado a establecer áreas de restauración ecológica para asegurar la conservación actual y futura del BMM de la región.

Mapas de distribución potencial

Para modelar la distribución potencial del BMM se requiere seleccionar las especies diagnósticas de esta comunidad vegetal; en los estudios mas recientes, las especies se han seleccionado mediante diferentes criterios, Cruz-Cárdenas *et al.*, (2012), escogieron 78 especies restringidas o casi restringidas al

bosque húmedo de montaña, es decir, especies presentes en uno o más de los tipos de vegetación que Villaseñor (2010) consideró como BHM. Rojas-Soto *et al.*, (2012), seleccionaron 20 estenotópicas, 16 especies de plantas y 4 de aves distribuidas en los intervalos de las montañas del noreste de Mesoamérica. En esta investigación las especies características del BMM se eligieron para cada grupo, considerando su presencia en más del 60% de los UGOs del mismo, de acuerdo con el índice de frecuencia de Braun-Blanquet (1932).

En el modelado de la distribución potencial de las especies características del BMM, se consideraron variables bioclimáticas y variables de las características del terreno con diferentes resoluciones espaciales y métodos de elaboración, sin embargo, la combinación permitió obtener modelos confiables con ambos SMNE.

De manera general ambos SMNE predicen, para la gran mayoría de las especies modeladas, nichos ecológicos que se delimitaron evitando la sobreestimación del área ocupada, con base en mapas digitales de sistemas de regionalización del país y de uso de suelo en los que las especies no se pueden distribuir actualmente (Navarro-Siguenza *et al.*, 2003; Illoldi y Escalante, 2008), obteniendo los mapas de distribución potencial con los que se realizaron los análisis posteriores.

La necesidad de delimitar los mapas de nichos ecológicos obtenidos con ambos sistemas de regionalización, puede deberse a que las especies que se distribuyen en este tipo de vegetación poseen afinidades geográficas variadas cuyo nicho ecológico se puede extender hacia bosques templados o bosques tropicales.

Dicha afinidad de las especies, puede tener un efecto sobre la estimación de la distribución del bosque, al conjuntar las especies de cada grupo para obtener la distribución potencial general del BMM.

Los mapas de la distribución actual y los de la distribución potencial se asemejan al mapa digital del Inventario Nacional Forestal del año 2000 (Instituto

de Geografía, UNAM; Palacio-Prieto *et al.*, 2000), en zonas donde existen mayor cantidad de estudios florísticos, ecológicos y estructurales sobre el BMM.

Con base en los resultados obtenidos con el SMNE MaxEnt, para cada una de las áreas en las que se distribuyen los grupos, se identificaron las variables que contribuyen en mayor proporción al modelo, dichas variables cambiaron para cada uno de los grupos identificados. Los valores del área bajo la curva (AUC) de las curvas ROC presentaron valores generalmente mayores a 0.90 para la mayoría de los modelos.

Para los dos escenarios utilizados (A2 y B2) de los tres modelos (CCCMA, CSIRO y HADCM3), los resultados obtenidos fueron constantes, el escenario A2 muestra las reducciones de la superficie del BMM mayores, este resultado está de acuerdo con las características conceptuales del mismo.

El escenario A2 considera que el tamaño de la población humana del planeta seguirá aumentando continuamente, el desarrollo económico regional incrementará las diferencias entre la población; los cambios tecnológicos son lentos y fragmentados, lo cual implica un escenario más radical que se asocia con el aumento en la cantidad de CO₂ producido, que tiene como consecuencia el aumento del calentamiento global y representa un escenario más drástico para el desarrollo de los organismos en el planeta (IPCC, 2007).

En los modelos obtenidos de la distribución potencial del BMM, en todas las regiones donde se desarrollan los grupos, se predicen disminuciones paulatinas de la superficie donde se desarrolla esta vegetación, para las tres fechas consideradas (2020, 2050 y 2080).

Los resultados indican que el SMNE GARP generalmente sobrestima la superficie de distribución potencial del BMM para todos los grupos, mientras que el sistema MaxEnt ajusta la distribución hacia las localidades de colecta.

En algunos casos es notable que mientras GARP modela la distribución potencial del BMM en las provincias florísticas en las que se distribuye el grupo, MaxEnt solo predice la distribución para zonas donde existen colectas.

La distribución potencial actual del grupo A1 (centro de la SMO) con ambos SMNE es parecida; sin embargo, las áreas que comprenden son diferentes. En los modelos de los diferentes escenarios de cambio climático las disminuciones de la superficie hacia el año 2080 son constantes, dichas proyecciones futuras indican generalmente, la disminución de la superficie de los bosques actuales y en otros casos el desplazamiento del BMM hacia zonas de mayor altitud.

Pese a lo anterior, el principal problema al que se enfrenta esta zona es la presión actual del cambio de uso de suelo, para establecer zonas pecuarias para el ganado vacuno.

La distribución potencial actual del grupo A2 (norte de la SMO) con ambos SMNE es parecida; los modelos de los diferentes escenarios de cambio climático proyectan la disminución del BMM para la región e incluso la desaparición de manchones muy importantes de bosque para 2050, tal es el caso del BMM de la Reserva de la Biósfera El Cielo (Tamaulipas), en otros casos, se predice el desplazamiento del bosque hacia zonas templadas frías.

La distribución potencial actual del grupo A3 (Veracruz) predicha con el sistema GARP es mayor (6.2 veces) a la propuesta por MaxEnt, haciendo evidente la diferencia en el mapa (figura 13). En los modelos de cambio climático la reducción es notable, aunque actualmente una de las mayores presiones es el cambio de uso de suelo en el centro de Veracruz.

Para el grupo B (Chiapas), ambos sistemas de modelación predicen áreas cercanas a las localidades de colecta y no se predicen gran cantidad de parches de BMM del estado. Las predicciones de distribución con los modelos de cambio climático también presentaron el mismo efecto; se predice una disminución de la

superficie del BMM e incluso la desaparición del BMM del Parque Nacional Lagunas de Montebello a partir del año 2050.

En el grupo C (Banderilla y la Sierra de Santa Martha, Veracruz), los modelos actuales predicen la presencia del BMM sólo en una de las localidades utilizadas en la generación de los mismos; las predicciones con los modelos de cambio climático indican una drástica reducción del BMM e incluso un desplazamiento hacia altitudes menores.

La predicción de la distribución potencial actual del grupo D (Serranías Meridionales de Jalisco y Michoacán) con ambos sistemas fue muy limitada; a pesar de que el sistema MaxEnt predice una superficie menor, presenta mayor coincidencia con parches de BMM actuales. Se predice una drástica reducción en la superficie del BMM hacia el año 2080 e incluso un desplazamiento hacia altitudes mayores.

Para el grupo E (Serranías Meridionales de los estados de México, Guerrero, Michoacán y Morelos) ambos sistemas de modelación predicen áreas próximas a los registros de las especies y no se predicen la mayoría de los parches de BMM de las provincias florísticas. Las predicciones de distribución con los modelos de cambio climático también presentaron el mismo efecto y predicen una disminución de la superficie del BMM enfocándose en cuatro zonas con BMM.

Para el grupo F (Serranías Meridionales de Colima, Guerrero, Jalisco, Oaxaca y Nayarit) ambos sistemas de modelación predicen áreas cercanas a las localidades de colecta y no se predicen numerosos parches de BMM de las provincias florísticas, incluso sólo se predice la distribución del BMM en la vertiente pacífica. Las predicciones con los modelos de cambio climático indican una drástica reducción del BMM e incluso un desplazamiento hacia zonas de bosques templados.

Ambos SMNE predicen para el grupo G (Iztaccíhuatl y Magdalena Contreras) áreas cercanas a las localidades de colecta que pueden ser

consideradas como una sobrepredicción, ya que los registros de presencia de las especies del grupo hacen referencia a cañadas o parches muy pequeños de BMM. Las predicciones de distribución con los modelos de cambio climático señalan una disminución de la superficie de bosques que no habían sido modelados para la actualidad, estos bosques corresponden a los de la parte norte del estado de Morelos.

Los BMM de Oaxaca contenidos en los grupos H a J, muestran una distribución potencial actual parecida con ambos SMNE. Para el grupo H (Sierra Mazateca) se predice una reducción en la superficie del BMM hacia el año 2080 e incluso un desplazamiento hacia altitudes mayores.

Las predicciones del grupo I señalan una fuerte reducción de la superficie del bosque para el año 2050, para el año 2080 predicen la desaparición de los bosques de la zona de los Chimalapas. Para el grupo J (norte de Oaxaca) las predicciones también indican una fuerte reducción de la superficie del bosque para el año 2080.

La distribución potencial actual predicha para los grupos K y L (centro de la SMO) con ambos SMNE fueron similares; las predicciones de distribución con los modelos de cambio climático señalan una reducción de la superficie del bosque para el año 2080.

Para el grupo M (Huauchinango, Puebla y Pisaflores, Hidalgo) ambos sistemas de modelación pronostican superficies semejantes, predicen áreas cercanas a las localidades de colecta y no se modelan numerosos parches de BMM de la SMO del grupo A1. Las predicciones de distribución con los modelos de cambio climático señalan una drástica reducción de la superficie del bosque para el año 2080, incluso, desde el año 2050 se pronostica la desaparición de los BMM de Huauchinango, Puebla.

Los mapas de distribución del BMM resultado del modelado de los efectos del cambio climático en diferentes escenarios, indican una drástica reducción de la superficie del bosque; en promedio para el año 2020 las superficies disminuyen

18.5%, presentando un intervalo de pérdida que va de entre el 13.9% a 30.3%; para el año 2050 el promedio de pérdida es de 34.3% con un intervalo de entre el 22.1% y el 46.7%; para el año 2080 el promedio de pérdida es del 54.6% con un intervalo entre el 34.4% y 75.3%.

Los BMM más vulnerables a los efectos del cambio climático para el año 2080 se ubican en la parte central de la SMO (subgrupo A1), los modelos predicen una reducción máxima de 82.5%. Para los bosques de Chiapas (grupo B), de las Serranías Meridionales de los estados de México, Guerrero, Michoacán y Morelos (grupo E); de las Serranías Meridionales de Colima, Guerrero, Jalisco, Oaxaca y Nayarit (grupo F) y del centro de la SMO (subgrupo A1) las reducciones predichas varían en promedio del 71.5% al 75.3%.

Por lo anterior se hace evidente que el BMM de México es vulnerable ante el cambio climático, como consecuencia del calentamiento global antropocéntrico; sin embargo, la predicción que dichos modelos arrojan sobre la reducción de la superficie del BMM, se debe de tomar con precaución y fungir como guía para la identificación de áreas vulnerables ante el cambio climático sin desatender los problemas actuales a los que está expuesta esta comunidad vegetal, como el cambio de uso de suelo.

En los últimos años en los estados de Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca y Puebla se han identificado zonas de BMM que presentan un alto grado de conservación, tamaño, composición florística, vulnerabilidad al cambio climático, entre otros; que potencialmente pueden conservarse y manejarse de forma sustentable vinculando a la sociedad mediante planes de ordenamiento territorial que aseguren la permanencia de esta comunidad vegetal y con ella los servicios ambientales que proporcionan (Villaseñor, 2010; Toledo-Aceves *et al.*, 2011; Ponce-Reyes *et al.*, 2012; Rojas-soto *et al.*, 2012)

Los mapas de distribución potencial actual y futura de las especies características del BMM, así como los mapas generales de este tipo de vegetación obtenidos a partir de éstas, se deben de utilizar como un elemento más del

conocimiento que ayude a la comprensión de esta importante comunidad vegetal del país.

Finalmente, este trabajo aporta información acerca del panorama del BMM de México pretendiendo de esta forma advertir sobre los riesgos actuales y futuros de esta comunidad y promover la generación de información que ayude a esclarecer su futuro incierto

6. CONCLUSIONES

A continuación se enlistan las conclusiones derivadas de la presente investigación:

1. La base de datos generada a partir de estudios florísticos estructurales y ecológicos refuerza la idea de que el BMM es el tipo de vegetación con mayor riqueza de especies vegetales en México.
2. Al generar mayor información sobre este tipo de vegetación se apoyan las hipótesis sobre la relación entre las provincias florísticas.
3. La clasificación numérica permitió identificar los diferentes grupos con características florísticas y ambientales particulares, esta fue la base para la selección de las especies características del BMM de México.
4. La heterogeneidad del BMM como comunidad se apoya con la identificación de diferentes conjuntos de especies y parámetros bioclimáticos.
5. El sistema modelador del nicho ecológico GARP sobreestima la distribución del BMM, mientras que el sistema MaxEnt ajusta las distribuciones del nicho ecológico que para esta comunidad vegetal es muy importante dada su distribución restringida y archipelágica.
6. Los resultados del modelado de la distribución potencial del BMM en los escenarios de cambio climático en las diferentes fechas consideradas, ponen de manifiesto su vulnerabilidad ante dicho fenómeno.
7. Es urgente divulgar la información sobre el riesgo de este tipo de vegetación ante el cambio climático global y el cambio de uso de suelo, es necesario incrementar las acciones de conservación encaminadas a la protección y restauración ecológica de esta comunidad vegetal, orientadas hacia el manejo sustentable del BMM en México.

8. Es urgente realizar inventarios florísticos de las localidades donde existe BMM para minimizar la pérdida de información a consecuencia del cambio de uso de suelo en el país.

9. En las localidades o regiones donde se cuenta con inventarios florísticos de esta comunidad vegetal, se requiere establecer programas de educación ambiental para promover la importancia de su conservación.

10. Se requiere elaborar cartografía del BMM de México a escala grande (1:50,000) para conocer su distribución real, su estado de conservación y establecer un plan estratégico de conservación actual y futuro.

8. LITERATURA CITADA

- Acosta, S. 1997. Afinidades fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de la zona de Pluma Hidalgo, Oaxaca, México. *Polibotánica* 6: 25-39.
- Acosta, I. 2002. Vegetación y flora del municipio de Xico, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 150 p.
- Acosta, S. 2004. Afinidades de la flora genérica de algunos bosques mesófilos de montaña del nordeste, centro y sur de México: un enfoque fenético. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 75: 61-72.
- Aguirre, G. J. and J. F. Duivenvoorden. Can we expect to protect threatened species in protected areas? A case study of the genus *Pinus* in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 875-882.
- Ahumada, C. B. 1994. Distribución y biodiversidad del bosque mesófilo de montaña en El Palmito, municipio de Condordia, Sinaloa. Seminario de Investigación II. Universidad Autónoma de Sinaloa. México.
- Alcántara, O. 1996. Estudio florístico y biogeografía del bosque mesófilo de montaña del Municipio de Tenango de Doria, Hidalgo, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 83 p.
- Alcántara, O. e I. Luna-Vega. 1997. Florística y análisis biogeográfico del bosque mesófilo de montaña de Tenango de Doria, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 68(2): 57-106.
- Alcántara, O. e I. Luna-Vega. 2001. Análisis florístico de dos áreas con bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 54: 51-87.

- Alcántara, O., I. Luna and A. Velázquez. 2002. Altitudinal distribution patterns of cloud forest based upon preferential characteristic genera. *Plant Ecology* 161:167-174.
- Álvarez del Castillo, C. 1977. Estudio ecológico y florístico del cráter del volcán San Martín Tuxtla, Veracruz, México. *Biótica* 2(1): 3-54.
- Anderson, R.P. 2003. Real vs. artefactual absences in species distributions: tests for *Oryzomys albigularis* (Rodentia: Muridae) in Venezuela. *Journal of Biogeography* 30: 591-605.
- Anderson, R.P., Lew, D. and A.T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distribution: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162: 211-232.
- Anderson, R. P. and Martínez-Meyer. 2004. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation* 116:167-179.
- Arellanes, Y. 2000. Análisis estructural de un bosque mesófilo de montaña de *Ticodendron incognitum* en la Sierra Norte de Oaxaca, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 86 p.
- Arriaga, L. 1994. Dinámica de claros y procesos de regeneración en un bosque mesófilo de montaña. Tesis de doctorado. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 279 p.
- Arriaga, L., A. Castellanos, E. Moreno and J. Alarcón. 2003. Potential ecological distribution of alien invasive species and risk assessment: a case study of buffel grass in arid regions of Mexico. *Conservation Biology*. 18(6): 1504-1514.
- Austin, M.P., A. O. Nicholls and C.R. Margules. 1990. Measurement of the realized qualitative niche: Environmental niches of five *Eucalyptus* species. *Ecological Monographs* 60: 231-238.
- Ávila, V. 2004. La vegetación de la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 112 p.

- Ávila, V. 2006. Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del Río Magdalena: diagnóstico hacia la restauración ecológica. Tesis de maestría. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 83 p.
- Ávila, V., B. González-Hidalgo, M. Nava-López y L. Almeida-Leñero. 2008. Refugio de fitodiversidad en la ciudad de México, el caso de la cuenca del Río Magdalena. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 2(1): 605-619.
- Ballesteros, M. 1986. Estudio de la flora y la vegetación de Helechales en el municipio de Huayacocotla, Veracruz. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 66 p.
- Blanco, J. 1994. La vegetación de la Sierra de San Juan, Nayarit, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 87 p.
- Blanco, A. 2001. Análisis sucesional del bosque mesófilo de montaña en El Rincón, Sierra Norte de Oaxaca. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Iztacala, Estado de México. 60 p.
- Boston, A.N. and D.R.B. Stockwell. 1995. Interactive species distribution reporting, mapping and modeling using the World Wide Web. *Computer Networks and ISDN Systems* 28: 231-238.
- Boyle, B. 1996. Changes on altitudinal and latitudinal gradients in neotropical montane forests. Tesis de doctorado. School of Arts and Sciences. Washington University. Saint Louis, Missouri. 260 p.
- Braun-Blanquet, J. 1932. *Plant Sociology, the study of plant communities*. Hafner Publications. Nueva York, USA. 439 p.
- Briones, O. 1991. Sobre la flora, vegetación y fitogeografía de la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. *Acta Botánica Mexicana* 16: 15-43.
- Breedlove, D.E. 1973. The phytogeography and vegetation of Chiapas (Mexico). In: A. Graham (ed.) *Vegetation and Vegetational History of northern Latin America*. Elsevier, Amsterdam. pp 149-165.
- Brooks, T.M., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.B. da Fonseca, A.B. Rylands, W.K. Konstant, P. Flick, J. Pilgrim, S. Oldfield, G. Magin and C. Hilton-

- Taylor. 2002. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology* 16 (4): 909-923.
- Brown, D.A. and M. Kappelle. 2001. Introducción a los bosques nublados del Neotrópico: Una síntesis regional. En: Brown, D.A. y M. Kappelle (eds.). *Bosques nublados del Neotrópico*. INBIO, Costa Rica. pp. 25-40.
- Bye, R. 1993. La intervención del hombre en la diversificación de las plantas en México. *In* *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución*, T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México, p 689-713.
- Campos-Villanueva, A. 1993. Estudio florístico de la porción central del municipio de San Jerónimo Coatlán (Oaxaca). Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 97 p.
- Campos-Villanueva, A. y J. L. Villaseñor. 1995. Estudio florístico de la porción central del Municipio de San Jerónimo Coatlán, distrito de Miahuatlán (Oaxaca). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56: 95-120.
- Carlson, M. 1954. Floral elements of the pine-oak-*liquidambar* forest of Montebello, Chiapas, México. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 8(5): 387-399.
- Carpenter, G., A.N. Gillson y J. Winter. 1993. DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potencial distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* 2: 667-680.
- Cartujano, S., S. Zamudio, O. Alcántara e I. Luna-Vega. 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.
- Castillo, J. 1996. Vegetación de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 58 p.
- Castillo-Campos, G. y V. E. Luna. 2009. Flora y vegetación del municipio de Coatepec, Veracruz. *Flora de Veracruz, Fascículo complementario I*.
- Catalán, C. 2004. Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero, México. Tesis de doctorado. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 96 p.

- CBD. Status and trends of Global biodiversity. 2002. Disponible en: www.cbd.int/gbo1/chap-01.shtml Fecha de consulta: 16-10-2012.
- Chiang, F. 1970. La vegetación de Córdoba, Ver. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 37 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre, S.C., México, D.F. 847 p.
- Chase, J.M. and M.A. Leibold. 2003. Ecological Niches. Linking classical and contemporary approaches. University of Chicago Press. Chicago. USA. 212 pp.
- CONABIO, 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, México.
- Contreras–Medina, R., J.J. Morrone and I. Luna. 2001. Biogeographic methods identify gymnosperm biodiversity hotspots. *Naturwissenschaften* 88: 427-430.
- Contreras-Medina, R., I. Luna-Vega y C. Ríos-Muñoz. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en Mexico: Modelos ecológicos de nicho, efectos del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural* 83:421-433.
- Cornejo-Tenorio, G., A. Casas, B. Farfán, J. L. Villaseñor y G. Ibarra. 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 73: 43-62.
- Croda, G. 1992. Efecto de borde sobre las densidades absoluta y relativa (categorías diamétricas y alturas) y el área basal de los árboles en fragmentos de bosque mesófilo de Coacoatzintla, Veracruz. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 77 p.
- Crovello, T.J. 1981. Quantitative biogeography: an overview. *Taxon* 30: 563-575.
- Cruz-Cárdenas, G., J L. Villaseñor, L. López-Mata and E. Ortiz. 2012. Potential distribution of humid mountain forest in Mexico. *Botanical Sciences* 90(3): 331-340.

- Cuevas, R. 1994. Flora de la estación científica Las Joyas, municipio de Autlán, Jalisco, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 133 p.
- Cuevas, R. 2002. Análisis de gradientes de la vegetación de la Cañada El Tecolote, en la Sierra de Manantlán, Jalisco, México. Tesis de doctorado. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 140 p.
- Cuevas, R. y E. Jardel. 2004. Flora y vegetación de la estación científica Las Joyas. Universidad de Guadalajara, Jalisco. México.
- Cuervo-Robayo, A. y O. Monroy-Vilchis. 2012. Distribución del jaguar *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) en Guerrero, México: persistencia de zonas para su conservación. Rev. Biol. Trop. 60(3): 1357-1367.
- De Jong, K. 1988. Learning with genetic algorithms: An Overview. Machine Learning 3:121-138.
- Díaz-Barriga, H. y M. Palacios-Ríos. 1992. Lista preliminar de especies de pteridofitas de los estados de Guanajuato, Michoacán y Querétaro (México). Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Fascículo complementario III.
- Diego-Pérez, N., S. Peralta-Gómez y B. Ludlow-Wiechers. 2001. Estudios florísticos en Guerrero No. 11. El Jilguero. Bosque Mesófilo de Montaña. Las prensas de Ciencias. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 42 p.
- Dudík, M., S. Phillips and R. Schapire. 2004. Performance guarantees for regularized maximum entropy density estimation. Proceedings of the Seventeenth Annual Conference on Computational Learning Theory. ACM Press, New York, pp. 655-662.
- Durán, C. 1992. La vegetación de la barranca de las Minas, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 61 p.
- Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L.G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J.McC. Overton, A.T. Peterson, S.J. Phillips, K.S. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M.S. Wisz, and N.E.

- Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distribution from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- Elith, J., S. Phillips, T. Hastie, M. Dudík, Y. Chee and J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Elton, C. 1927. *Animal ecology*. London: Sidgwick and Jackson.
- Escutia, J. 2004. Análisis estructural del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande de Lolotla, Hidalgo, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 98 p.
- ESRI, 2000. Arc View Gis Ver. 3.2^a. Environmental Systems Research Institute, Inc., USA.
- Engler, R., A. Guisan and L. Reichsteiner. 2004. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology* 41: 263-274.
- Espinosa, D., C. Zúñiga y T. Escalante. 2001. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. En: J. Llorente y J.J. Morrone (Eds.) *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, Conceptos, Métodos y Aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias, México, D.F. pp. 31-37.
- Farber, O. y R. Kadmon. 2003. Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance. *Ecological Modelling* 160: 115-130.
- Feria, T.P. and T. Peterson. 2002. Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions* 8: 49-56.
- Fernández, R. y J. Colmenero. 1997. San Joaquín. Notas sobre la vegetación y flora del municipio de San Joaquín Querétaro, México. *Polibotánica* 4:10-36.
- Ferrusquía-Villafranca, I. 1998. Geología de México: una sinópsis. *In* *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución*, T. Ramamoorty, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México, p 689-713.
- Flores V.O. y P. Gerez. 1994. *Biodiversidad y conservación en México: Vertebrados, vegetación y uso del suelo*. CONABIO y UNAM. 493 p.

- Fonseca, R., E. Velázquez y E. Domínguez. 2001. Estudios florísticos en Guerrero No. 12. Carrizal de Bravos. Bosque Mesófilo de Montaña. Las Prensas de Ciencias. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 41 p.
- Foster, P. 2001. The potencial negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forest. *Earth-Science Reviews* 55: 73-106.
- Fragoso, R. 1990. Estudio florístico en la parte alta de la Sierra de Zacualpan, estado de México. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Iztacala, estado de México. 79 p.
- Gallardo-Hernández, C., N. Velázquez y H. Asbjornsen. 2008. Composición florística y estructura de dos comunidades de bosque mesófilo afectadas por los incendios de 1998, en los Chimalapas, Oaxaca, México. *In* Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México, L. Sánchez-Velázquez, J. Galindo-González y F. Díaz-Fleischer (eds.). Mundi-Prensa, México D. F. p 167-183.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen. Offset Larios, México, D.F. 220 p.
- García, M. 1988. Distribución y estructura de las comunidades arbóreas del Parque Estatal Omiltemi, Gro. Una contribución a su planificación. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 105 p.
- García, I., J. Nava, R. Flores, M. Cházaro, A. Machuca y E. del Río. 1998. Flora del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. CIIDIR-IPN-CONABIO. Informe Técnico Final. 99 pp.
- García-Aranda, M., C. Cantú-Ayala, E. Estrada-Castillón, M. Pando-Moreno y A. Moreno-Talamantes. 2012. Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México. *J. Bot. Res. Inst. Texas*. 6(2): 587-598.
- García-Franco, J., G. Castillo-Campos, K. Mehltreter, M. Martínez y G. Vázquez. 2008. Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 83: 37-52.
- García-Franco, J. y T. Toledo. 2008. Epífitas vasculares: bromelias y orquídeas. *En: Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad manejo y*

- conservación, R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Instituto de Ecología e Instituto Nacional de Ecología. México. p 69-82.
- Godow, M.E. and A.T. Peterson. 2000. Preliminary distributional analysis of U.S. endangered birds species. *Biodiversity and Conservation* 9:1313-1322.
- Gómez-Pompa, A. 1966. Estudios botánicos en la Región de Misantla, Veracruz. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México. 173 p.
- Graham, A. 1975. Late Cenozoic evolution in tropical lowland vegetation in Veracruz, Mexico. *Evolution* 29:723-735.
- Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California trasher. *Auk* 34: 427-233.
- Guisan, A. and E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Gulubov, J. and J. Soberón. 2003. Bioinformatic methods in the planning of collecting efforts in Mexico. *International Newsletter of the partners of the Millenium seed Bank Project*. Royal Botanical Gardens, UK. *Samara* 4:1-6.
- Hamilton, L. S. 2001. Una campaña para los bosques nublados: Ecosistemas únicos y valiosos en peligro. En: Brown, D.A. y M. Kappelle (eds.). *Bosques nublados del Neotrópico*. INBIO, Costa Rica. pp. 41-49.
- Hernández, V. 2001. Influencia del suelo en el crecimiento de cuatro especies arbóreas a lo largo de un gradiente sucesional del bosque mesófilo de montaña, Sierra Norte, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Fac. de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, Estado de México. 81 p.
- Hernández-Cerda, M. y G. Carrasco-Anaya. 2004. Climatología. *In Biodiversidad de la sierra Madre Oriental*, I. Luna-Vega, J. Morrone y D. Espinosa. (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, p 63-108.
- Hidalgo-Mihart, M.G., L. Cantú-Salazar, A. González-Romero and C.A. López-González. 2004. Historical and present distribution of coyote (*Canis latrans*) in Mexico and Central America. *Journal of Biogeography* 31: 2025-2038.
- Hijmans, R.J., L. Guarino, C. Bussink, I. Barrientes and E. Rojas. 2004. DIVA-GIS Version 4. A geographic

- information system for the analysis of biodiversity data. <http://www.diva-gis.org>
- Hirzel A., J. Hauser and N. Perrin. 2001. Biomapper 1.0. Lausana, Laboratory for conservation biology.
- Hirzel, A. and A. Guisan. 2002. Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. *Ecological Modelling* 157: 331-341.
- Hirzel, A., J. Hauser, D. Chessel and N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis : how to compute habitat-suitability maps without absence data ?. *Ecology* 83(7) :2027-2036.
- Houlder, D., M. Hutchinson, H. Nix and J. McMahon. 2000. ANUCLIM user's guide. CRES. Canberra.
- Hutchinson, G.E. 1944. Limnological studies in Connecticut. Part 7. A critical examination of the supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake waters. *Ecology* 25: 3-26.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Springs Harbor Symp. Quant. Biol.* 22: 415-427.
- Ibarra, G. 1983. Comunidades vegetales del cerro El Cacique, ubicado en el Eje Neovolcánico; Zitácuaro, Michoacán. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 105 p.
- Ibarra-Montoya, J., G. Rangel-Peraza, F. González-Farías, J. De Anda, M. E. Zamudio-Reséndiz, E. Martínez-Meyer y H. Macías-Cuellar. 2010. Modelo de nicho ecológico para predecir la distribución potencial de fitoplancton en la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa, Nayarit. México. *Ambiente y Agua – An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 5(3): 60-75.
- Illoldi-Rangel, P., V. Sánchez-Cordero and A.T. Peterson. 2004. Predicting distributions of mexican mammals using ecological niche modeling. *Journal of Mammalogy* 85(4): 658-662.
- Illoldi, P. y T. Escalante. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía* 3: 7-12.
- IPCC. 2001. Climate data archive. En: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo

- Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K y Reisinger, A. (directores de publicación). IPCC. Suiza.
- Ishiki, M. 1988. Las selvas bajas perennifolias del Cerro Salomón, región de Chimalapa, Oaxaca: flora, comunidades y relaciones fitogeográficas. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 201 p.
- IUCN-WWF-PNUMA. 1980. Estrategia mundial para la conservación. UICN. Gland.
- Jiménez, J., J. Contreras, R. González, R. Ocampo, G. Lozano y S. Torres. 1993. Plantas Vasculares. *In* Historia natural del Parque Ecológico Estatal Omiltemi, Chilpancingo, Guerrero, México, I. Luna-Vega, y J. Llorente-Bousquets (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, Fac. de Ciencias, México. p. 127-250.
- Jones, P.G. y A. Gladkov. 2001. Floramap Versión 1.01. Cali, Colombia: CIAT. <http://www.floramap-ciat.org/ing/floramap101.htm>
- Juárez, K. 2008. Biodiversidad de la flora del bosque mesófilo de montaña del municipio de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 72 p.
- Koeppen, W. 1984. Climatología. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 478 pp.
- Labat, J. 1995. Végétation du nord-ouest du Michoacán Mexique. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes, Fascículo complementario VIII. 401 p.
- Lentz, D., R. Bye and V. Sánchez-Cordero. 2008. Ecological niche modeling and distribution of wild sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Mexico. *Int. J. Plant Sci.* 169 (4):541-549.
- Lim, B.K., A.T. Peterson and M.D. Engstrom. 2002. Robustness of ecological niche modeling algorithms for mammals in Guyana. *Biodivers. Conserv.* 11: 1237-1246.
- Lindenmayer, D.B., H.A. Nix, J.P. Mc Mahon, M.F. Hutchinson and M.T. Tanton. 1991. The conservation of Leadbeater's possum. *Gymnobelideus leadbeateri*: a case study of the use of bioclimatic modelling. *Journal of Biogeography* 18: 371-383.

- Lobo, J. M. 2000. ¿Es posible predecir la distribución geográfica de las especies basándonos en variables medioambientales? En: Hacia un proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica. PRIBES 2000.
- Long, A. y M. Heath. 1991. Flora of the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, México: a preliminary floristic inventory and the plant communities of Polygon I. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 62(2): 133-172.
- López, Y. 1995. Inventario florístico y conocimiento estructural del bosque mesófilo en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México, Méx. Tesis de licenciatura. Campus Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Iztacala, estado de México. 92 p.
- López, M. 1997. Tendencias ecológicas en la estructura de la madera de árboles de un bosque mesófilo de montaña, de Michoacán. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Iztacala, Estado de México. 80 p.
- López-González, C.A., D.E. Brown and J. Gallo-Reynoso. 2003. The ocelot *Leopardus pardalis* in north-western Mexico: ecology, distribution and conservation status. *Oryx* 37: 358-364.
- Lorea, F. 2005. Estudio florístico de los bosques mesófilos de la Sierra Mazateca de Oaxaca, México. Instituto de Ecología-CONABIO. Informe Técnico Final. 32 pp.
- Lorenzo, S., A. Ramírez, M. Soto, A. Breceda, M. Calderón, H. Cortéz, C. Puchet, M. Ramírez, R. Villalón y E. Zapata. 1983. Nota sobre la fitogeografía del bosque mesófilo de montaña en la Sierra Madre del Sur, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 44: 97-102.
- Lozada, L., M. León, J. Rojas y R. de Santiago. 2003. Estudios florísticos en Guerrero. No. 13. Bosque Mesófilo de Montaña en el Molote. Las Prensas de Ciencias. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 35 p.
- Luna, I. 1984. Notas Fitogeográficas sobre el Bosque Mesófilo de Montaña en México. Un ejemplo en Teocelo-Cosautlán-Ixhuacán, Veracruz, México.

- Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 150 p.
- Luna, I., L. Almeida, L. Villers y L. Lorenzo. 1988. Reconocimiento florístico y consideraciones fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de Teocelo, Veracruz. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 48:35-63.
- Luna-Vega, I., L. Almeida-Leñero y J. Llorente-Bousquets. 1989. Florística y aspectos fitogeográficos del bosque mesófilo de montaña de las cañadas de Ocuilan, estados de Morelos y México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 59(1): 63-87.
- Luna-Vega, I., S. Ocegueda y O. Alcántara. 1994. Florística y notas biogeográficas del bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 65(1): 31-62.
- Luna, V. 1997. Estudio de vegetación y flora del municipio de Coatepec, Veracruz. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 163 p.
- Luna-Vega, I., O. Alcántara, D. Espinosa-Organista and J. Morrone. 1999. Historical relationships of the Mexican cloud forests: A preliminary vicariance model applying parsimony analysis of endemism to vascular plant taxa. *Journal of Biogeography* 26: 1299-1305.
- Luna-Vega, I., J. Morrone, O. Alcántara and D. Espinosa-Organista. 2001. Biogeographical affinities among Neotropical cloud forests. *Plant Systematics and Evolution* 228: 229-239.
- Luna, I., A. Velázquez y E. Velázquez. 2001. México. En: Brown, D.A. y M. Kappelle (eds.). *Bosques nublados del Neotrópico*. INBIO, Costa Rica. pp. 183-229.
- Luna, I., O. Alcántara, R. Contreras and A. Ponce. 2006. Biogeography, current knowledge and conservation of threatened vascular plants characteristic of Mexican temperate forests. *Biodiversity and conservation*, 15: 3773-3799.
- Machuca, J. 1989. Florística y ecología de la vegetación fanerogámica de la región septentrional de Jocotepec, Jalisco (México). Tesis de licenciatura. Fac. de Agronomía. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 221 p.

- MacArthur, R. H. 1972. Geographical ecology. Princeton University Press. Princeton, N. J. 269 p.
- McCune, B. and J. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.
- McCune, B. and M. Mefford. 2006. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 5. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Madrigal, X. 1990. Ensayo metodológico para la determinación del estado natural forestal en la región oriental del estado de Michoacán, México. Tesis de maestría. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 80 p.
- Madrigal X. y L. Guridi. 1990. Los árboles del municipio de Morelia, Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México (Inédito).
- Martínez, J. 1988. La vegetación de la zona noreste del Pico de Orizaba, Veracruz, México. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 96 p.
- Martínez-Meyer, E., A.T. Peterson and W.W. Hargrove. 2004a. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 13: 305-314.
- Martínez-Meyer, E., T. Peterson and A. Navarro-Sigüenza. 2004b. Evolution of seasonal ecological niches in the Paserina buntings (Aves: Cardinalidae). *Proceedings of the Royal Society B* 271: 1151-1157.
- Martínez, M., R. Cruz, J. Castrejón, S. Valencia, J. Jiménez y C. A. Ruiz-Jiménez. 2004. Flora vascular de la porción guerrerense de la Sierra de Taxco, Guerrero, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 75(2): 105-189.
- Martínez-Meléndez, J., M. Pérez-Farrera y O. Farrera-Sarmiento. 2008. Inventario florístico del Cerro el Cebú y zonas adyacentes en la Reserva de la Biosfera El Triunfo (Polígono V), Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 82: 21-40.
- Mascarúa, L. 2000. Reintroducción de plántulas de dos especies arbóreas en sitios degradados del bosque mesófilo en el norte de Chiapas, México.

- Tesis de licenciatura, Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 92 p.
- Mayorga, R., I. Luna-Vega y O. Alcántara. 1998. Florística del bosque mesófilo de montaña de Molocotlán, Molango-Xochicoatlán, Hidalgo, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 63: 101-119.
- Meave, J., M. Soto, L. Calvo, H. Paz y S. Valencia. 1992. Análisis sinecológico del bosque mesófilo de montaña Omiltemi, Guerrero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 52: 31-77.
- Medina, C. y S. Rodríguez. 1993. Estudio florístico de la Cuenca del Río Chiquito de Morelia, Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario IV.*
- Medina, C., F. Guevara-Fefer, M. Martínez P. Silvia-Sáenz, M. Chávez-Carvajal e I. García. 2000. Estudio florístico en el área de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana* 52: 5-41.
- Mehltreter, K. 2008. Helechos. *In Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad manejo y conservación*, R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Instituto de Ecología e Instituto Nacional de Ecología. México. p 83-94.
- Mejía-Domínguez, N. 2003. Análisis estructural en una parcela de una hectárea de bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la Sierra Madre del Sur (Oaxaca), México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 72 p.
- Mejía-Domínguez, N., J. Meave y C.A. Ruiz-Jiménez. 2004. Análisis estructural de un bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la Sierra Madre del Sur (Oaxaca) México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 74: 13-29.
- Mendoza, P., C.A. Ruiz-Jiménez, J. Escutia y N. Mejía-Domínguez. 2005. Propuesta metodológica para la restauración de un tramo carretero: reintroducción selectiva de especies clave. *Memorias del I Simposio: Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México.* Xalapa, Veracruz.

- Miller, J. and J. Franklin. 2002. Modeling the distribution of four vegetation alliances using generalized linear models and classification trees with spatial dependence. *Ecological Modelling* 157: 227-247.
- Miranda, F. 1947. Estudios sobre la vegetación de México y rasgos de la vegetación de la Cuenca del Río de las Balsas, *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 8:95-114.
- Miranda, F. and A.J. Sharp. 1950. Characteristics of the Vegetation in certain Temperate Regions of Eastern Mexico. *Ecology*, 31:313-333.
- Miranda, F. 1952. La Vegetación de Chiapas. Ediciones del Gobierno del Estado. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. 129-137 p.
- Miranda, F. y E. Hernández X. 1963. Los tipos de vegetación en México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 28:29-179
- Miranda, M. y M. González. 1993. Estudio de la vegetación y florística de la Mesa Basáltica de Holotepec, distrito de Tenango del Valle, Estado de México. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Iztacala, Estado de México. 96 p.
- Mittermeier, R.A. 1988. Primate diversity and the tropical forest: Case studies from Brazil and Madagascar and the importance of the megadiversity countries. En: Wilson E.O. (ed.). *Biodiversity*. National Academy Press. Washington, pp 145-154.
- Mittermeier, R. A. y C. G. Mittermeier. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: Sarukhán J. y R. Dirzo (eds.). *México ante los retos de la biodiversidad*. CONABIO, México. pp. 63-73.
- Montalvo, L. 2006. Composición florística y manejo de la vegetación leñosa de los cafetales en la Sierra Madre del Sur, Oaxaca. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 105 p.
- Muñoz, M. 1992. Distribución de especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias Biológicas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 102 p.

- Nakazawa, Y., T. Peterson, E. Martínez-Meyer and A. Navarro-Sigüenza. 2004. Seasonal niches of Nearctic-Neotropical migratory birds: implications for the evolution of migration. *The Auk*. 121(2): 610-618.
- Navarro-Sigüenza, A.G., T. Peterson, and A. Gordillo-Martínez. 2003. Museums working together: the atlas of the bird of Mexico. *Bulletin of the British Ornithologists' Club* 123A: 207-225.
- Nix, H. A. 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In R. Longmore, editor. *Atlas of Elapid Snakes of Australian Government Publishing Service*, Canberra.
- Oberhauser, K. and T. Peterson. 2003. Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100: 14063-14068.
- Ohmann, J. and T. Spies. 1988. Regional gradient analysis and spatial pattern of woody plant communities of Oregon forests. *Ecological Monographs* 68: 151-182.
- Orozco, M. 1995. Vegetación del municipio de Temascaltepec, Estado de México. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Iztacala. Los Reyes Iztacala, Estado de México. 100 p.
- Ortega-Huerta, M. and T. Peterson. 2004. –modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritización in North-eastern Mexico. *Diversity and Distributions* 10: 39-54.
- Osorio, A. 2003. Estudio comparativo de dos sitios de regeneración (natural y artificial) en potreros abandonados con vegetación anterior de bosque mesófilo de montaña en el Municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 60 p.
- Padilla, E., R. Cuevas y S. Koch. 2008. Plantas vasculares y vegetación de la parte alta del Arroyo Agua Fría, municipio de Minatitlán, Colima, México. *Acta Botanica Mexicana* 84: 25-72.

- Palacio-Prieto, J., G. Bocco, A. Velázquez, J. Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma, I. Trejo-Vázquez, A. Peralta, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo y F. González-Medrano. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México 43: 183–202.
- Paredes-García, D., A. Ramírez-Bautista y M. A. Martínez-Morales. 2011. Distribución y representatividad de las especies del género *Crotalus* en las áreas naturales protegidas de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 689-700.
- Parra-Olea, G., E. Martínez-Meyer and G. Pérez-Ponce. 2005. Forecasting climate change effects on salamander distribution in the highlands of central Mexico. Biotropica 37(2): 202-208.
- Pérez-Cálix, E. 1996. Flora y vegetación de la Cuenca del Lago Zirahuén, Michoacán, México. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Fascículo complementario XIII.
- Peterson, A.T., A.G. Navarro-Sigüenza and H. Benitez-Diaz. 1998. The need for continued collecting: a geographic analysis of Mexican birds specimens. Ibis 140: 288-294.
- Peterson, A. T. and K. P. Cohoon. 1999. Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. Ecological Modelling 117:159-164.
- Peterson, A. T., J. Soberón and V. Sánchez-Cordero. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. Science 285: 1265-1267.
- Peterson, A. T. 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. The Condor 103:599-605.
- Peterson, A.T., V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, J. Bartley, R. Buddemeier and A.G. Navarro-Sigüenza. 2001. Effects of global climate change on

- geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modelling* 144: 21-30.
- Peterson, A.T. and D. A. Veglais. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: New approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *Bioscience* (51)5: 363- 371.
- Peterson, A.T., L.G. Ball and K.P. Cohoon. 2002a. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis* 144: E27- E32
- Peterson, A.T., M. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R. Buddemeler and D. Stockwell. 2002b. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416:626-629.
- Peterson, A.T., V. Sánchez-Cordero, C.B. Beard and J.M. Ramsey. 2002c. Ecological niche modeling and potencial reservoirs for Chagas disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases* 8(7): 662-667.
- Peterson, A. T. 2003. Predicting the geography of species invasions via Ecological Niche Modeling. *The Quarterly Review of Biology* 78(4): 419-433.
- Peterson, A.T. and R.D. Holt. 2003. Niche differentiation in Mexican birds: using point occurrences to detect ecological innovation. *Ecology Letters* 6: 774-782.
- Peterson, A.T. and D. A. Veglais. 2003. Predicting species invasions using ecological niche modeling. *BioScience* 51: 363-371.
- Peterson, A.T., M. Papes and D.A. Kluza. 2003a. Predicting the potential invasive distributions of alien plant species in North America. *Weed Science* 51: 863-868.
- Peterson, A.T., A.G. Navarro y E. Martínez-Meyer. 2003b. El Virus del Oeste del Nilo (VON) en las Américas: Un resumen ecológico y geográfico. *Boletín Epidemiología* 33(20): partes 1-2.
- Peterson, A.T., E. Martínez-Meyer and C. González-Salazar. 2004a. Reconstructing the Pleistocene geography of the *Aphelocoma* jays (Corvidae). *Diversity and Distributions* 10: 237-246.
- Peterson, T., L. Canseco, J. Contreras, G. Escalona-Segura, O. Flores-Villela, J. García, B. Hernández-Baños, C. A. Ruiz-Jiménez, L. León-Paniagua, S. Mendoza, A. Navarro-Sigüenza, V. Sánchez-Cordero and D. Willard. 2004b. A preliminary biological survey of Cerro Piedra Larga, Oaxaca, México:

- birds, mammals, reptiles, amphibians, and plants. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica* 75(2): 439-466.
- Phillips, S.J., M. Dudík and R.E. Schapire. 2006. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*, pp. 655-662.
- Phillips, S.J., R.P. Anderson and R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Pineda, E. and J. Lobo. 2009. Assessing the accuracy of species distribution models to predict amphibian species richness patterns. *Journal of Animal Ecology* 78: 182-190.
- Ponce-Reyes, R., V. H. Reynoso-Rosales, J. E. M. Watson, J. VanDerWal, R. A. Fuller, R. L. Pressey and H. P. Possingham. 2012. Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climatic Change* 2:448-452.
- Ponce-Vargas, A., I. Luna-Vega, O. Alcántara y C.A. Ruiz-Jiménez. 2006. Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 177-190.
- Portales-Betancourt, G.L. y O. Téllez-Valdés. 2010. Regionalización ambiental y biológica para la conservación del Desierto Chihuahuense. VII Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas. p. 312-325.
- Puig, H., R. Bracho y V. Sosa. 1983. Composición florística y estructura del bosque mesófilo en Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Biótica* 8(4): 339-359.
- Puig, H. y R. Bracho (eds.) 1987. *El bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas*. Instituto de Ecología. México. 186 p.
- Puig, H. 1989. Análisis fitogeográfico del bosque mesófilo de Gómez Farías. *Biotam* 1(2): 34-53.
- Pulliam, R. 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters* 3: 349-361.
- Puig, H. 1974. *Phytogéographie et écologie de la Huasteca (EN du Mexique)*. Tesis de doctorado. Université Paul Sabatier, Toulouse 547 + 92 p.

- Puig, H. 1976. Vegetatiotn de la Huasteca, Mexique. Mission Archeologique et Ethnologique Francaise au Mexique. México. 531 pp.
- Quintos, A., I. Luna-Vega, O. Alcántara y C. A. Ruiz-Jiménez. 2004. Síndromes de dispersión de plantas representativas del bosque mesófilo de montaña del estado de Hidalgo, México. Memorias del XVI Congreso Mexicano de Botánica. Oaxaca, Oaxaca.
- Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot and J. Fa (Eds.). 1993. Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. Oxford University Press, Nueva York, Oxford. 812 p.
- Ramírez-Barahona, S., A. Torres-Miranda, M. Palacios-Ríos and I. Luna-Vega. 2009. Historical biogeography of the Yucatán Peninsula, Mexico: a perspective from ferns (Monilophyta) and lycopods (Lycophyta). *Biological Journal of the Linnean Society* 98: 775-786.
- Ramírez-Marcial, N., S. Ochoa-Gaona, M. González-Espinosa y P. Quintana-Ascencio. 1998. Análisis florístico y sucesional en la estación biológica Cerro Huitepec, Chiapas, México. *Acta Botanica Mexicana* 44: 59-85.
- Ramírez, F. 1999. Flora y vegetación de la Sierra de Santa Marta, Veracruz. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 409 p.
- Ramírez-Marcial, N., M. González-Espinosa y G. Williams-Linera. 1999. Disturbio humano del bosque mesófilo en las montañas del norte de Chiapas, México. Manuscrito inédito. 39 p.
- Ramírez-Marcial, N. 2001. Diversidad florística del bosque mesófilo de montaña en el Norte de Chiapas y su relación con México y Centroamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69: 63-76.
- Ramsey., J.M., R. Ordoñez, A. Tello, J.L. Pohls, V. Sánchez-Cordero y T. Peterson. 2003. Actualidades sobre la epidemiología de la Enfermedad de Chagas en México. En: J.M. Ramsey, A. Tello-López y J.L. Pohls (Eds.). *Iniciativa para la vigilancia y el control de la Enfermedad de Chagas en la República Mexicana*, Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, México. pp. 85-103.
- Rapoport, E.H. 1975. Areografía. Estrategias geográficas de las especies. Fondo de Cultura Económica. México.

- Rapoport, E.H. y J.A. Monjeau. 2001. Aerografía. En: J. Llorente y J.J. Morrone (Eds.). Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, Conceptos, Métodos y Aplicaciones. UNAM-CONABIO. México. pp. 23-30.
- Reyes, G. y A. Breceda. 1985. Análisis de la composición florística y estructura de la vegetación secundaria derivada de un bosque mesófilo de montaña en Gómez Farías, Tamaulipas (México). Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 168 p.
- Reyes, M. 2003. Estudio de la vegetación en los municipios de Honey y Pahuatlán de la Sierra Norte de Puebla, Puebla. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 81 p.
- Reynoso, J. 2004. Florística y fitogeografía de la flora arbórea del bosque mesófilo de montaña en San Sebastián del Oeste, Jalisco, México. Tesis de maestría. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Botánica y Zoología. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. 97 p.
- Rice, N.H., E. Martínez-Meyer and A.T. Peterson. 2003. Ecological differentiation in the Aphelocoma jays: a phylogenetic perspective. *Biological Journal of the Linnean Society* 80: 369-383.
- Rincón, A. 2007. Estructura y composición florística de los bosques tropicales húmedos de montaña de Santa Cruz Tepetotutla, Oaxaca, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 105 p.
- Robertson, M.P., C.I. Meter, M.H. Villet and B.S. Ripley. 2003. Comparing models for predicting species' potential distributions: a case study using correlative and mechanistic predictive modelling techniques. *Ecological Modelling* 164: 153-167.
- Rojas-Soto, O.R., O. Alcántara-Ayala and A.G. Navarro. 2003. Regionalization of the avifauna of the Baja California Peninsula, México: a parsimony analysis of endemism and distributional modelling approach. *Journal of Biogeography* 30: 449-461.

- Rojas-Soto, O., V. Sosa and J. F. Ornelas. 2012. Forecasting cloud forest in eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation* 21:2671-2690.
- Ruiz-Jiménez, C.A. 1995. Análisis estructural del bosque mesófilo de la región de Huautla de Jiménez (Oaxaca), México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 103 p.
- Ruiz-Jiménez, C. A., J. Meave y J. L. Contreras. 2000. El bosque mesófilo de la región de Huautla de Jiménez (Oaxaca), México: análisis estructural. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 23-37.
- Ruiz-Jiménez, C. A., J. Escutia, N. Mejía-Domínguez y P. Mendoza. 2005. Estructura y composición de la vegetación sobre un trazo carretero: Un estudio en un bosque amenazado. *Memorias del I Simposio: Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México*. Xalapa, Veracruz.
- Rzedowski J. 1966. Vegetación del Estado de San Luis Potosí. *Contribuciones. Univ. Autón. de San Luis Potosí*, 20:196-201.
- Rzedowski J. y R. McVaugh. 1966. La vegetación de la Nueva Galicia. *Contributions of the University of Michigan Herbarium*, 9:1-123.
- Rzedowski, J. 1970. Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México* 18: 91-106.
- Rzedowski, J. y R. Palacios-Chávez. 1977. El bosque de *Engelhardtia (Oreomunnea) mexicana* en la región de la Chinantla (Oaxaca, México). Una reliquia del Cenozoico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 36: 93-123.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 432 p.
- Rzedowski, J. y T. Reyna-Trujillo. 1990. "Divisiones florísticas". *In* Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas). IV.8.3. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Bot. Mex.* 14:3-21.

- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana* 35:25-44.
- Saavedra-Millán, F. 2009. Estudio de la vegetación del Parque Estatal Francisco Torres Moreno, Cerro del Huixteco, Taxco, Guerrero, México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 161 p.
- Sahagún, E. 2004. Ordenación del bosque mesófilo en el Cerro La Mona, Sierra de Coalcomán, México, en el contexto del cambio climático. Tesis de doctorado. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 115 p.
- Sánchez, G. 2001. Estudio de la interacción planta-herbívoro en el bosque mesófilo de la reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Tesis de doctorado. Fac. de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 157 p.
- Sánchez-Cordero, V. and E. Martínez-Meyer. 2000. Museum specimen data predict crop damage by tropical rodents. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97: 7074-7077
- Sánchez-Cordero, V., A. Townsend-Peterson y P. Escalante-Pliego. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández, H., A. García, F. Álvarez y M. Ulloa (Comp.). UNAM-Fondo de Cultura Económica. México. pp. 359-379.
- Sánchez-González, A. y L. López-Mata. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la sierra Nevada a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 74: 47-71.
- Sánchez-González, A. 2004. Análisis sinecológico, florístico y biogeográfico de la vegetación del norte de la sierra Nevada. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 153 p.
- Sánchez-Rodríguez, E. 2002. Estructura, composición florística y diversidad de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña en Cuзалapa, Sierra de Manantlán, Jalisco, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, estado de México. 133 p.
- Sánchez-Rodríguez, E., L. López-Mata, E. García-Moya y R. Cuevas-Guzmán.

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.
- Santiago, A.L. 1992. Estudio Fitosociológico del Bosque Mesófilo de Montaña de la Sierra de Manantlán. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., 111 p.
- Santiago, A. y E. Jardel. 1993. Composición y estructura del bosque mesófilo de montaña en la Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. *Biotam* 5(2): 13-26.
- Santiago, A. 2006. Efecto de la fragmentación en la diversidad del bosque mesófilo de montaña, Sierra de Manantlán, México. Tesis de maestría. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 79 p.
- Scachetti, P.J. and D. Stockwell. 2005. DesktopGarp. Ver. 1.1.6. University of Kansas Biodiversity Researc Center and Reference Center for Environmental Information in Campinas, Brazil [programa informatico en línea] disponible en: <<http://nhm.ku.edu/desktopgarp/Download.html>>
- Schroth, G., P. Laderach, J. Dempewolf, S. Philpott, J. Haggar, H. Eakin, T. Castillejos, J. García, L. Soto, R. Hernández, A. Eitzinger and J. Villegas. 2009. Towards a climate change adaptation strategy for coffe communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14(7): 605-625.
- Scott, J.M., T.H. Tear and F.W. Frank. 1996. Gap analysis: A landscape approach to biodiversity planning. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Maryland, USA: 312pp.
- Scott, J.M. and B. Csuti. 1997. Gap analysis for biodiversity survey and maintenance. In: ML Reaka-Kudla, Wilson DE, Wilson EO (Eds.) *Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources.* Joseph Henry. Washington, D.C. EEUU. pp 321-340.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). 1989. Información básica

- sobre Áreas Naturales Protegidas de México. Dirección General de Conservación de los Recursos Naturales. México. 82 p.
- Seguardo, P. and M.B. Araújo. 2004. An evaluation of methods for modeling species distributions. *Journal of Biogeography* 31: 1555-1568.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio ambiente y recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, México, 30 de Diciembre de 2010.
- Smith, M. 1995. La riqueza y diversidad de la flora arbórea de un bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz, bajo dos condiciones distintas de exposición. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 377 p.
- Still, C., P. Foster and S. Schneider. 1999. Simulating effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature* 398: 608-610.
- Soberón, J. and A.T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.
- Soto, M. y L. Gama. 1997. Climas. *In* Historia Natural de los Tuxtlas, E. González-Soriano, R. Dirzo y R. Vogt (eds.). UNAM-CONABIO, México. p 7-23.
- Soto, M. 2004. El Clima. *In* Los Tuxtlas, el paisaje de la sierra, S. Guevara, J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (eds.). Instituto de Ecología, A.C. México. p 196-198.
- Stadtmuller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo. Universidad de las Naciones Unidas. Turrialba. 85 p.
- Stockwell, D.R.B. and I.R. Noble. 1992. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* 33: 385-390.
- Stockwell, D.R.B. 1999. Genetic algorithms II. *In*: A.H. Fielding (Ed.) *Machine learning methods for ecological applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 123-144.
- Stockwell, D.R.B. and D.P. Peters. 1999. The GARP modelling system: Problems

- and solutions to automated spatial prediction. *Int. J. Geographical Information Systems* 13:143-158.
- Stockwell, D.R.B. and T. Peterson. 2003. Comparison of resolution of methods used in mapping biodiversity patterns from point-occurrence data. *Ecological Indicators* 3: 213-221.
- Téllez-Valdés, O. 1995. Flora, vegetación y fitogeografía de Nayarit, México. Tesis de maestría. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 166 p.
- Toledo, V. 1982. Pleistocene changes of vegetation in tropical Mexico, *In Biological Diversification in Tropics*, G.T. Prance (ed.). Columbia University Press. Nueva York. p 93-111.
- Toledo, V., J. Carabias, C. Toledo y C. González-Pacheco. 1989. La producción rural en México: Alternativas ecológicas. Ed. Universo Veintituno. México. 402 p.
- Tolomé, J. 1993. Caída de hojarasca y comportamiento fenológico de las especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña del Parque Ecológico Francisco Javier Clavijero (Xalapa, Ver.). Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 74 p.
- Torres, M. 1991. Estudio florístico de la Sierra de Sultepec, Estado de México. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Iztacala, Estado de México. 49 p.
- Trejo, I. 2004. Clima. *In Biodiversidad de Oaxaca*, A. García-Mendoza, M. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-WWF. México. p 67-85.
- Trotta-Moreu, N., J. Lobo y F. Cabrero-Sañudo. 2008. Distribución conocida y potencial de las especies de Geotrupinae (Coleoptera: Scarabaeoidea) en México. *Acta Zoologica Mexicana* 24(2): 39-65.
- Valdéz, V., R. Foroughbakhch y G. Alanís. 2003. Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noroeste de México. *Ciencia, Universidad Autónoma de Nuevo León* VI (3): 360-365.
- Van Der Hammen, T. 1995. Global Change, Biodiversity, and Conservation of Neotropical Montane Forests. En: Churchill, S.P., H. Balsev, E. Ferrero y

- J.L. Luteyn (eds.). Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. New York Botanical Garden. New York, pp. 603-607.
- Vargas, Y. 1982. Análisis florístico y fitogeográfico de un bosque mesófilo de montaña en Huayacocotla, Ver. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 105 p.
- Vargas, Y. 2005. Ecology of disjunct cloud forest sugar maple populations (*Acer saccharum* subsp. *skutchii*) in north and central America. Master in Sciences Thesis. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Louisiana. 122 p.
- Vázquez-García, J. 1993. Cloud forest archipelagos: Preservation of fragmented montane ecosystems in tropical America. *In* Tropical montane cloud forests, L. S. Hamilton, J. O. Juvik, y F. N. Scatena (eds.) Ecological Studies 110. Springer-Verlag, New York, p 315-332.
- Vázquez, J., R. Cuevas, T. Cochrane, H. Iltis, F. Santana y L. Guzmán. 1995. Flora de Manantlán. Sida Botanical Miscellany 13, Botanical Research Institute of Texas. Universidad de Guadalajara-IMEC BIO-Universidad de Wisconsin-Madison. Forth Worth, Texas. 316 p.
- Vázquez, J., Y. Vargas y F. Aragon. 1999. Descubrimiento de un bosque de *Acer-Podocarpus-Abies* en el municipio de Talpa de Allende, Jalisco, México. Boletín del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara 7(1-3): 159-183.
- Vázquez, M., J. Campos y A. Cruz. 2006. Los helechos y plantas afines del bosque mesófilo de montaña de Banderilla Veracruz, México. Polibotánica 22: 63-77.
- Vázquez, V. 2000. Riqueza fanerogámica del municipio de Jilotepec, Veracruz, México. Tesis de maestría. Instituto de Genética Forestal. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 232 p.
- Vieglais, D., E.O. Wiley, C.R. Robins and A.T. Peterson. 2000. Harnessing museum resources of marine life: the FISHNET Project.
- Villaseñor, J.L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. Interciencia 28: 160-167.

- Villaseñor, J. L. 2010. El bosque húmedo de montaña de México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Universidad Nacional Autónoma de México-CONABIO. México, D.F. 38 p.
- Villers-Ruiz, L. e I. Trejo-Vázquez. 1999. El cambio climático y la vegetación en México. en: México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.
- Vogelman, H.W. 1973. Fog precipitation in the cloud forests of Eastern Mexico. *BioScience* 23 (2): 96-100.
- Wiley, E.O., K.M. McNyset, A.T. Peterson, C.R. Robins and A.M. Stewart. 2003. Niche modeling and geographic range predictions in the marine environment using a machine-learning algorithm. *Oceanography* 16(3): 120-127.
- Williams-Linera, G. 1991. Nota sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña en los alrededores del campamento "El Triunfo", Chiapas. *Acta Botánica Mexicana* 13: 1-7.
- Williams-Linera, G., I. Pérez-García y J. Tolomé. 1996. El bosque mesófilo de montaña y un gradiente altitudinal del centro de Veracruz, México. *La Ciencia y El Hombre. Universidad Veracruzana.* 23(2): 149-161
- Williams-Linera, G. y A. López-Gómez. 2008. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. *In Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad manejo y conservación*, R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehlreter (eds.). Instituto de Ecología e Instituto Nacional de Ecología. México. p 55-68.
- Zamora, P. 1992. Flora vascular del municipio de Tlalnahuéyocan, Veracruz. Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 104 p.
- Zamudio, S., J. Rzedowski, E. Carranza y G. Calderón de Rzedowski. 1992. La vegetación del estado de Querétaro. Panorama preliminar. Instituto de Ecología Centro Regional del Bajío. Querétaro, 92 p.
- Zarco, P. 2000. Análisis de la vegetación y fauna asociada en bosques templados del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Iztacala. Los Reyes Iztacala, Estado de México. 61 p.

- Zonneveld, V., A. Jarvis, W. Dvorak, G. Lema and C. Leibling. 2009. Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America. *Forest Ecology and Management* 257(7): 1566-1576.
- Zunino, M. y A. Zullini. 2003. *Biogeografía. La dimensión espacial de la evolución.* Fondo de Cultura Económica. México. 359 p.

APÉNDICE 1. Ubicación de localidades con BMM en la República Mexicana. * Provincia florística *sensu* Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquía-Villafranca (1993).

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
1	Montebello	Chiapas	16°04'40" - 16°10'20" N / 91°37'40" - 91°47'40" O	Serranías Transísmicas (Meseta central de Chiapas)	Carlson (1954), Zarco (2000)
2	Misantla	Veracruz	19°44'58" - 19°52'09" N / 96°48'34" - 96°55'23" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Gómez-Pompa (1966)
3	Xilitla	San Luis Potosí	21°16'18" - 21°24'18" N / 99°01'55" - 99°06'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Rzedowski (1966)
4	Nueva Galicia	Colima, Nayarit, Jalisco y Michoacán	18°45'10" - 22°54'14" N / 100°44'16" - 105°13'12" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre Oriental, Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre del Sur)	Rzedowski y McVaugh (1966)
5	Valle de México	Distrito Federal y Estado de México	18°45'10" - 19°34'08" N / 98°42'40" - 99°24'35" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Rzedowski (1969)
6	Córdoba	Veracruz	18°20'00" - 19°12'00" N / 96°36'00" - 97°08'00" O	Serranías Meridionales (Sierra norte de Oaxaca)	Chiang (1970)
7	Volcán San Martín	Veracruz	18°33'06" - 18°34'03" N / 95°10'49" - 95°12'41" O	Costa del Golfo de México (Planicie Costera del Golfo de México)	Álvarez del Castillo (1977)
8	Chinantla	Oaxaca	17°35'03" - 17°37'05" N / 96°22'10" - 96°28'09" O	Serranías Meridionales (sierra Norte de Oaxaca)	Rzedowski y Palacios-Chávez (1977)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
9	Huayacocotla	Veracruz	20°32'29" - 20°38'48" N / 98°25'36" - 98°29'32" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Vargas (1982), Ballesteros (1986), Juárez (2008)
10	Reserva de la Mariposa Monarca	Estado de México y Michoacán	19°57'07" - 19°59'42" N / 100°06'39" - 100°09'54" O y 19°18'32" - 19°44'27" N / 100°09'07" - 100°22'26" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Ibarra (1983), Cornejo-Tenorio et al. (2003)
11	Gómez Farías	Tamaulipas	23°03'53" - 23°07'06" N / 99°10'53" - 99°12'36" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Puig y Bracho (1983), Reyes y Breceda (1985), Puig y Bracho (1987), Puig (1989), Arriaga (1994), Sánchez (2001)
12	Omitemi	Guerrero	17°30'33" - 17°35'11" N / 99°39'27" - 99°44'04" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	García (1988), Meave et al. (1992), Jiménez et al. (1993)
13	Cerro Salomón	Oaxaca	16°30'00" - 16°46'15" N / 94°00'00" - 94°15'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre de Chiapas)	Ishiki (1988)
14	Teocelo	Veracruz	19°18'59" - 19°23'23" N / 96°57'58" - 97°05'46" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Luna-Vega et al. (1988)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
15	Noreste del Pico de Orizaba	Veracruz	19°07'03" - 19°10'03" N / 97°02'39" - 97°06'23" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Martínez (1988)
16	Ocuilan	Estado de México, Morelos	18°58'12" - 19°02'07" N / 99°16'32" - 99°21'37" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Luna-Vega et al. (1989)
17	Jocotepec	Jalisco	20°20'40" - 20°23'16" N / 103°22'50" - 103°26'47" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Machuca (1989)
18	Zacualpan	Estado de México	18°38'50" - 18°43'37" N / 99°46'06" - 99°51'21" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Fragoso (1990)
19	Morelia	Michoacán	19°40'15" - 19°48'31" N / 101°08'40" - 101°14'53" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Madrigal (1990), Madrigal y Guridi (1990), López (1997)
20	Sierra de San Carlos	Tamaulipas	24°31'21" - 24°38'33" N / 98°57'15" - 99°05'41" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Briones (1991)
21	El Triunfo	Chiapas	15°35'36" - 15°43'17" N / 92°41'57" - 92°52'38" O	Soconusco (Sierra Madre de Chiapas)	Long y Heath (1991)
22	Sierra de Sultepec	Estado de México	18°41'36" - 18°53'11" N / 99°51'32" - 100°07'37" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Torres (1991)
23	Coacoatzintla	Veracruz	19°38'55" - 19°39'15" N / 96°56'45" - 96°57'12" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Croda (1992), Smith (1995)
24	Barranca de las Minas	Veracruz	19°40'48" - 19°43'57" N / 97°04'07" - 97°09'09" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Durán (1992)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
25	Manantlán	Jalisco	19°25'00" - 19°45'00" N / 103°45'00" - 104°30'00" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Muñoz (1992), Santiago (1992), Santiago y Jardel (1993), Vázquez et al. (1995), Cuevas (2002), Sánchez- Rodríguez (2002), Sánchez- Rodríguez et al. (2003), Santiago (2006)
26	Tlalnelhueyocan	Veracruz	19°30'53" - 19°33'30" N / 96°58'34" - 97°01'08" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Zamora (1992), Osorio (2003)
27	Noreste de Querétaro	Querétaro	21°09'28" - 21°26'23" N / 99°04'39" - 99°10'50" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Zamudio et al. (1992), Díaz- Barriga et al. (1992)
28	San Jerónimo Coatlán	Oaxaca	16°09'00" - 16°15'00" N / 96°52'00" - 97°01'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Campos (1993), Campos y Villaseñor (1995)
29	Cuenca del Río Chiquito	Michoacán	19°36'36"- 19°39'39" N / 101°03'32" - 101°11'22" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Medina y Rodríguez (1993)
30	Mesa basáltica de Holotepec	Estado de México	18°59'09" - 19°03'19" N / 99°24'15" - 99°28'03" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Miranda y González (1993)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
31	Parque Ecológico Francisco Javier Clavijero	Veracruz	19°30'30" N / 96°55'00" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Tolomé (1993)
32	El Palmito	Sinaloa	23°33' N / 105°50' O	Sierra Madre Occidental (Sierra Madre Occidental)	Ahumada (1994)
33	Sierra de San Juan	Nayarit	21°22'47" - 21°32'05" N / 104°55'24" - 105°03'19" O	Serranías Meridionales (Planicie Costera del Noroeste)	Blanco (1994), Téllez-Valdés (1995)
34	Las Joyas	Jalisco	19°35'40" - 19°36'46" N / 104°14'53" - 104°16'17" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Cuevas (1994)
35	Tlanchinol	Hidalgo	20°57'20" - 21°01'45" N / 98°32'56" - 98°40'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Luna-Vega et al. (1994)
36	Noroeste de Michoacán	Michoacán	20°35'00" - 20°25'00" N / 101°40'00" - 102°30'00" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Labat (1995)
37	Valle de Bravo	Estado de México	19°06'32" - 19°10'19" N / 100°01'00" - 100°09'38" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	López (1995)
38	Temascaltepec	Estado de México	19°00'04" - 19°00'16" N / 99°55'00" - 100°04'30" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Orozco (1995)
39	Huautla de Jiménez	Oaxaca	18°07'00" - 18°12'00" N / 96°57'00" - 97°02'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Ruiz-Jiménez (1995), Ruiz-Jiménez et al. (2000)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
40	Tenango de Doria	Hidalgo	19°22'00" - 20°40'00" N / 97°59'00" - 98°44'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Alcántara (1996), Alcántara y Luna-Vega (1997)
41	Sierra de Juárez	Oaxaca	17°34'16" - 17°37'15" N / 96°20'00" - 96°28'35" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Boyle (1996)
42	La Sepultura	Chiapas	16°01'56" - 16°24'12"N / 93°28'58" - 93°48'58" O	Serranías Transistmicas (Sierra Madre de Chiapas)	Castillo (1996)
43	Cuenca del Lago Zirahuén	Michoacán	19°24'16" - 19°25'11" N / 101°45'01" - 101°46'01" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Pérez-Cálix (1996)
44	Centro de Veracruz	Veracruz	19°30'00" - 19°43'59" N / 91°19'59" - 97°15'00" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Williams-Linera et al. (1996)
45	San Joaquín	Querétaro	20°55'25" - 20°55'37" N / 99°34'02" - 99°34'09" O	Altiplanicie (Sierra Madre Oriental)	Fernández y Colmenero (1997)
46	Coatepec	Veracruz	19°28'00" - 19°31'00" N / 96°56'45" - 97°04'00" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Luna (1997), García-Franco et al. (2008), Castillo-Campos y Luna (2009)
47	Tancitaro	Michoacán	19°18'33" - 19°28'24" N / 102°14'57" - 102°30'14" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	García et al. (1998)
48	Molocotlán	Hidalgo	20°44'28" - 20°48'03" N / 98°41'09" - 98°43'19" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Mayorga et al. (1998)
49	Cerro Huitepec	Chiapas	16°44'27" - 16°44'53" N / 92°41'35" - 92°41'53" O	Serranías Transistmicas (Meseta Central de Chiapas)	Ramírez-Marcial et al. (1998)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
50	Sierra de Santa Marta	Veracruz	18°31'59" - 18°34'45" N / 95°09'13" - 95°13'03" O	Costa del Golfo de México (Planicie Costera del Golfo de México)	Ramírez (1999)
51	Rincón Chamula	Chiapas	17°11'32" N / 92°55'42" O	Serranías Transistmicas (Meseta Central de Chiapas)	Ramírez-Marcial et al. (1999), Mascarúa (2000)
52	Refugio la Cumbre	Jalisco	20°11'42" - 20°12'44" N / 104°44'23" - 104°45'20" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Vázquez-García et al. (1999), Vargas (2005)
53	Tiltepec	Oaxaca	17°31'30" N / 96°18'14" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Arellanes (2000)
54	Nuevo San Juan Parangaricutiro	Michoacán	19°21'00" - 19°34'00" N / 102°08'00" - 102°17'00" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Medina et al. (2000)
55	Jilotepec	Veracruz	19°35'27" - 19°37'29" N / 96°52'29" - 96°58'58" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Vázquez (2000)
56	Eloxochitlán	Hidalgo	20°43'00" - 20°47'00" N / 98°44'00" - 98°46'30" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Alcántara y Luna-Vega (2001)
57	Tlahuelompa	Hidalgo	20°36'00" - 20°38'00" N / 98°34'00" - 98°38'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Alcántara y Luna-Vega (2001)
58	El Rincón	Oaxaca	17°19'43" - 17°22'28" N / 96°15'39" - 96°21'29" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Blanco (2001), Hernández (2001)
59	El Jilguero	Guerrero	17°26'00" - 17°35'00" N / 99°58'00" - 100°05'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Diego-Pérez et al. (2001)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
60	Carrizal de Bravos	Guerrero	17°32'30" - 17°37'16" N / 99°47'56" - 99°54'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Fonseca et al. (2001), Catalán (2004)
61	Xico	Veracruz	19°26'48" - 19°29'52" N / 96°59'45" - 97°04'12" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Acosta (2002)
62	Landa de Matamoros	Querétaro	21°06'00" - 21°27'00" N / 99°02'00" - 99°27'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Cartujano et al. (2002)
63	El Molote	Guerrero	17°24'50" - 17°27'30" N / 100°09'40" - 100°12'20" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Lozada et al. (2003)
64	Teipan	Oaxaca	16°14'49" - 16°15'38" N / 95°58'55" - 95°59'41" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Mejía (2003)
65	Sierra Norte	Puebla	20°13'41" - 20°17'31" N / 98°07'59" - 98°14'20" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Reyes (2003)
66	Noroeste de México	Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas	22°11'27" - 22°20'41" N / 99°25'32" - 99°29'43" O y 25°10'41" - 25°10'53" N / 100°07'02" - 100°07'37" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Valdez et al. (2003)
67	Magdalena Contreras	Distrito Federal	19°16'25" - 19°17'18" N / 99°15'42" - 99°17'01" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Ávila (2004), Ávila (2006), Ávila et al. (2008)
68	Lolotla	Hidalgo	20°50'00" - 20°54'00" N / 98°40'00" - 98°43'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Escutia (2004), Ponce-Vargas et al. (2006)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
69	Sierra de Taxco	Guerrero	18°30'00" - 18°47'00" N / 99°33'00" - 99°46'00" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Martínez et al. (2004), Saavedra- Millán (2009)
70	Piedra Larga	Oaxaca	16°31'00" - 16°37'00" N / 95°45'00" - 95°51'00" O	Sierra Madre del Sur (Sierra Madre del Sur)	Peterson et al. (2004b)
71	Pisaflores	Hidalgo	21°12'20" N / 98°58'35" O y 21°13'05" N / 98°58'50" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Quintos et al. (2004)
72	San Sebastián del Oeste	Jalisco	20°41'40" - 20°43'36" N / 104°52'30" - 104°53'10" O y 20°45'57" - 20°45'40" N / 104°56'57" - 104°58'05" O	Costa Pacífica (Faja Volcánica Transmexicana)	Reynoso (2004)
73	Cerro la Mona	Michoacán	18°40'59" - 18°41'56" N / 103°24'46" - 103°25'51" O	Costa Pacífica (Sierra Madre del Sur)	Sahagún (2004)
74	Sierra Mazateca	Oaxaca	18°00'00" - 18°22'00" N / 96°30'00" - 97°15'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Lorea (2005)
75	Huachinango	Puebla	20°07'52" - 20°10'22" N / 98°01'11" - 98°07'01" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Ruiz-Jiménez et al. (2005), Mendoza et al. (2005)
76	Sierra Sur	Oaxaca	15°57'00" - 16°03'00" N / 96°20'00" - 96°38'00" O	Sierra Madre del Sur (Sierra Madre del Sur)	Montalvo (2006)
77	Banderilla	Veracruz	19°34'36" - 19°35'10" N / 96°56'35" - 96°56'59" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Vázquez et al. (2006)
78	Santa Cruz Tepetotutla	Oaxaca	17°38'54" - 17°42'15" N / 96°31'38" - 96°33'36" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Rincón (2007)

APÉNDICE 1. Continuación.

No.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística (subprovincia geológica) *	Autor (es)
79	Chimalapas	Oaxaca	16°42'09" - 16°44'30.1" N / 94°11'30.2" - 94°16'49" O	Serranías meridionales (Sierra Madre de Chiapas)	Gallardo-Hernández et al. (2008)
80	La Cortadura	Veracruz	19°29'00" - 19°29'35" N / 97°02'00" - 97°02'45" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	García-Franco et al. (2008)
81	Cerro Cebú	Chiapas	15°49'00" - 15°50'00" N / 93°02'00" - 93°05'00" O	Soconusco (Sierra Madre de Chiapas)	Martínez-Meléndez et al. (2008)
82	Arroyo Agua Fría	Colima	19°17'34" - 19°18'52" N / 104°01'17" - 104°02'54" O	Serranías meridionales (Sierra Madre del Sur)	Padilla et al. (2008)
83	Las Cañadas	Veracruz	19°09'59" - 19°11'09" N / 96°57'29" - 96°59'38" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Williams-Linera y López-Gómez (2008), García-Franco y Toledo (2008), Mehltreter (2008)

APÉNDICE 2. Especies del BMM para cada grupo identificado

Familia	Especie	Grupos																
		A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
Pinaceae	1 <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltl. y Cham.																	+
Sapindaceae	2 <i>Acer negundo</i> var. <i>mexicanum</i> (DC.) Standl. y Steyerm.	+																+
Euphorbiaceae	3 <i>Alchornea latifolia</i> Sw.																	+
Betulaceae	4 <i>Alnus acuminata</i> Kunth subsp. <i>arguta</i> (Schltl.) Furlow																	+
Betulaceae	5 <i>Alnus jorullensis</i> Kunth subsp. <i>lutea</i> Furlow	+																
Cyatheaceae	6 <i>Alsophila firma</i> (Baker) D.S. Conant																	
Annonaceae	7 <i>Annona globiflora</i> Schltl.																	+
Cannabaceae	8 <i>Aphananthe monoica</i> (Hemsl.) J.-Leroy																	
Cannabaceae	9 <i>Bejaria aestuans</i> Mutis ex L.	+																
Lauraceae	10 <i>Beilschmiedia mexicana</i> (Mez) Kosterm.																	+
Berberidaceae	11 <i>Berberis gracilis</i> Benth.																	
Euphorbiaceae	12 <i>Bernardia dodecandra</i> (Sessé ex Cavagnaro) McVaugh																	+
Sapindaceae	13 <i>Billia hippocastanum</i> Peyr.																	+
Urticaceae	14 <i>Boehmeria ulmifolia</i> Wedd.																	
Moraceae	15 <i>Brosimum alicastrum</i> Sw. subsp. <i>alicastrum</i>																	
Brunelliaceae	16 <i>Brunellia mexicana</i> Standl.																	+
Malpighiaceae	17 <i>Bunchosia lindeniana</i> A. Juss.																	
Scrophulariaceae	18 <i>Buddleja americana</i> L.																	
Scrophulariaceae	19 <i>Buddleja cordata</i> Kunth subsp. <i>cordata</i>	+	+															+
Scrophulariaceae	20 <i>Buddleja parviflora</i> Kunth																	+
Scrophulariaceae	21 <i>Buddleja sessiliflora</i> Kunth																	+
Burseraceae	22 <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.																	+
Betulaceae	23 <i>Carpinus caroliniana</i> Walt.	+	+	+														+
Juglandaceae	24 <i>Carya ovata</i> (Mill.) K. Koch var. <i>mexicana</i> (Engelm. Ex Hemsl.) W.E. Manning		+															+
Meliaceae	25 <i>Cedrela odorata</i> L.		+															
Fabaceae	26 <i>Cercis canadensis</i> L.		+															
Rosaceae	27 <i>Cercocarpus macrophyllus</i> C.K. Schneid.		+															
Solanaceae	28 <i>Cestrum tomentosum</i> L.f.																	+
Verbenaceae	29 <i>Citharexylum hidalgense</i> Moldenke	+	+															
Clethraceae	30 <i>Clethra alcoceri</i> Greenm.	+																
Clethraceae	31 <i>Clethra mexicana</i> DC.	+																+
Clethraceae	32 <i>Clethra pringlei</i> S. Watson		+															+
Pentaphylacaceae	33 <i>Cleyera integrifolia</i> (Benth.) Choisy																	+

APÉNDICE 2. Continuación.

Familia	Especie	Grupos														
		A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Pentaphtylacaceae	34	<i>Cleyera theaeoides</i> (Sw.) Choisy	+	+		+										
Clusiaceae	35	<i>Clusia salvinii</i> Donn. Sm.				+		+								
Cornaceae	36	<i>Cornus disciflora</i> DC.	+	+						+	+	+	+			
Cornaceae	37	<i>Cornus excelsa</i> Kunth	+	+												
Rosaceae	38	<i>Crataegus mexicana</i> Moc. y Sessé ex DC.	+													
Cyatheaceae	39	<i>Cyathea bicrenata</i> Liebm.						+								
Cyatheaceae	40	<i>Cyathea divergens</i> Kunze var. <i>tuerckheimii</i> (Maxon) R.M. Tryon						+								
Cyatheaceae	41	<i>Cyathea fulva</i> (M. Martens y Galeotti) Fée	+				+								+	
Fabaceae	42	<i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. y Guridi-Gómez		+												
Thymelaeaceae	43	<i>Daphnopsis mollis</i> (Cham. y Schltld.) Standl.		+												
Araliaceae	44	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. y Planch.		+		+		+		+						+
Rubiaceae	45	<i>Deppea grandiflora</i> Schltld.				+										
Winteraceae	46	<i>Drimys winteri</i> J.R. Forst. y G. Forst.					+								+	
Putranjivaceae	47	<i>Drypetes lateriflora</i> (Sw.) Krug. y Urb.		+												
Celastraceae	48	<i>Elaeodendron trichotomum</i> (Turcz.) Lundell		+												
Myrtaceae	49	<i>Eugenia capuli</i> (Schltld. y Cham.) Hook y Arn.		+												
Celastraceae	50	<i>Euonymus acuminatus</i> Benth.		+												
Sapindaceae	51	<i>Exothea paniculata</i> (Juss.) Radlk.					+									
Oleaceae	52	<i>Forestiera reticulata</i> Torr.		+												
Onagraceae	53	<i>Fuchsia arborescens</i> Sims subsp. <i>arborescens</i>	+													+
Oleaceae	54	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.								+						+
Garryaceae	55	<i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ex Benth. subsp. <i>laurifolia</i>		+								+				+
Rubiaceae	56	<i>Glossostipula concinna</i> (Standl.) Lorence					+									
Meliaceae	57	<i>Guarea glabra</i> Vahl														+
Euphorbiaceae	58	<i>Gymnanthes longipes</i> Müll. Arg.		+												
Chloranthaceae	59	<i>Hedyosmum mexicanum</i> C. Cordem.						+				+				+
Malvaceae	60	<i>Heliocharpus americanus</i> L. var. <i>americanus</i>		+												
Malvaceae	61	<i>Heliocharpus appendiculatus</i> Turcz.		+												+
Fabaceae	62	<i>Inga jinicuil</i> Schltld.				+										
Aquifoliaceae	63	<i>Ilex brandegeana</i> Loes.								+						
Aquifoliaceae	64	<i>Ilex condensata</i> Turcz.		+												
Aquifoliaceae	65	<i>Ilex discolor</i> Hemsl. var. <i>discolor</i>	+	+												

APÉNDICE 2. Continuación.

Familia		Especie	Grupos															
			A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
Aquifoliaceae	66	<i>Ilex discolor</i> Hemsl. var. <i>tolucana</i> (Hemsl.) Edwin ex T.R. Dudley																+
Juglandaceae	67	<i>Juglans mollis</i> Engelm.		+														
Asteraceae	68	<i>Koanophyllon pittieri</i> (Klatt) R.M. King y Rob.					+											
Fabaceae	69	<i>Leucaena pulverulenta</i> (Schltdl.) Benth.		+														
Hamamelidaceae	70	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	+	+	+	+	+											+
Lauraceae	71	<i>Litsea glaucescens</i> Kunth		+	+													
Fabaceae	72	<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth. var. <i>rugosus</i>		+														
Cannabaceae	73	<i>Lozanella enantiophylla</i> (Donn. Sm.) Killip y C.V. Morton	+															
Ericaceae	74	<i>Lyonia squamulosa</i> M. Martens y Galeotti	+															+
Magnoliaceae	75	<i>Magnolia dealbata</i> Zucc.		+														
Magnoliaceae	76	<i>Magnolia schiedeana</i> Schltdl.	+	+														+
Sabiaceae	77	<i>Meliosma alba</i> (Schltdl.) Walp.		+	+													
Sabiaceae	78	<i>Meliosma dentata</i> (Liebm.) Urb.									+	+						
Melastomataceae	79	<i>Miconia glaberrima</i> (Schltdl.) Naudin				+	+											+
Melastomataceae	80	<i>Miconia mexicana</i> (Bonpl.) Naudin				+	+											
Monimiaceae	81	<i>Mollinedia viridiflora</i> Tul.																+
Moraceae	82	<i>Morus celtidifolia</i> Kunth		+														
Myrsinaceae	83	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem y Schult var. <i>coriacea</i>	+	+			+											+
Myrsinaceae	84	<i>Myrsine juergensenii</i> (Mez) Lundell					+											+
Nyssaceae	85	<i>Nyssa sylvatica</i> Marshall	+															
Lauraceae	86	<i>Ocotea chiapensis</i> (Lundell) Standl y Steyerem.					+											
Lauraceae	87	<i>Ocotea helicterifolia</i> (Meisn.) Hemsl.																+
Lauraceae	88	<i>Ocotea klotzschiana</i> (Nees) Hemsl.																+
Lauraceae	89	<i>Ocotea salvinii</i> Mez		+														
Juglandaceae	90	<i>Oreomunnea mexicana</i> (Standl.) J.-F. Leroy																+
Araliaceae	91	<i>Oreopanax capitatus</i> (Jacq.) Decne. y Planch.					+											
Araliaceae	92	<i>Oreopanax echinops</i> (Schltdl. y Cham.) Decne. y Planch																+
Araliaceae	93	<i>Oreopanax flaccidus</i> Marchal	+															
Araliaceae	94	<i>Oreopanax liebmannii</i> Marchal																+
Araliaceae	95	<i>Oreopanax peltatus</i> Linden ex Regel						+										
Araliaceae	96	<i>Oreopanax sanderianus</i> Hemsl.						+										+
Araliaceae	97	<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. y Planch.	+			+	+			+	+							+
Oleaceae	98	<i>Osmanthus americanus</i> (L.) A. Gray		+														

APÉNDICE 2. Continuación.

Familia	Número	Especie	Grupos														
			A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Betulaceae	99	<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch.	+	+													
Rubiaceae	100	<i>Palicourea padifolia</i> (Wild. ex Roem. y Schult) C.M. Taylor y Lorence				+											
Myrsinaceae	101	<i>Parathesis chiapensis</i> Fernald				+											
Myrsinaceae	102	<i>Parathesis tenuis</i> Standl.															+
Celastraceae	103	<i>Perrottetia ovata</i> Hemsl.	+	+													
Lauraceae	104	<i>Persea americana</i> Mill.		+		+											+
Asteraceae	105	<i>Perymenium grande</i> Hemsl.				+											
Rosaceae	106	<i>Photinia mexicana</i> (Baill.) Hemsl.		+													
Phyllonomaceae	107	<i>Phyllonoma laticuspis</i> (Turcz.) Engl.															+
Picramniaceae	108	<i>Picramnia tetramera</i> Turcz.								+							
Pinaceae	109	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.		+													
Pinaceae	110	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl. var. <i>oocarpa</i>								+							
Pinaceae	111	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. y Cham. var. <i>patula</i>	+														
Pinaceae	112	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. var. <i>pseudostrobus</i>											+				
Platanaceae	113	<i>Platanus mexicana</i> Moric. var. <i>mexicana</i>	+			+	+										
Podocarpaceae	114	<i>Podocarpus matudae</i> Lundell	+				+									+	
Rosaceae	115	<i>Prunus brachybotrya</i> Zucc.	+	+										+	+		+
Rosaceae	116	<i>Prunus serotina</i> Ehrh. subsp. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh	+	+										+			
Rosaceae	117	<i>Prunus serotina</i> Ehrh. subsp. <i>serotina</i>		+													
Asteraceae	118	<i>Pseudogynoxys chenopodioides</i> (Kunth) Cabrera var. <i>chenopodioides</i>		+													
Rubiaceae	119	<i>Psychotria trichotoma</i> M. Martens y Galeotti															+
Fagaceae	120	<i>Quercus acutifolia</i> Née															+
Fagaceae	121	<i>Quercus affinis</i> Scheidw.	+														
Fagaceae	122	<i>Quercus candicans</i> Née					+				+	+					
Fagaceae	123	<i>Quercus castanea</i> Née										+					
Fagaceae	124	<i>Quercus eugeniifolia</i> Liebm.	+														
Fagaceae	125	<i>Quercus germana</i> Schltdl. y Cham.	+	+												+	+
Fagaceae	126	<i>Quercus laurina</i> Humb. y Bonpl.					+				+	+					
Fagaceae	127	<i>Quercus ocoteifolia</i> Liebm.						+									
Fagaceae	128	<i>Quercus polymorpha</i> Schltdl. y Cham.		+												+	
Fagaceae	129	<i>Quercus rugosa</i> Née									+	+					
Fagaceae	130	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.		+													

APÉNDICE 2. Continuación.

Familia	Especie	Grupos														
		A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Fagaceae	131 <i>Quercus sapotifolia</i> Liebm.				+											
Fagaceae	132 <i>Quercus sartorii</i> Liebm.	+	+												+	
Fagaceae	133 <i>Quercus scytophylla</i> Liebm.							+		+						
Fagaceae	134 <i>Quercus segoviensis</i> Liebm.				+											
Fagaceae	135 <i>Quercus splendens</i> Née	+														
Fagaceae	136 <i>Quercus uxoris</i> McVaugh									+						
Fagaceae	137 <i>Quercus xalapensis</i> Humb. y Bonpl.	+	+												+	
Celastraceae	138 <i>Quetzalia schiedeana</i> (Loes.) Lundell	+														
Sterculiaceae	139 <i>Reevesia clarkii</i> (Monach.et Moldenke) Solheim		+													
Rhamnaceae	140 <i>Rhamnus capreaefolia</i> Schltld. var. <i>capreaefolia</i>		+													
Rhamnaceae	141 <i>Rhamnus longistyla</i> C.B. Wolf	+														
Rhamnaceae	142 <i>Rhamnus mucronata</i> Schltld.					+										
Proteaceae	143 <i>Roupala montana</i> Aubl.		+													
Adoxaceae	144 <i>Sambucus nigra</i> L. var. <i>canadensis</i> (L.) Bolli	+	+	+												
Actinidaceae	145 <i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.		+			+										
Actinidaceae	146 <i>Saurauia serrata</i> DC.										+					
Sapindaceae	147 <i>Sapindus saponaria</i> L.		+													
Solanaceae	148 <i>Solanum laurifolium</i> Mill.		+													
Styracaceae	149 <i>Styrax argenteus</i> C. Presl											+				
Styracaceae	150 <i>Styrax glabrescens</i> Benth.		+	+		+										
Styracaceae	151 <i>Styrax ramirezii</i> Greenm.										+	+				
Symplocaceae	152 <i>Symplocos citrea</i> Lex. ex La Llave y Lex.										+	+				
Myrsinaceae	153 <i>Synardisia venosa</i> (Mast.) Lundell					+										
Taxaceae	154 <i>Taxus globosa</i> Schltld.		+													
Pentaphylacaceae	155 <i>Ternstroemia huasteca</i> B.M. Barthol.	+														
Pentaphylacaceae	156 <i>Ternstroemia lineata</i> subsp. <i>lineata</i>					+		+	+	+						
Pentaphylacaceae	157 <i>Ternstroemia sylvatica</i> Schltld. y Cham.		+	+			+								+	
Pentaphylacaceae	158 <i>Ternstroemia tepezapote</i> Schltld. y Cham.					+										
Ticodendraceae	159 <i>Ticodendron incognitum</i> Gómez Laur. y L.D. Gómez												+			
Malvaceae	160 <i>Tilia americana</i> L. var. <i>mexicana</i> (Schltld.) Hardin		+							+						
Cannabaceae	161 <i>Trema micrantha</i> (L.) Blume var. <i>micrantha</i>		+	+	+										+	
Meliaceae	162 <i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	+	+								+					+
Moraceae	163 <i>Trophis chiapensis</i> Brandegee					+										
Moraceae	164 <i>Trophis mexicana</i> (Liebm.) Bureau	+				+										
Moraceae	165 <i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.		+													

APÉNDICE 2. Continuación.

Familia	Especie	Grupos														
		A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Staphyleaceae	166	<i>Turpinia insignis</i> (Kunth) Tul.			+	+									+	
Staphyleaceae	167	<i>Turpinia occidentalis</i> (Sw.) G. Don subsp. <i>occidentalis</i>	+	+							+					
Ulmaceae	168	<i>Ulmus mexicana</i> (Liebm.) Planch.		+												
Ericaceae	169	<i>Vaccinium leucanthum</i> Schltldl.	+	+												
Asteraceae	170	<i>Verbesina apleura</i> S.F. Blake				+										
Adoxaceae	171	<i>Viburnum ciliatum</i> Greenm.	+													
Adoxaceae	172	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth.				+										
Adoxaceae	173	<i>Viburnum stenocalyx</i> (Oerst.) Hemsl.									+					
Adoxaceae	174	<i>Viburnum tiliifolium</i> (Oerst.) Hemsl.	+													
Cunoniaceae	175	<i>Weinmannia pinnata</i> L.										+			+	
Celastraceae	176	<i>Wimmeria concolor</i> Schltldl. y Cham.		+												
Salicaceae	177	<i>Xylosma flexuosa</i> (Kunth) Hemsl.	+	+	+						+					+
Rutaceae	178	<i>Zanthoxylum clava-herculis</i> L.	+													
Rutaceae	179	<i>Zanthoxylum melanostictum</i> Schltldl. y Cham.										+				
Rutaceae	180	<i>Zanthoxylum xicense</i> Miranda	+													
Celastraceae	181	<i>Zinowiewia concinna</i> Lundell									+					

APÉNDICE 3. Perfiles bioclimáticos de los grupos. El número de la izquierda corresponde al parámetro enunciado en el Cuadro 2. Se ofrecen valores máximos y mínimos; entre paréntesis el promedio y la desviación estándar.

	A1	A2	A3	B
1	13.5-21.8 (17.1±1.93)	15.1-23.4 (20.70±1.12)	10.9-20.6 (16.20±2.22)	10.9-21.9 (17.90±1.9)
2	9.6-13 (11.5±0.79)	10.3-16.3 (14.10±0.74)	8.7-12.6 (10.70±0.77)	8.4-15 (11.80±1.66)
3	0.55-0.63 (0.59±0.02)	0.55-0.62 (0.59±0.01)	0.57-0.68 (0.62±0.03)	0.61-0.76 (0.70±0.05)
4	0.57-1.11 (0.76±0.09)	0.79-1.23 (1.06±0.1)	0.49-0.84 (0.65±0.06)	0.27-0.55 (0.38±0.06)
5	22.8-32.6 (26.8±2.08)	25-35.4 (32.10±1.28)	19.6-29.3 (24.70±2.14)	20-30.7 (26±1.81)
6	4.6-10 (7.2±1.43)	5.1-10.6 (8.10±1.24)	2.1-11.3 (7.50±2.19)	-0.3-12.6 (9.30±2.55)
7	17.4-22.6 (19.6±1.1)	18.7-26.4 (23.90±0.96)	15.3-18.9 (17.30±0.71)	13.8-20.3 (16.80±1.44)
8	14-24.3 (18.4±2.25)	16.1-25.8 (23.10±1.12)	11.5-22.2 (17.30±2.49)	11.8-22.6 (18.50±1.86)
9	11.8-17.6 (14.7±1.42)	12-20.8 (17±1.68)	9.4-17.7 (14.20±1.81)	9.6-20.2 (16.90±1.92)
10	15.6-25.2 (19.5±2.07)	17.8-27.1 (23.90±1.22)	12.6-23 (18.20±2.35)	11.8-23.7 (19.10±2.06)
11	11.2-17.1 (14±1.53)	12-18.5 (16.20±1.12)	9-17.3 (13.50±1.95)	9.6-19.7 (16.30±1.75)
12	940-2385 (1569.4±317.1)	570-1589 (1048±188)	821-2110 (1541±205.61)	1089-2697 (1861±376.41)
13	48-143 (87.8±19.0)	30-104 (57±12.4)	43-102 (74±8.83)	53-117 (86±14.89)
14	0-12 (1.8±4.14)	(0)	0-16 (5±5.52)	(0)
15	68-85 (80.1±1.86)	76-97 (84±2.93)	62-80 (69±3.12)	66-96 (83±8.4)
16	469-1201 (798.2±159.72)	286-819 (543±83.93)	404-1060 (715±96.76)	521-1340 (922±195.69)
17	48-175 (109.0±28.7)	27-117 (64±13.52)	70-225 (148±21.8)	0-188 (65±51.66)
18	240-689 (426.3±102.09)	193-537 (401±50.05)	225-650 (440±78.52)	433-683 (549±41.85)
19	52-196 (123.4±33.43)	31-136 (70±17.37)	72-246 (159±23.8)	17-367 (99±99.18)

APÉNDICE 3. Continuación

	C	D	E	F
1	17.1-22 (20.30±1.18)	14.5-23.9 (18.90±2.91)	13-14.5 (13.6±0.48)	14.6-26.9 (22.30±1.72)
2	7.7-9.9 (8±0.61)	11.8-19.9 (15.90±2.47)	13.2-16.1 (14.4±0.83)	10.6-16.8 (14±1.49)
3	0.52-0.6 (0.54±0.02)	0.59-0.7 (0.67±0.03)	0.66-0.69 (0.68±0.01)	0.63-0.75 (0.67±0.02)
4	0.6-0.67 (0.64±0.02)	0.36-0.81 (0.67±0.13)	0.52-0.63 (0.58±0.03)	0.25-0.85 (0.52±0.11)
5	25.1-30.3 (28.20±1.19)	26.1-33.8 (30.70±1.94)	22.7-25.6 (23.8±0.91)	21.8-39.3 (32.60±2.3)
6	9-14.9 (13.40±1.58)	2.3-14.7 (6.80±4.03)	2.1-3.1 (2.5±0.25)	7.5-14.9 (11.60±1.97)
7	14.1-16.6 (14.90±0.58)	17.2-28.4 (23.90±3.33)	19.9-23.5 (21.3±1.08)	14.3-26.1 (21.10±2.5)
8	18.3-23.2 (21.50±1.18)	16.2-24.9 (20.30±2.89)	13.7-15.7 (14.6±0.61)	14.6-28.3 (23.10±1.87)
9	15-22.8 (20.80±2.1)	13.6-23 (18.30±3.02)	10.7-12 (11.3±0.41)	13.8-26.9 (21.90±2.02)
10	19.2-24.1 (22.30±1.18)	17.3-25.3 (21.10±2.54)	14.8-16.4 (15.5±0.52)	15.6-29.3 (24.10±1.85)
11	14.4-19.1 (17.60±1.17)	11.4-22.1 (16.20±3.26)	10.7-11.9 (11.2±0.36)	13.7-23.8 (20.20±1.66)
12	1530-2743 (2405±323.48)	800-1296 (1102±160.1)	847-1085 (999±85.06)	720-1693 (1318±168.8)
13	71-115 (98±10.81)	47-84 (67±11.76)	42-60 (53±7.26)	44-100 (75±10.4)
14	0-11 (1±3.46)	(0)	(0)	(0)
15	66-70 (68±1.67)	99-115 (106±4.14)	90-99 (95±3.55)	95-120 (105±5.1)
16	691-1305 (1115±159.99)	506-866 (714±118.14)	480-663 (592±69.86)	469-1056 (820±104.56)
17	138-170 (156±6.88)	0-30 (7±12.15)	27-38 (33±3.04)	0-38 (11±14.74)
18	460-655 (577±52.74)	240-700 (429±171.67)	260-311 (297±13.81)	191-801 (419±127.22)
19	164-350 (306±52.46)	32-65 (47±12.59)	27-38 (33±3.1)	12-104 (51±14.58)

APÉNDICE 3. Continuación

	G	H	I	J
1	13-14.5 (13.6±0.48)	13.3-21.9 (15.80±2.33)	15.1-20.7 (18.20±1.36)	12.2-20 (17.60±2.28)
2	13.2-16.1 (14.4±0.83)	10.6-13.3 (11.50±0.56)	10.6-13.2 (12.20±0.68)	9.2-13.3 (12.10±0.84)
3	0.66-0.69 (0.68±0.01)	0.61-0.69 (0.65±0.03)	0.61-0.66 (0.63±0.01)	0.57-0.68 (0.63±0.02)
4	0.52-0.63 (0.58±0.03)	0.39-0.71 (0.52±0.09)	0.48-0.65 (0.58±0.05)	0.41-0.69 (0.58±0.07)
5	22.7-25.6 (23.8±0.91)	21.8-32.6 (25.10±2.58)	25.1-29.7 (28.20±1.32)	21.2-30.4 (27.50±2.54)
6	2.1-3.1 (2.5±0.25)	6-11.7 (7.40±1.82)	6.3-12.5 (8.90±1.45)	5.2-11.1 (8.40±1.68)
7	19.9-23.5 (21.3±1.08)	15.9-20.9 (17.70±0.97)	16.3-21 (19.30±1.29)	16-21 (19.10±1.32)
8	13.7-15.7 (14.6±0.61)	13.4-23 (16.20±2.63)	15.2-22 (18.80±1.66)	12-21.1 (18±2.61)
9	10.7-12 (11.3±0.41)	13.3-21 (15.60±2.13)	15-19.9 (17.50±1.14)	12.4-19.1 (16.90±1.89)
10	14.8-16.4 (15.5±0.52)	14.9-24.4 (17.80±2.55)	17.2-22.3 (20.30±1.35)	14-22.4 (19.80±2.41)
11	10.7-11.9 (11.2±0.36)	12-19 (13.80±1.9)	13.5-18.5 (16±1.15)	11-17.6 (15.40±1.87)
12	847-1085 (999±85.06)	1290-2653 (1639±399.74)	1329-2127 (1692±179.64)	1266-2732 (1661±329.55)
13	42-60 (53±7.26)	69-139 (87±21.34)	62-99 (80±8.88)	60-120 (78±13.97)
14	(0)	(0)	(0)	0-10 (0±1.17)
15	90-99 (95±3.55)	84-93 (88±1.94)	78-87 (84±2.49)	75-88 (84±3.14)
16	480-663 (592±69.86)	732-1476 (923±225.08)	682-1110 (902±101.44)	682-1355 (883±153.43)
17	27-38 (33±3.04)	55-131 (73±19.67)	60-108 (75±11.3)	50-172 (77±27.57)
18	260-311 (297±13.81)	204-580 (288±103.82)	181-512 (314±95.8)	148-621 (288±120.61)
19	27-38 (33±3.1)	85-219 (123±35.36)	96-186 (133±18.05)	88-262 (134±40.61)

APÉNDICE 3. Continuación

	K	L	M
1	13-19.3 (17.50±1.62)	13.4-23.1 (18.50±2.14)	14.1-22.3 (16.10±2.7)
2	8.4-13.6 (11.40±1.1)	8.1-10 (9.10±0.52)	11-14 (12.20±0.82)
3	0.57-0.66 (0.61±0.02)	0.55-0.59 (0.57±0.01)	0.57-0.64 (0.60±0.02)
4	0.59-0.92 (0.70±0.08)	0.61-0.94 (0.74±0.09)	0.64-1.15 (0.76±0.15)
5	22.6-28.2 (26.60±1.55)	21.7-31.4 (26.20±2.23)	23.7-34 (25.90±3.32)
6	2.4-10.1 (8±2.06)	6.2-13.7 (10.30±1.54)	3.7-9.7 (5.60±2.12)
7	14.6-20.9 (18.60±1.6)	14.5-17.7 (15.90±0.84)	19.2-24.3 (20.30±1.44)
8	13.8-20.7 (18.90±1.78)	14.1-25.3 (20±2.53)	15-24.8 (17.50±3.17)
9	10.9-16.7 (15.30±1.25)	14.5-23.4 (16.80±1.37)	12.2-18.6 (14±2.25)
10	15-21.4 (19.70±1.63)	15.4-25.8 (20.70±2.31)	16.4-25.8 (18.60±3.07)
11	10.6-16.4 (14.60±1.53)	11-19.1 (15.40±1.77)	11.6-17.5 (13±2.02)
12			1292-2156
	602-1982 (1705±297.5)	1389-1787 (1659±83)	(1679±260.37)
13	33-93 (81±12.57)	58-86 (80±5.22)	69-98 (82±9.57)
14	0-11 (6±5.37)	0-15 (11±4.21)	(0)
15	67-100 (76±7.37)	49-69 (62±4.17)	79-82 (80±0.93)
16	265-1059 (852±166.81)	557-788 (733±44.37)	657-1145 (874±146.79)
17	26-172 (136±31.29)	152-208 (180±12.2)	84-150 (115±20.09)
18	183-640 (507±109.9)	367-521 (456±40.68)	326-644 (440±99.36)
19	39-208 (147±32.22)	176-234 (204±12.87)	97-163 (130±20.98)



Clasificación de los bosques mesófilos de montaña de México: afinidades de la flora

Classification of the Mexican cloud forests: floristic affinities

Carlos Alberto Ruiz-Jiménez^{1,3✉}, Oswaldo Téllez-Valdés² e Isolda Luna-Vega¹

¹Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal 70-399, 04510 México, D. F., México

²Laboratorio de Recursos Naturales, Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal 314, Av. De los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, 54090 Tlalnepantla, Estado de México.

³Posgrado en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal 70-399, 04510 México, D. F., México.

✉ ruitzjimenez.carlos@gmail.com

Resumen. Se realizó un análisis de clasificación numérica para comparar las semejanzas florístico-geográficas-bioclimáticas de los bosques mesófilos de montaña (BMM) de México. Con base en publicaciones de carácter florístico, de vegetación y sinecológico se obtuvo una base de datos de la flora vascular del BMM que contiene 6 453 especies, 1 426 géneros y 213 familias. La matriz de presencia-ausencia consta de 2 856 especies (180 familias, 897 géneros) distribuidas en 83 localidades; la clasificación se realizó mediante un análisis de conglomerados, utilizando índices de similitud; se agrupó con el método UPGMA y se construyeron dendrogramas. Con BIOCLIM se obtuvo el perfil bioclimático de cada grupo y con el promedio de las variables se generó una matriz que se clasificó como la anterior. La importancia de las variables bioclimáticas fue evaluada mediante un análisis de ordenación por componentes principales. Los grupos florísticamente similares se ajustan a las provincias florísticas de México y los perfiles bioclimáticos respaldan dichas agrupaciones. Por sus características bioclimáticas, los BMM se agrupan en 3 conjuntos de localidades. Se sustenta que las localidades geográficamente más cercanas presentan mayor similitud florística. Conforme se genera más información sobre el BMM de México se refuerzan las hipótesis de relación entre las provincias florísticas.

Palabras clave: análisis multivariado, análisis de ordenación, bioclim, dendrograma, índice de similitud, provincias florísticas.

Abstract. A numerical classification analysis was made to compare the floristic-geographic-bioclimatic resemblance among Mexico's cloud forest (MCF). A MCF vascular flora database was made based on floristics, vegetation and sinecological published work; which contains 6 453 species, 1 426 genera and 213 families. The presence-absence matrix consists of 2 856 species (180 families and 897 genera) scattered through 83 localities; this was rated by means of a conglomerate analysis using the similarity indexes this was put together using the UPGMA method; dendrograms were also made. The bioclimatic profile of each group was obtained using BIOCLIM, the variable average was used to generate a matrix which was rated like the previous one. Based on the order analysis the importance of bioclimatic variables was evaluated through its main component. The floristical similar groups match Mexico's floristic provinces and bioclimatic profiles which back up such groupings. Based on their bioclimatic features the MCF are rated on three groups of localities. It has been noticed that the closer localities are geographically they exhibit greater floristic similarities. Based on the research of the MCF relationships among floristic provinces we reach stronger hypothesis.

Key words: multivariate analysis, ordination analysis, bioclim, dendrogram, similarity index, floristic provinces.

Introducción

En México, el bosque mesófilo de montaña (BMM) es el tipo de vegetación con mayor riqueza florística por unidad de área. Se estima que es hábitat de más de 6 790 especies de plantas vasculares y cerca del 34.8% son

endémicas (Villaseñor, 2010). Se calcula que el área que cubre el BMM no sobrepasa el 1% del territorio nacional (Rzedowski, 1978, 1991; Palacio-Prieto et al., 2000). Su distribución fragmentaria se limita a zonas montañosas con topografía de pendientes pronunciadas, en particular cañadas y zonas protegidas de radiación solar y vientos fuertes (Rzedowski, 1978). Las zonas donde se distribuye presentan variaciones altitudinales, edáficas y climáticas,

Recibido: 11 enero 2012; aceptado: 03 mayo 2012

que interactúan a su vez con características locales, como la orientación, la pendiente, la altitud, la latitud, la nubosidad, y la humedad del aire y del suelo; tales factores actúan sobre la vegetación provocando variabilidad florística, fisonómica y estructural, de tal modo que la información obtenida de esta comunidad es difícil de interpretar y de someter a generalizaciones (Rzedowski, 1978, 1991; Ruiz-Jiménez et al., 2000).

La composición florística, estructura y fisonomía de los BMM mexicanos varía dependiendo de la región donde se encuentra y considerando que la velocidad a la que se ha deteriorado esta comunidad vegetal en los últimos años, ha sido excesiva, por lo anterior, es urgente que se realicen estudios detallados, sobre todo en áreas poco conocidas. Estas investigaciones deberán enfocarse hacia el conocimiento de la composición florística, el inventario de las asociaciones del bosque, la distribución de especies exclusivas/o diagnósticas; y en enfatizar la importancia de la dinámica, la estructura y las variables que le proporcionan sus peculiares rasgos fisonómicos.

Por lo anterior, y con la finalidad de contribuir al conocimiento del BMM, en este estudio se plantea el objetivo de analizar algunas localidades de BMM de México utilizando métodos de clasificación mediante las semejanzas florísticas y de las variables ambientales (bioclimáticas).

Materiales y métodos

Se construyó una base de datos de la flora vascular del BMM de México (Fig. 1 y Apéndice), que incluye angiospermas, gimnospermas y helechos y está compuesta por 213 familias, 1 426 géneros y 6 453 especies. Esta base fue depurada para evitar sinonimias y suprimir especies introducidas. Asimismo, se eliminaron las especies presentes en una sola localidad y los taxa no identificados hasta especie porque la información que proporcionan sobre su distribución no es precisa. Se generó, así, una matriz de presencia-ausencia compuesta por 83 localidades. La matriz final incluye 2 856 especies, pertenecientes a 180 familias y 897 géneros.

La base de datos se elaboró a partir de la información que se obtuvo de los estudios florísticos, estructurales y ecológicos de Carlson (1954), Gómez-Pompa (1966), Rzedowski (1966), Rzedowski y McVaugh (1966), Rzedowski (1969), Chiang (1970), Álvarez del Castillo (1977), Rzedowski y Palacios-Chávez (1977), Vargas (1982), Ibarra (1983), Puig et al. (1983), Reyes y Breceda (1985), Ballesteros (1986), Puig y Bracho (1987), García et al. (1988), Ishiki (1988), Luna-Vega et al. (1988), Martínez (1988), Luna-Vega et al. (1989), Machuca (1989), Puig (1989), Fragoso (1990), Madrigal (1990), Madrigal y Guridi (inédito [1990]), Briones (1991), Long y Heath

(1991), Torres (1991), Williams-Linera (1991), Croda (1992), Díaz-Barriga y Palacios-Ríos (1992), Durán (1992), Meave et al. (1992), Muñoz (1992), Santiago (1992), Zamora (1992), Zamudio et al. (1992), Campos (1993), Jiménez et al. (1993), Medina y Rodríguez (1993), Miranda y González (1993), Santiago y Jardel (1993), Tolomé (1993), Ahumada (1994), Arriaga (1994), Blanco (1994), Cuevas (1994), Luna-Vega et al. (1994), Campos-Villanueva y Villaseñor (1995), Labat (1995), López (1995), Orozco (1995).

Ruiz-Jiménez (1995), Smith (1995), Téllez-Valdez (1995), Vázquez et al. (1995), Alcántara (1996), Boyle (1996), Castillo (1996), Pérez-Calix (1996), Williams-Linera et al. (1996), Alcántara y Luna-Vega (1997), Fernández y Colmenero (1997), López (1997), Luna (1997), García et al. (1998), Mayorga et al. (1998), Ramírez-Marcial et al. (1998), Ramírez (1999), Ramírez-Marcial et al. (inédito [1999]), Vázquez-García et al. (1999), Arellanes (2000), Mascarúa (2000), Medina et al. (2000), Ruiz-Jiménez et al. (2000), Vázquez (2000), Zarco (2000), Alcántara y Luna-Vega (2001), Blanco (2001), Diego-Pérez et al. (2001), Fonseca et al. (2001), Hernández (2001), Sánchez (2001), Acosta (2002), Cartujano et al. (2002), Cuevas (2002), Sánchez-Rodríguez (2002), Cornejo-Tenorio et al. (2003), Lozada et al. (2003), Mejía (2003), Osorio (2003), Reyes (2003), Sánchez-Rodríguez et al. (2003), Valdez et al. (2003), Ávila (2004), Catalán (2004), Escutia (2004), Martínez et al. (2004), Peterson et al. (2004), Quintos et al. (2004), Reynoso (2004), Sahagún (2004), Lorea (2005), Mendoza et al. (2005), Ruiz-Jiménez et al. (2005), Vargas (2005), Ávila (2006), Montalvo (2006), Ponce-Vargas et al. (2006), Santiago (2006), Vázquez et al. (2006), Rincón (2007), Ávila et al. (2008), Gallardo et al. (2008), García-Franco et al. (2008), García-Franco y Toledo (2008), Juárez (2008), Martínez-Meléndez et al. (2008), Padilla et al. (2008), Mehlreter (2008), Williams-Linera y López-Gómez (2008), Castillo-Campos y Luna (2009), y Saavedra-Millán (2009).

Cada localidad con BMM se consideró como 1 unidad geográfica operativa (UGO; Crovello, 1981); en el caso de localidades que contaran con 2 o más estudios, las especies se agruparon formando 1 sola UGO. En total, las UGO que se consideraron fueron 83.

Mediante técnicas de análisis multivariado (análisis de conglomerados) se establecieron las semejanzas florísticas entre las 83 UGO con ayuda del programa PC-ORD versión 5 (McCune y Mefford, 2006). Para tal análisis de agrupamiento se emplearon los índices de similitud de Sorensen (Bray-Curtis) y el de Jaccard, por la solidez de ambos. El índice de Sorensen (Bray-Curtis) considera el desequilibrio entre 0 y 1 (siempre con más 0 que 1); el de Jaccard es reco-

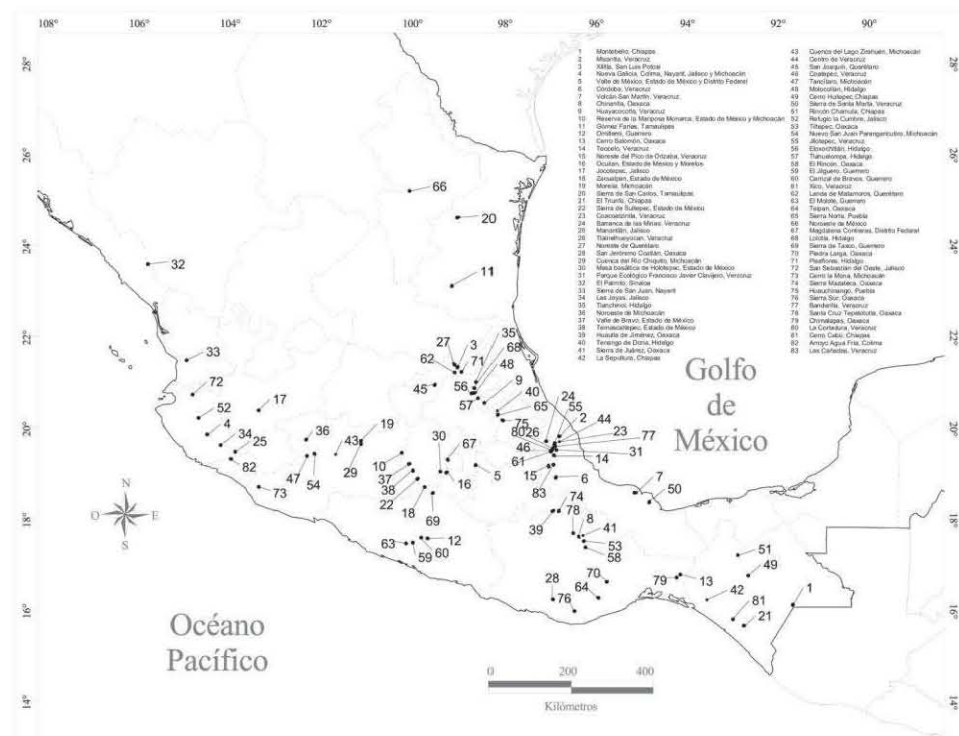


Figura 1. Ubicación geográfica de diferentes localidades del BMM en México.

mendable para analizar matrices binarias (J. L. Villaseñor, com. pers.). Los valores de semejanza obtenidos se utilizaron para construir un dendrograma mediante el método de promedio de grupo no ponderado, utilizando la media aritmética (UPGMA; McCune y Mefford, 2006). Con el programa ANUCLIM (Houlder et al., 2000) se generó el perfil bioclimático de los grupos identificados en el dendrograma, mediante el algoritmo BIOCLIM (Cuadro 2). Posteriormente, se elaboró una matriz de los grupos y se obtuvo el promedio de las variables bioclimáticas. Con el programa PC-ORD versión 5 (McCune y Mefford, 2006) se realizó una clasificación (*cluster analysis*) empleando la distancia euclidiana y como método de unión de grupo, el del promedio de grupo (UPGMA; McCune y Mefford, 2006). Los valores de semejanza obtenidos se utilizaron para construir un dendrograma. Finalmente, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) basado en la matriz de varianza/covarianza para obtener la ordenación

de los grupos y subgrupos e interpretar la importancia de las variables bioclimáticas.

Resultados

En la figura 1 se indica la ubicación geográfica de las 83 UGO de BMM consideradas en el estudio. El análisis de agrupamiento permitió identificar 13 grupos y subgrupos en los dendrogramas (Fig. 2). Los 13 grupos (A-M) se delimitaron considerando un valor de corte mínimo de 44.3% de la información remanente. Estos grupos corresponden, de manera general, a las provincias florísticas de México (*sensu* Rzedowski, 1978; Rzedowski y Trujillo, 1990) y a las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1998) (Cuadro 1).

El dendrograma generado con los índices de similitud muestra una topología general similar, las principales diferencias se presentan en la estructura interna de asociación

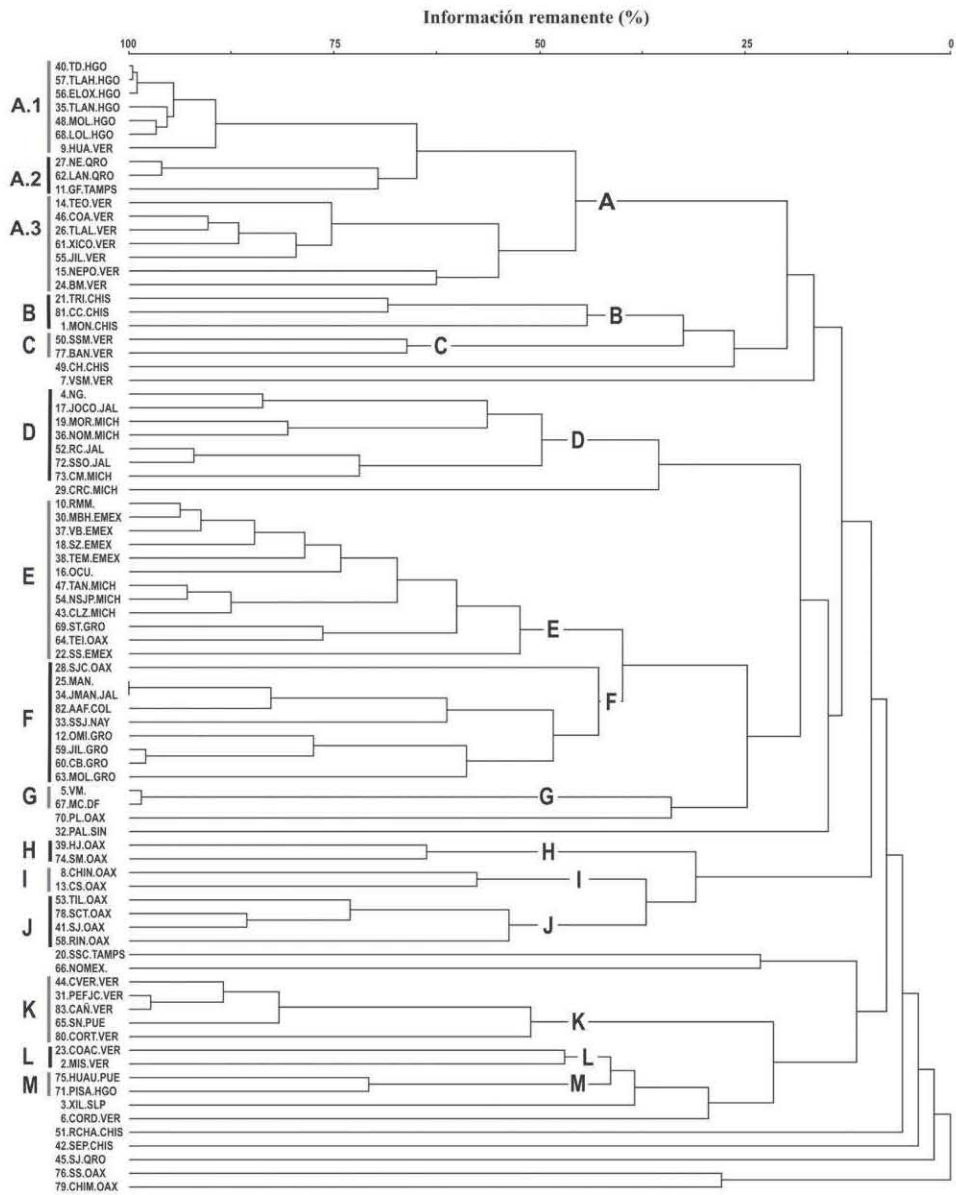


Figura 2. Dendrograma de la similitud florística de las 83 UGO de BMM mediante el índice de similitud de Sorensen (Bray-Curtis).

del grupo D y en que el dendrograma creado con el índice de Sorensen (Bray-Curtis; Fig. 2) presenta mayores porcentajes de similitud entre los grupos, que el obtenido con el índice de Jaccard.

El grupo A incluye los BMM de 2 provincias florísticas *sensu* Rzedowski (1978) y Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990): la Sierra Madre Oriental (en lo sucesivo SMO) y las Serranías Meridionales (SM) del centro de Veracruz. El grupo se subdividió en 3 subgrupos. El A1 (Fig. 3a), al centro de la SMO, incluye 6 BMM de Hidalgo y el de Huayacocotla, Veracruz (con 90% de similitud florística); el A2 (Fig. 3a), al norte de la SMO, incluye los BMM de Querétaro y el de Gómez Fariás, Tamaulipas (70% de similitud) y el subgrupo A3 (Fig. 3a), al sur de la SMO, que incluye 7 BMM del centro de Veracruz (55% de similitud) (Fig. 2).

Para cada grupo se seleccionaron las especies arbóreas representativas (Apéndice) con base en el índice de frecuencia (Braun-Blanquet, 1932); se consideraron exclusivamente las presentes en más del 60% de las UGO del grupo (clase IV, 61 a 80%; clase V, 81 a 100%).

El grupo A posee una alta diversidad florística en la sinusia arbórea, las especies representativas del grupo son: *Carpinus caroliniana*, *Liquidambar styraciflua*, *Sambucus nigra* var. *canadensis* y *Xylosma flexuosa*. Las especies diagnósticas del estrato arbóreo del subgrupo A1 se presentan en el Apéndice; de ellas, las inscritas en alguna categoría de riesgo para su conservación son: *C. caroliniana* y *Magnolia schiedeana* (amenazadas – A) y *Acer negundo* var. *mexicanum*, *Cyathea fulva*, *Ostrya virginiana* y *Podocarpus matudae* (sujetas a protección especial – Pr). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 17.1°C, precipitación anual de 2 385 mm, en un intervalo altitudinal de 730 a 2 500 m snm. (Cuadro 3).

En el subgrupo A2, dentro del estrato arbóreo representativo (Apéndice) se presentan las siguientes especies en categorías de riesgo: *C. caroliniana* y *M. schiedeana* (A), *Litsea glaucescens* y *M. dealbata* (en peligro de extinción – P), *Alsophila firma*, *O. virginiana* y *Taxus globosa* (sujetas a protección especial – Pr). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 20.7°C, precipitación anual de 1 048 mm, en un intervalo altitudinal de 600 a 2 650 m snm (Cuadro 3).

El subgrupo A3 presenta un estrato arbóreo variado (Apéndice), en él se encuentran las siguientes especies en alguna categoría de riesgo: *C. caroliniana* (A) y *L. glaucescens* (P). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 16.2°C, precipitación anual de 1 541 mm, en un intervalo altitudinal de 895 a 2 690 m snm (Cuadro 3).

El grupo B (Fig. 3b) está integrado por 3 bosques ubicados en el Soconusco y las Serranías Transistmicas

de Chiapas (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), con 45% de similitud florística. Las especies representativas del estrato arbóreo (Apéndice) incluidas en alguna categoría de riesgo son: *C. fulva* y *P. matudae* (Pr). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 17.9°C, precipitación anual de 1 861 mm, en un intervalo altitudinal de 1 000 a 2 980 m snm (Cuadro 3).

El grupo C (Fig. 3b) conjunta los BMM ubicados en Golfo de México, Sierra de Santa Martha y una localidad de la SMO, Banderilla, Veracruz (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990; Fig. 1), con 66% de similitud florística. Los árboles dominantes son: *C. caroliniana* (A), *A. firma*, *Cyathea bicrenata* y *Cyathea divergens* var. *tuerckheimii* (Pr). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 20.3°C, precipitación anual de 2 405 mm, en un intervalo altitudinal de 1 040 a 1 610 m snm (Cuadro 3).

El grupo D (Fig. 3d) incluye los bosques de Serranías Meridionales de Jalisco y Michoacán (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), con 50% de similitud florística. Los árboles más notables son *C. caroliniana* (A) y *Tilia americana* var. *mexicana* (P). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 18.9°C, precipitación anual de 1 102 mm, en un intervalo altitudinal que va de los 780 a 2 625 m snm (Cuadro 3).

El grupo E (Fig. 3c) integra los bosques de Serranías Meridionales en los estados de México, Guerrero, Michoacán, Morelos (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990) y una localidad de la Sierra Madre del Sur de Oaxaca (Fig. 2), con 53% de similitud florística. La especie arbórea predominante es *C. caroliniana* (A). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 13.6°C, precipitación anual de 999 mm, en un intervalo altitudinal que va de 1 000 a 2 950 m snm (Cuadro 3).

El grupo F (Fig. 3d) conjunta los bosques de Serranías Meridionales de Guerrero, Colima, Jalisco, Oaxaca y Nayarit (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990), con 43% de similitud florística. Los árboles representativos son *C. caroliniana* (A), *O. virginiana* (Pr), *Saurauia serrata* (Pr) y *Zinowiewia concinna* (P). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 22.3°C, precipitación anual de 1 318 mm, en un intervalo altitudinal de 775 a 2 900 m snm (Cuadro 3).

El grupo G (Fig. 3a) integra 2 bosques ubicados en Serranías Meridionales dentro de los límites del Valle de México (Iztaccíhuatl y Magdalena Contreras), con 99% de similitud florística. El árbol representativo del grupo, que está incluido en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), es *A. negundo* var. *mexicanum* (Pr). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura

Cuadro 3. Perfiles bioclimáticos de los grupos de árboles encontrados en este estudio. El número de la izquierda corresponde al parámetro enunciado en el Cuadro 1. Se ofrecen valores máximos y mínimos; entre paréntesis el promedio y la desviación estándar

	A1	A2	A3	B
1	13.5-21.8 (17.1±1.93)	15.1-23.4 (20.70±1.12)	10.9-20.6 (16.20±2.22)	10.9-21.9 (17.90±1.9)
2	9.6-13 (11.5±0.79)	10.3-16.3 (14.10±0.74)	8.7-12.6 (10.70±0.77)	8.4-15 (11.80±1.66)
3	0.55-0.63 (0.59±0.02)	0.55-0.62 (0.59±0.01)	0.57-0.68 (0.62±0.03)	0.61-0.76 (0.70±0.05)
4	0.57-1.11 (0.76±0.09)	0.79-1.23 (1.06±0.1)	0.49-0.84 (0.65±0.06)	0.27-0.55 (0.38±0.06)
5	22.8-32.6 (26.8±2.08)	25-35.4 (32.10±1.28)	19.6-29.3 (24.70±2.14)	20-30.7 (26±1.81)
6	4.6-10 (7.2±1.43)	5.1-10.6 (8.10±1.24)	2.1-11.3 (7.50±2.19)	-0.3-12.6 (9.30±2.55)
7	17.4-22.6 (19.6±1.1)	18.7-26.4 (23.90±0.96)	15.3-18.9 (17.30±0.71)	13.8-20.3 (16.80±1.44)
8	14-24.3 (18.4±2.25)	16.1-25.8 (23.10±1.12)	11.5-22.2 (17.30±2.49)	11.8-22.6 (18.50±1.86)
9	11.8-17.6 (14.7±1.42)	12-20.8 (17±1.68)	9.4-17.7 (14.20±1.81)	9.6-20.2 (16.90±1.92)
10	15.6-25.2 (19.5±2.07)	17.8-27.1 (23.90±1.22)	12.6-23 (18.20±2.35)	11.8-23.7 (19.10±2.06)
11	11.2-17.1 (14±1.53)	12-18.5 (16.20±1.12)	9-17.3 (13.50±1.95)	9.6-19.7 (16.30±1.75)
12	940-2385 (1569.4±317.1)	570-1589 (1048±188)	821-2110 (1541±205.61)	1089-2697 (1861±376.41)
13	48-143 (87.8±19.0)	30-104 (57±12.4)	43-102 (74±8.83)	53-117 (86±14.89)
14	0-12 (1.8±4.14)	(0)	0-16 (5±5.52)	(0)
15	68-85 (80.1±1.86)	76-97 (84±2.93)	62-80 (69±3.12)	66-96 (83±8.4)
16	469-1201 (798.2±159.72)	286-819 (543±83.93)	404-1060 (715±96.76)	521-1340 (922±195.69)
17	48-175 (109.0±28.7)	27-117 (64±13.52)	70-225 (148±21.8)	0-188 (65±51.66)
18	240-689 (426.3±102.09)	193-537 (401±50.05)	225-650 (440±78.52)	433-683 (549±41.85)
19	52-196 (123.4±33.43)	31-136 (70±17.37)	72-246 (159±23.8)	17-367 (99±99.18)
	C	D	E	F
1	17.1-22 (20.30±1.18)	14.5-23.9 (18.90±2.91)	13-14.5 (13.6±0.48)	14.6-26.9 (22.30±1.72)
2	7.7-9.9 (8±0.61)	11.8-19.9 (15.90±2.47)	13.2-16.1 (14.4±0.83)	10.6-16.8 (14±1.49)
3	0.52-0.6 (0.54±0.02)	0.59-0.7 (0.67±0.03)	0.66-0.69 (0.68±0.01)	0.63-0.75 (0.67±0.02)
4	0.6-0.67 (0.64±0.02)	0.36-0.81 (0.67±0.13)	0.52-0.63 (0.58±0.03)	0.25-0.85 (0.52±0.11)
5	25.1-30.3 (28.20±1.19)	26.1-33.8 (30.70±1.94)	22.7-25.6 (23.8±0.91)	21.8-39.3 (32.60±2.3)
6	9-14.9 (13.40±1.58)	2.3-14.7 (6.80±4.03)	2.1-3.1 (2.5±0.25)	7.5-14.9 (11.60±1.97)
7	14.1-16.6 (14.90±0.58)	17.2-28.4 (23.90±3.33)	19.9-23.5 (21.3±1.08)	14.3-26.1 (21.10±2.5)
8	18.3-23.2 (21.50±1.18)	16.2-24.9 (20.30±2.89)	13.7-15.7 (14.6±0.61)	14.6-28.3 (23.10±1.87)
9	15-22.8 (20.80±2.1)	13.6-23 (18.30±3.02)	10.7-12 (11.3±0.41)	13.8-26.9 (21.90±2.02)
10	19.2-24.1 (22.30±1.18)	17.3-25.3 (21.10±2.54)	14.8-16.4 (15.5±0.52)	15.6-29.3 (24.10±1.85)
11	14.4-19.1 (17.60±1.17)	11.4-22.1 (16.20±3.26)	10.7-11.9 (11.2±0.36)	13.7-23.8 (20.20±1.66)
12	1530-2743 (2405±323.48)	800-1296 (1102±160.1)	847-1085 (999±85.06)	720-1693 (1318±168.8)
13	71-115 (98±10.81)	47-84 (67±11.76)	42-60 (53±7.26)	44-100 (75±10.4)
14	0-11 (1±3.46)	(0)	(0)	(0)
15	66-70 (68±1.67)	99-115 (106±4.14)	90-99 (95±3.55)	95-120 (105±5.1)
16	691-1305 (1115±159.99)	506-866 (714±118.14)	480-663 (592±69.86)	469-1056 (820±104.56)
17	138-170 (156±6.88)	0-30 (7±12.15)	27-38 (33±3.04)	0-38 (11±14.74)
18	460-655 (577±52.74)	240-700 (429±171.67)	260-311 (297±13.81)	191-801 (419±127.22)
19	164-350 (306±52.46)	32-65 (47±12.59)	27-38 (33±3.1)	12-104 (51±14.58)

Cuadro 3. Continúa

	G	H	I	J
1	13-14.5 (13.6±0.48)	13.3-21.9 (15.80±2.33)	15.1-20.7 (18.20±1.36)	12.2-20 (17.60±2.28)
2	13.2-16.1 (14.4±0.83)	10.6-13.3 (11.50±0.56)	10.6-13.2 (12.20±0.68)	9.2-13.3 (12.10±0.84)
3	0.66-0.69 (0.68±0.01)	0.61-0.69 (0.65±0.03)	0.61-0.66 (0.63±0.01)	0.57-0.68 (0.63±0.02)
4	0.52-0.63 (0.58±0.03)	0.39-0.71 (0.52±0.09)	0.48-0.65 (0.58±0.05)	0.41-0.69 (0.58±0.07)
5	22.7-25.6 (23.8±0.91)	21.8-32.6 (25.10±2.58)	25.1-29.7 (28.20±1.32)	21.2-30.4 (27.50±2.54)
6	2.1-3.1 (2.5±0.25)	6-11.7 (7.40±1.82)	6.3-12.5 (8.90±1.45)	5.2-11.1 (8.40±1.68)
7	19.9-23.5 (21.3±1.08)	15.9-20.9 (17.70±0.97)	16.3-21 (19.30±1.29)	16-21 (19.10±1.32)
8	13.7-15.7 (14.6±0.61)	13.4-23 (16.20±2.63)	15.2-22 (18.80±1.66)	12-21.1 (18±2.61)
9	10.7-12 (11.3±0.41)	13.3-21 (15.60±2.13)	15-19.9 (17.50±1.14)	12.4-19.1 (16.90±1.89)
10	14.8-16.4 (15.5±0.52)	14.9-24.4 (17.80±2.55)	17.2-22.3 (20.30±1.35)	14-22.4 (19.80±2.41)
11	10.7-11.9 (11.2±0.36)	12-19 (13.80±1.9)	13.5-18.5 (16±1.15)	11-17.6 (15.40±1.87)
12	847-1085 (999±85.06)	1290-2653 (1639±399.74)	1329-2127 (1692±179.64)	1266-2732 (1661±329.55)
13	42-60 (53±7.26)	69-139 (87±21.34)	62-99 (80±8.88)	60-120 (78±13.97)
14	(0)	(0)	(0)	0-10 (0±1.17)
15	90-99 (95±3.55)	84-93 (88±1.94)	78-87 (84±2.49)	75-88 (84±3.14)
16	480-663 (592±69.86)	732-1476 (923±225.08)	682-1110 (902±101.44)	682-1355 (883±153.43)
17	27-38 (33±3.04)	55-131 (73±19.67)	60-108 (75±11.3)	50-172 (77±27.57)
18	260-311 (297±13.81)	204-580 (288±103.82)	181-512 (314±95.8)	148-621 (288±120.61)
19	27-38 (33±3.1)	85-219 (123±35.36)	96-186 (133±18.05)	88-262 (134±40.61)
	K	L	M	
1	13-19.3 (17.50±1.62)	13.4-23.1 (18.50±2.14)	14.1-22.3 (16.10±2.7)	
2	8.4-13.6 (11.40±1.1)	8.1-10 (9.10±0.52)	11-14 (12.20±0.82)	
3	0.57-0.66 (0.61±0.02)	0.55-0.59 (0.57±0.01)	0.57-0.64 (0.60±0.02)	
4	0.59-0.92 (0.70±0.08)	0.61-0.94 (0.74±0.09)	0.64-1.15 (0.76±0.15)	
5	22.6-28.2 (26.60±1.55)	21.7-31.4 (26.20±2.23)	23.7-34 (25.90±3.32)	
6	2.4-10.1 (8±2.06)	6.2-13.7 (10.30±1.54)	3.7-9.7 (5.60±2.12)	
7	14.6-20.9 (18.60±1.6)	14.5-17.7 (15.90±0.84)	19.2-24.3 (20.30±1.44)	
8	13.8-20.7 (18.90±1.78)	14.1-25.3 (20±2.53)	15-24.8 (17.50±3.17)	
9	10.9-16.7 (15.30±1.25)	14.5-23.4 (16.80±1.37)	12.2-18.6 (14±2.25)	
10	15-21.4 (19.70±1.63)	15.4-25.8 (20.70±2.31)	16.4-25.8 (18.60±3.07)	
11	10.6-16.4 (14.60±1.53)	11-19.1 (15.40±1.77)	11.6-17.5 (13±2.02)	
12	602-1982 (1705±297.5)	1389-1787 (1659±83)	1292-2156 (1679±260.37)	
13	33-93 (81±12.57)	58-86 (80±5.22)	69-98 (82±9.57)	
14	0-11 (6±5.37)	0-15 (11±4.21)	(0)	
15	67-100 (76±7.37)	49-69 (62±4.17)	79-82 (80±0.93)	
16	265-1059 (852±166.81)	557-788 (733±44.37)	657-1145 (874±146.79)	
17	26-172 (136±31.29)	152-208 (180±12.2)	84-150 (115±20.09)	
18	183-640 (507±109.9)	367-521 (456±40.68)	326-644 (440±99.36)	
19	39-208 (147±32.22)	176-234 (204±12.87)	97-163 (130±20.98)	

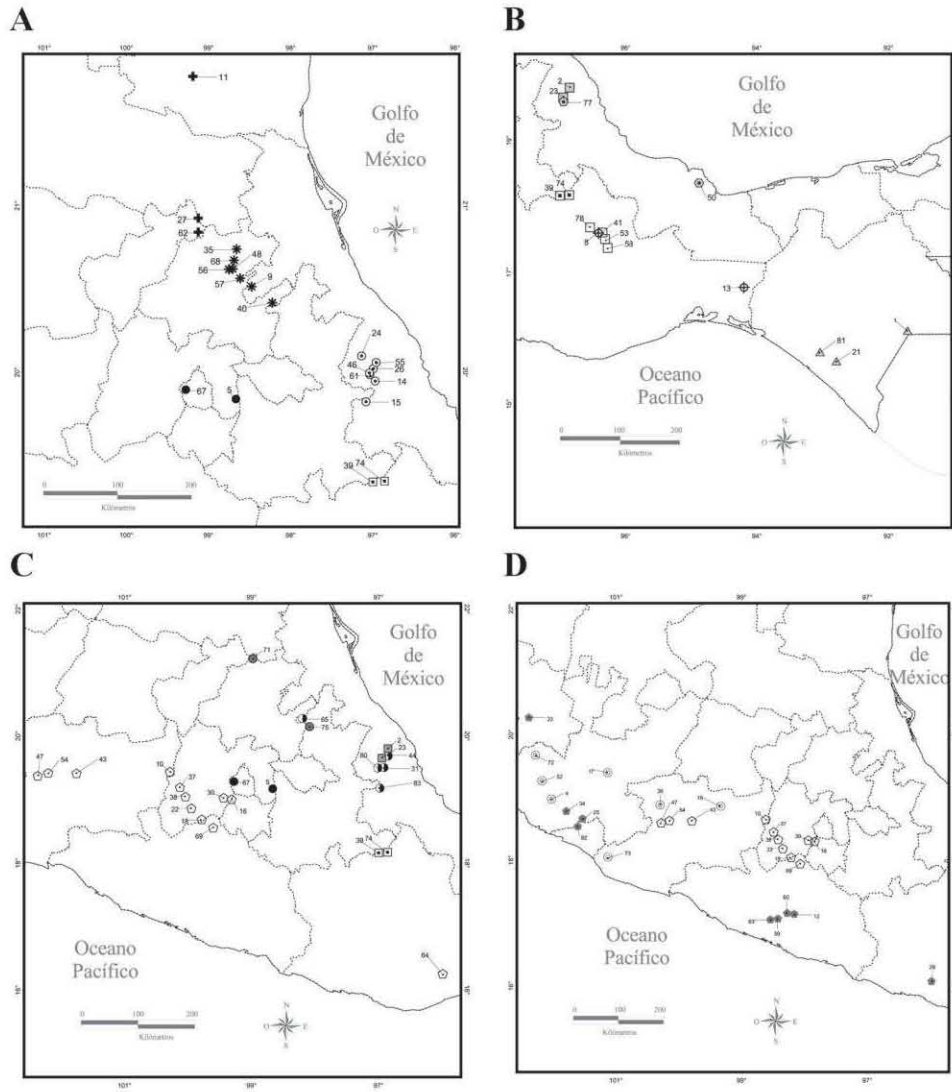


Figura 3. Ubicación geográfica de los grupos y subgrupos florísticos del BMM. a) Grupos: A1, *, A2, +, A3, G, •, H, □. b) Grupos: B, ⊙, C, △, H, □, I, ⊕, J, □, L, □. c) Grupos: E, ⊙, G, •, H, □, K, ⊙, L, □, M, ⊙. d) Grupos: D, ⊙, E, ⊙, F, ⊙.

promedio anual de 13.6° C, precipitación anual de 999 mm, en un intervalo altitudinal de 2 500 a 3 135 m snm (Cuadro 3).

Los grupos H, I y J reúnen los bosques de Serranías Meridionales de Oaxaca y de Valle de Tehuacán (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Reyna-Trujillo, 1990); el grupo H (Fig. 3b) conjunta los de Sierra Mazateca, con 64% de similitud florística; el grupo I (Fig. 3b), agrupa los bosques de la Chinantla y del Cerro Salomón en los Chimalapas, con 58% de similitud florística; el grupo J (Fig. 3b) incluye los bosques de la parte norte de Oaxaca, con 54% de similitud florística. Los árboles representativos en categorías de riesgo del grupo H son *M. schiedeana* (A), *C. fulva* y *P. matudae* (Pr). Los bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 15.8° C, precipitación anual de 1 639 mm, en un intervalo altitudinal que va de los 1 090 a 2 690 m snm (Cuadro 3).

El árbol representativo para los grupos I y J, que está en las listas de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) es *C. caroliniana* (A). Los bosques del grupo I, se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 18.2° C, precipitación anual de 1 692 mm y un intervalo altitudinal que va de 1 420 a 2 240 m snm (Cuadro 3). Los bosques del grupo J se ubican en áreas con temperatura promedio anual de 17.6° C, precipitación anual de 1 661 mm, en un intervalo altitudinal de 985 a 2 590 m snm (Cuadro 3).

El grupo K (Fig. 3c) lo integran 4 bosques ubicados en la SMO, en el centro de Veracruz, y 1 en la Sierra Norte de Puebla, con 51% de similitud florística. El árbol representativo de este grupo está en las listas de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) y es *M. schiedeana* (A). Estos bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 17.5° C, precipitación anual de 1 705 mm, en un intervalo altitudinal de 1 100 a 2 340 m snm (Cuadro 3).

El grupo L (Fig. 3b) incluye 2 bosques ubicados en la SMO de Veracruz, con 47% de similitud florística. Los árboles representativos son *Alchornea latifolia* y *Trichilia havanensis* (Apéndice). Estos bosques se distribuyen en áreas con temperatura promedio anual de 18.5° C, precipitación anual de 1 659 mm, en un intervalo altitudinal de 700 a 2 100 m snm (Cuadro 3).

Finalmente, el grupo M (Fig. 3c) une 2 BMM de la SMO, Huauchinango, Puebla y el de Pisaflores, Hidalgo, con 71% de similitud florística. Los árboles representativos son *Clethra mexicana*, *C. pringlei* y *Prunus brachybotrya* (Apéndice). Los bosques se distribuyen en áreas con una temperatura promedio anual 16.1° C, precipitación anual de 1 679 mm, en un intervalo altitudinal de 850 a 2 100 m snm (Cuadro 3).

Los perfiles bioclimáticos de cada grupo (Cuadro 3) indican los valores máximos, mínimos, promedio y desviación estándar de los 19 parámetros bioclimáticos obtenidos con el programa BIOCLIM.

El dendrograma de similitud bioclimática entre los grupos y subgrupos (Fig. 4), resultado del análisis de agrupamiento (*cluster analysis*), muestra 3 conjuntos bioclimáticos.

En el conjunto 1 se unen 9 grupos y subgrupos, que se distribuyen desde la parte central y sur de la SMO, este de la Faja Volcánica Transmexicana (en lo sucesivo FVT), la Sierra Norte de Oaxaca y hasta los bosques de la Sierra Madre y meseta central de Chiapas. (Figs. 1, 3).

El conjunto 2 se integra con 6 grupos y subgrupos, distribuidos al norte de la SMO, centro y oeste de la FVT, la Planicie Costera del Noroeste y los bosques de la Sierra Madre del Sur; (Figs. 1, 3).

El conjunto C (Fig. 4) corresponde al grupo C que incluye 2 bosques ubicados en la planicie costera del Golfo de México y en la parte este de la FVT (Figs. 1, 3).

La ordenación por componentes principales (Fig. 5) explica el 42.07% de la varianza acumulada entre los 2 primeros ejes (1= 27.66, 2= 14.41). El análisis indica que la estacionalidad de la temperatura (4.ET) es el factor más importante, explica la variación a lo largo del eje de ordenación 1 ($r = -0.794$), seguido por la temperatura máxima promedio del periodo más cálido (5.TMPPC, $r = -0.475$) y la temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (8.TPCLL, $r = -0.471$). Para el eje 2, las principales variables bioclimáticas fueron la precipitación del periodo más lluvioso (13.PPLL, $r = -0.465$), la estacionalidad de la temperatura (4.ET, $r = 0.332$) y la precipitación del cuatrimestre más lluvioso (16.PCLL, $r = -0.282$).

En el lado izquierdo del eje 1 del espacio de ordenación se separa el subgrupo A2 que se ubica al norte de la SMO; en la parte inferior del eje 2 se separa el subgrupo A1 y el grupo B ubicados al centro de la SMO y en Chiapas, respectivamente. Finalmente, de forma general los vectores obtenidos muestran gradientes de temperatura y de precipitación hacia la parte izquierda y derecha del espacio de ordenación.

Discusión

En los últimos 25 años, se han realizado estudios para establecer la similitud florística y generar hipótesis de la relación entre fragmentos de BMM que están ubicados en las provincias florísticas de México. Estos trabajos han empleado índices de similitud (Puig, 1983; Luna-Vega et al., 1988; Luna-Vega et al., 1989; Puig, 1989; Fragoso, 1990; López, 1995; Acosta, 1997; Alcántara y Luna-

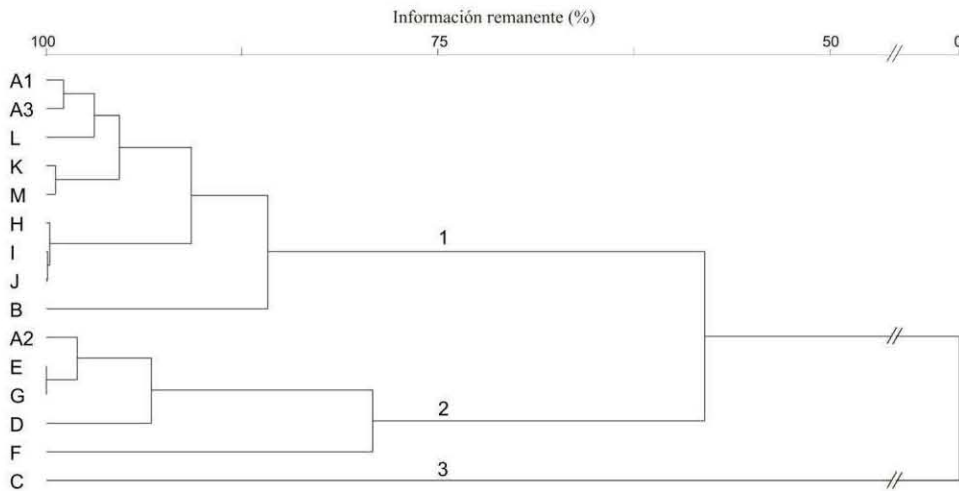


Figura 4. Dendrograma de la similitud bioclimática de los grupos y subgrupos de BMM mediante la distancia euclídeana.

Vega, 1997), análisis numéricos (Vázquez-García, 1993; Ramírez-Marcial, 2001 y Acosta, 2004) y análisis biogeográficos (Luna-Vega et al., 1999; Luna-Vega et al., 2000 y Luna-Vega et al., 2001).

La información que se tiene de este tipo de vegetación es difícil de interpretar y generalizar, debido a la variabilidad fisonómica y estructural del BMM en las provincias florísticas del país. Esta heterogeneidad se atribuye a que las zonas de México donde se desarrolla constituyen una compleja matriz de variables ambientales como la altitud, suelo y clima; aunando a ello, su historia biogeográfica, que a su vez interactúa con las particularidades locales, como la orientación, la pendiente, la altitud, la latitud, la nubosidad y la humedad del aire y del suelo, para constituir un tipo de vegetación complejo (Ruiz-Jiménez, 1995; Ruiz-Jiménez et al., 2000). Aun en la misma localidad se pueden presentar diferencias espaciales en la distribución de las especies que incrementan la heterogeneidad florística, fisonómica y estructural del bosque (Miranda y Sharp, 1950; Puig, 1974; Rzedowski, 1978).

En este estudio se consideraron 83 localidades con BMM que incluyen 2 856 especies de plantas vasculares; las cuales se compararon mediante técnicas estadísticas de análisis multivariado de clasificación y ordenación, para simplificar y reducir conjuntos complejos de datos de la vegetación a través de la generación de modelos sobre las relaciones entre las especies, la vegetación y el ambiente (McCune y Grace, 2002; Sánchez-González y López-Mata, 2003).

La clasificación de los BMM de México mediante el análisis de agrupamiento permitió determinar grupos y subgrupos en el dendrograma; el nivel de corte tomó en cuenta un compromiso entre la pérdida de información y la simplificación de un número de unidades de vegetación interpretables desde el punto de vista natural (McCune y Grace, 2002).

De manera general, el dendrograma presenta un arreglo de las localidades del BMM de acuerdo con su similitud florística, que corresponde con la ubicación geográfica conforme a las provincias florísticas (Rzedowski, 1978; Rzedowski y Trujillo, 1990) o las subprovincias geológicas (Ferrusquía-Villafranca, 1998) a las que pertenecen. Asimismo, el dendrograma muestra grupos conformados por localidades de BMM cercanas entre sí y otros conjuntos formados por bosques de diferentes provincias florísticas (Fig. 2).

Normalmente, las localidades más cercanas entre sí presentan mayor semejanza en su composición florística y conforme se incrementa la distancia entre ellas, disminuye el número de especies compartidas (Puig et al., 1983; Puig, 1989). En este estudio se corroboró que las localidades de BMM muestran mayor similitud florística con áreas fisiográficas contiguas sólo si se ubican en zonas que tienen condiciones climáticas similares (Luna-Vega et al., 1988).

Sin embargo, existen localidades cercanas que pueden presentar diferencias en su composición florística y tener

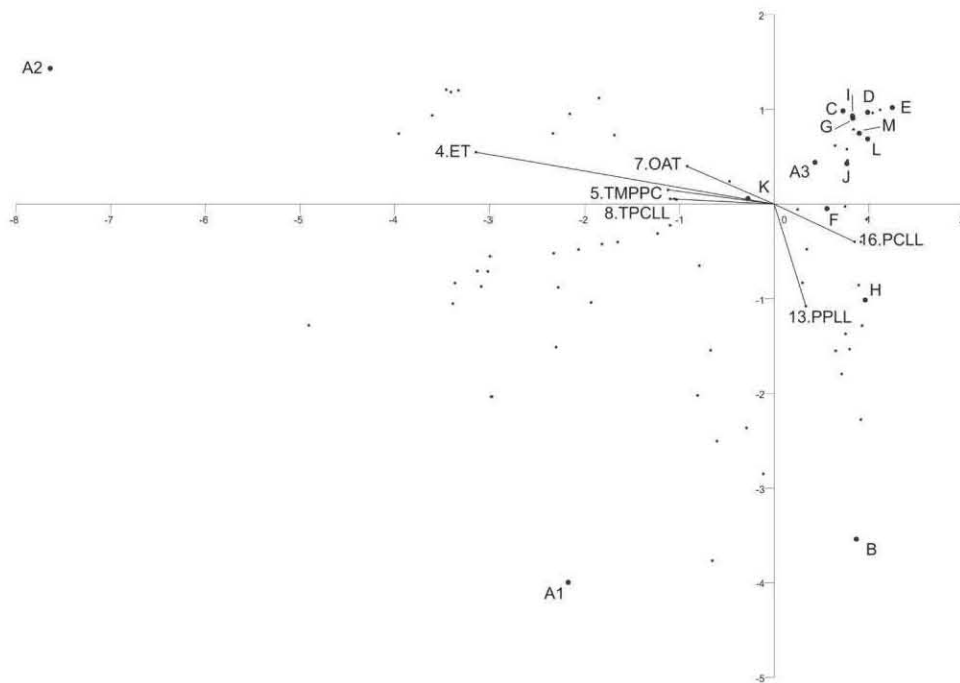


Figura 5. Ordenación mediante análisis de componentes principales de los BMM de México. Se explica el 42.07% de varianza acumulada. a) Grupos y subgrupos de A-M; vectores, sólo las variables bioclimáticas más importantes.

valores de similitud bajos, de manera que en los dendrogramas forman grupos con bosques de diferentes provincias florísticas. Debe considerarse que las diferencias en la riqueza específica para cada una de las localidades analizadas puede estar influida por factores, ambientales, históricos, de disturbio antropogénico y metodológicos.

Las diferencias bioclimáticas de precipitación y temperatura entre localidades pueden dar, como consecuencia, baja semejanza florística entre ellas; las diferencias bioclimáticas significativas entre las localidades son suficientes para que exista una diferenciación biogeográfica que aumente las tasas de especiación por vicarianza. Entre los aspectos metodológicos se pueden considerar el tipo de muestreo empleado, los criterios de delimitación de la zona de estudio, los esfuerzos de recolección y muestreo, y el tamaño del área (Sánchez, 2004).

La composición florística de una zona se debe a los procesos que ocurren a escala local y regional (Ohmann y Spies, 1988), mientras que la diversidad biológica de una región es el resultado de la interacción entre los factores

que favorecen la aparición de nuevos fenotipos y facilitan su acumulación durante un tiempo geológico amplio.

El análisis comparativo con otros estudios en los que se han empleado índices de similitud muestra que el grupo A incluye la mayoría de los bosques de la SMO considerados en este estudio (Fig. 2). El grupo se dividió en 3 subgrupos de acuerdo con su ubicación geográfica dentro de la sierra (centro, norte y Veracruz, A1, A2 y A3, respectivamente). El agrupamiento coincide con los resultados de otros estudios florísticos y estructurales realizados en la SMO. Puig y Bracho (1983) y Puig (1989) indican que los valores de similitud florística en géneros y especies del BMM de Gómez Farías, Tamaulipas son mayores que los de otros bosques del centro y norte de la SMO (Huayacocotla, Tlanchinol y Xilitla). Alcántara y Luna-Vega (1997) comparan la composición florística del BMM de Tenango de Doria (Hidalgo) y encuentran la mayor similitud florística con los bosques del centro de la SMO (Tlanchinol, Helechales y Hayacocotla). La similitud disminuye con los bosques más lejanos y los de otras provincias florísticas (Sierra de San Carlos y Montebe-

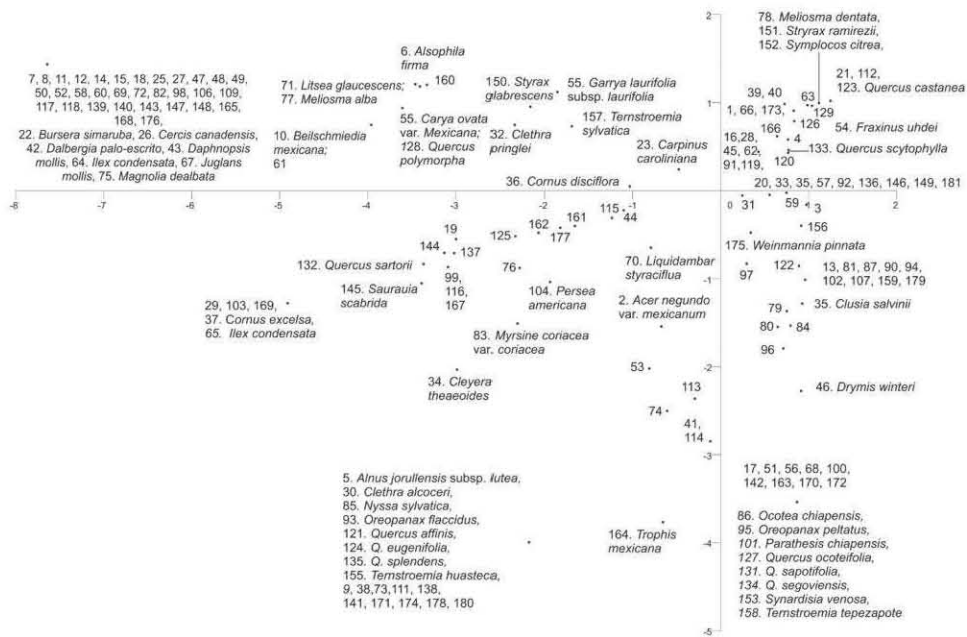


Figura 5. b) Especies +.

llo, Chiapas). El subgrupo A1 coincide con los resultados de Acosta (2004), en el que compara la composición florística en el nivel de género de varios BMM del nordeste, centro y sur de México y encuentra que los bosques de Hidalgo son más afines entre sí.

En el subgrupo A3, que está formado por la mayoría de los BMM de Veracruz que se incluyen en este estudio, se agrupa el bosque de Teocelo donde Luna-Véga et al. (1988) estudiaron la composición florística y realizaron la comparación de ésta con la de otras localidades del país mediante el índice de Sorensen; encontraron que la mayor similitud la presenta en el nivel de géneros con un BMM del centro de Veracruz, seguido por un bosque de Chiapas. Los resultados de este estudio coinciden de manera general con los de Luna-Véga et al. (1988) y con la relación de los grupos B y C constituidos por BMM de los estados de Chiapas y de Veracruz, respectivamente (Fig. 2). La topología general de los subgrupos A1, A2 y A3 es similar a la que encontró Acosta (2004) para los BMM de la SMO.

El grupo E, que forman los BMM de la FVT, se divide de manera general en 2 subgrupos, el del centro y el del oeste (Figs. 2, 3), división que coincide con los resultados de López (1995), que compara diversas localidades de

BMM de la FVT del Estado de México mediante el índice de similitud de Sorensen y elabora un dendrograma que evidencia la similitud del bosque de Valle de Bravo y el de la mesa de Holotepec, esta similitud disminuye con los bosques de la Sierra de Zacualpan, las Cañadas de Ocuilan y la Sierra de Sultepec. Es necesario destacar que a pesar de que en este grupo se consideran localidades de la misma provincia florística (Rzedowski, 1978), la cercanía geográfica no asegura la mayor similitud entre los bosques, ya que existe una gran influencia climática tropical de provincias cercanas que influyen en la composición florística y las condiciones ecológicas relacionan estas localidades con la cuenca del Balsas (López, 1995). Así también, el grupo E concuerda con los resultados del estudio de Frago (1990) en el que el BMM de la Sierra de Zacualpan presenta la mayor similitud florística con el bosque de Ocuilan.

La división del grupo E en subgrupos con mayor similitud florística y geográficamente distribuidos dentro de la FVT (Figs. 2, 3), se apoya con los resultados de Luna-Véga et al. (1989), quienes comparan el bosque de Ocuilan con otras localidades y encuentran la mayor semejanza en su composición florística con bosques cercanos de la misma

provincia y ésta disminuye conforme aumenta la distancia entre ellos (Tepoztlán, Tancitaro y la vertiente oeste del Iztaccihuatl, respectivamente). En el estudio de los BMM del noreste, centro y sur de México, Acosta (2004) muestra un conjunto de bosques de la FVT que presentan este comportamiento (Sultepec, Ocuilan y Valle de México).

De manera general para la FVT, es claro que las localidades más cercanas tienen mayor similitud florística; sin embargo, las contiguas con condiciones ecológicas diferentes o que presentan influencia climática de otras provincias florísticas colindantes pueden presentar altos valores en el índice de similitud (Luna-Vega et al., 1988; Luna-Vega et al., 1989; López, 1995).

El grupo F conjunta los BMM de las Serranías Meridionales del oeste de la FVT, de la Sierra Madre del Sur (en lo sucesivo SMS) y la Planicie Costera del Noroeste (PCN); en el dendrograma (Fig. 2) se observa que los BMM de la SMS de Oaxaca dentro de los grupos E y F se agrupan con los bosques de la FVT y posteriormente con los de la SMO. Esta relación coincide parcialmente con el estudio de Acosta (1997), quien comparó la afinidad genérica del BMM de Pluma Hidalgo, Oaxaca con otros bosques del país mediante el índice de similitud de Sorensen. La mayor similitud la encontró con el bosque de Teocelo (Luna-Vega et al., 1988), seguido por el bosque de la Sierra Madre del Sur de Guerrero (Lorenzo et al., 1983) y el de Gómez Farias, Tamaulipas (Puig, 1989). Acosta (2004) también encontró la misma relación al analizar los BMM del noreste, centro y sur del país.

El grupo I conjunta Bosques de la Chinantla y Cerro Salomón, dos sitios de las serranías meridionales de Oaxaca pero de diferentes vertientes y provincias geológicas; el primero se considera un relicto del Terciario, el otro como bosque del tipo *elfin forest*. Ambos se desarrollan en condiciones ambientales similares de humedad y en condiciones ecológicas particulares. Este grupo también lo obtiene Acosta (2004) en su estudio de los BMM del nordeste, centro y sur del país.

Los grupos D, J, K, L y M no presentan coincidencias con la mayoría de los estudios donde se han empleado índices de similitud, análisis numéricos y biogeográficos, debido a que la mayoría de las localidades que aquí se consideran no se incluyeron en análisis previos.

En los trabajos de Vázquez-García (1993) y Ramírez-Marcial (2001) se utilizaron análisis de ordenación para comparar la relación de los BMM de México con los bosques de Centroamérica y de manera general obtuvieron resultados similares: agrupaciones de bosques de acuerdo con la vertiente en la que se ubican (del golfo o del Pacífico), bosques relacionados florísticamente con Centroamérica y otros aislados por su diversidad y altitud particulares. Comparando tales resultados con los del presente estudio, se

observa que existen coincidencias en las agrupaciones por vertiente y por provincias florísticas (Figs. 2, 3).

Al comparar los resultados del presente estudio con los de Luna-Vega et al. (1999), quienes analizan las relaciones históricas del BMM de México mediante un análisis de parsimonia de endemismos, se presentan coincidencias generales entre los grupos y los clados (subgrupo A1 y clado E que incluye Huautla de Jiménez) y parciales (subgrupo A2 y clado B, grupo B y C con el clado A). Además, las UGO comprendidas en algunos grupos (E y F) están incluidas en ciertos clados (D y C). De este modo existen coincidencias en la constitución de los grupos o clados que conforman las provincias florísticas.

Es posible aseverar que conforme se genera más información acerca del BMM de México, los estudios de similitud refuerzan las hipótesis de relación entre los manchones de este bosque en las provincias florísticas; si se considera un mayor número de localidades en los análisis, se corrobora la semejanza de la composición florística en las localidades geográficamente más cercanas entre sí; no obstante, las diferencias en los resultados para ciertas regiones dependen del progreso en las listas de las áreas que se comparan, por lo que sólo cuando se cuente con listas florísticas terminadas se podrán dar interpretaciones suficientes (Puig y Bracho, 1983; Puig, 1989; Luna-Vega et al., 1988).

En todos los estudios que se han realizado es evidente la presencia de grupos naturales y grupos heterogéneos cuyas relaciones de afinidad contradictoria ponen de manifiesto la necesidad de seguir realizando estudios dentro de esta comunidad vegetal particular, de gran importancia y vulnerabilidad (Puig et al., 1983; Luna-Vega et al., 1988; Acosta, 1997, 2004).

Los valores altos de similitud en la composición florística y en los parámetros bioclimáticos, y las condiciones fisiográficas entre las localidades cercanas, sugieren la posibilidad de que en la antigüedad los bosques formaban parte de uno solo (Puig y Bracho, 1983; Puig, 1989; Luna-Vega et al., 1988). Además, la semejanza puede deberse a que todos han pasado por los mismos acontecimientos históricos y climáticos, constituyendo floras similares en origen y evolución (Luna-Vega et al., 1988).

Las fluctuaciones climáticas y los cambios fisiográficos del Pleistoceno, pudieron haber contribuido a la diversificación de la flora de México, aunque ésta ya estaba establecida desde el Terciario medio (Rzedowski, 1991); los cambios climáticos del Neogeno y del Pleistoceno provocaron extinciones locales y nuevas invasiones de taxa, principalmente en el sur del país a partir de refugios florísticos (Toledo, 1982).

El clima y la ubicación geográfica de México son los factores que determinan la composición florística regio-

nal y la distribución general de los BMM. El cambio en la composición florística entre las localidades se presenta conforme aumenta la distancia entre ellas, debido a las condiciones ambientales locales (Vázquez-García, 1993). Estos patrones deben tomarse en cuenta cuando se establecen áreas naturales protegidas, y es importante que en su delimitación se incluya una área representativa de este tipo de vegetación en la zona.

Asimismo, la composición florística de los BMM cercanos puede modificarse debido al disturbio antropogénico de bajo y alto impacto; los primeros consideran la extracción selectiva de especies comerciales, leña, productos no maderables (helechos, orquídeas y palmas) y el pastoreo; los del segundo rubro implican el cambio de uso de suelo para establecer áreas agrícolas, ganaderas, urbanas que provocan la fragmentación y destrucción del BMM (Challenger, 1998). Sin embargo, los disturbios antropogénicos pueden tener efectos positivos en la composición florística de una región al ocasionar la hibridación de especies silvestres y domesticadas o efectos negativos que determinan su desaparición (Bye, 1993).

En lo que se refiere al análisis de clasificación bioclimática de los grupos y subgrupos, se conformaron conjuntos que en general presentan una distribución en la vertiente del Golfo y la parte sur de la vertiente del Pacífico (conjunto 1, Fig. 4) y en la parte norte de la vertiente del Golfo, la FVT y la vertiente del Pacífico (conjunto 2, Fig. 4).

Es probable que la similitud bioclimática del conjunto 1 se deba a la influencia que reciben las provincias florísticas o las subprovincias geológicas donde se ubican las localidades de BMM que conforman estos grupos y subgrupos, de los sistemas meteorológicos estacionales que a continuación se describen.

En verano o temporada de lluvias (mayo a octubre) dominan los sistemas tropicales y de vientos que incluyen los alisios del hemisferio norte con dirección noreste o suroeste, que toman la humedad de las aguas cálidas del Golfo de México y se cargan de humedad causando lluvias torrenciales (Soto y Gama, 1997; Soto, 2004; Trejo, 2004). La cantidad de humedad que se vierte en las sierras depende del grado de exposición, la profundidad de los vientos y las dimensiones de dichas cadenas montañosas.

En esta misma época o a finales del verano y principios del otoño se presentan perturbaciones tropicales, los denominados ciclones, que se forman en aguas tropicales cálidas y avanzan hacia ambas vertientes del territorio mexicano (Soto y Gama, 1997; Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004; Soto, 2004; Trejo, 2004).

De noviembre a febrero (o hasta abril), en la época seca, se presentan los "nortes" que son masas de aire frío continental provenientes del sur de Canadá y del norte de Estados Unidos de América, que al pasar sobre el golfo

de México se llenan de humedad y ocasionan el aumento de la precipitación, descensos rápidos en la temperatura y vientos fríos y húmedos dominantes del norte y noreste de hasta 100 km/h (Rzedowski, 1978; Soto y Gama, 1997; Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004; Soto, 2004; Trejo, 2004).

La distribución del BMM de México es la más septentrional en el mundo, debido a lo cual las condiciones climáticas son marcadamente estacionales (Challenger, 1998), la disminución estacional de las lluvias se compensa en la vegetación por la presencia de niebla (Stadtmüller, 1987); sin embargo, la temperatura muestra estacionalidad, se pueden presentar heladas en los meses más fríos y de manera esporádica en zonas de menor altitud (Rzedowski, 1978).

En el análisis de ordenación, el factor más importante para explicar la distribución de los grupos y subgrupos fue la estacionalidad de la temperatura; presentó los valores más heterogéneos para los subgrupos A1 y A2, y los más homogéneos para el grupo B, haciendo evidente su separación en el espacio de ordenación. Esta separación refuerza la hipótesis biogeográfica que considera que algunas de las provincias florísticas de México no constituyen unidades naturales (Luna et al., 1999), particularmente para la SMO (subgrupos A1 y A2), las Serranías transistimicas y el Soconusco (grupo B).

Los resultados de esta investigación muestran que conforme se incrementa el conocimiento de este tipo de vegetación se apoyan las hipótesis sobre la relación entre las provincias florísticas, y se confirma que el BMM de México es el tipo de vegetación con mayor riqueza florística del país. Su distribución fragmentaria en una superficie menor al 1% del territorio nacional, su situación de vulnerabilidad ante el cambio de uso de suelo para establecer áreas agrícolas y ganaderas, y el cambio climático hacen urgente la promoción de estrategias de conservación encaminadas a la protección y restauración ecológica de esta comunidad vegetal orientadas a su manejo sustentable.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto de tesis doctoral del primer autor y fue posible realizarlo gracias al apoyo económico de la beca otorgada por el CONACYT (Reg. 186230). Agradecemos al posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por haberme dado la oportunidad de cursar mis estudios de Doctorado en esta institución. Agradecemos el apoyo financiero del proyecto DGAPA-PAPIIT IN221711. Agradecemos a Dafne Saavedra Millán, Martha Martínez Gordillo, Hugo López Rosas y José de Jesús Saavedra Romero, por sus valiosas críticas

y sugerencias que enriquecieron este trabajo; a Enrique Valente Sánchez-Rodríguez y a Jorge Martínez Meléndez, por proporcionarnos información acerca de sus investigaciones del BMM, y a los revisores anónimos, quienes con sus acertadas observaciones contribuyeron a mejorar este trabajo.

Literatura citada

- Acosta, S. 1997. Afinidades fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de la zona de Pluma Hidalgo, Oaxaca, México. *Polibotánica* 6:25-39.
- Acosta, I. 2002. Vegetación y flora del municipio de Xico, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 150 p.
- Acosta, S. 2004. Afinidades de la flora genérica de algunos bosques mesófilos de montaña del noreste, centro y sur de México: un enfoque fenético. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 75:61-72.
- Alhumada, C. B. 1994. Distribución y biodiversidad del bosque mesófilo de montaña en El Palmito, municipio de Condordia, Sinaloa. Seminario de Investigación II, 1994. Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán. 90 p.
- Alcántara, O. 1996. Estudio florístico y biogeografía del bosque mesófilo de montaña del Municipio de Tenango de Doria, Hidalgo, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 83 p.
- Alcántara, O. e I. Luna-Vega. 1997. Florística y análisis biogeográfico del bosque mesófilo de montaña de Tenango de Doria, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 68:57-106.
- Alcántara, O. e I. Luna-Vega. 2001. Análisis florístico de dos áreas con bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 54:51-87.
- Álvarez del Castillo, C. 1977. Estudio ecológico y florístico del cráter del volcán San Martín Tuxtla, Veracruz, México. *Biotica* 2:3-54.
- Arrellanes, Y. 2000. Análisis estructural de un bosque mesófilo de montaña de *Ticodendron incognitum* en la Sierra Norte de Oaxaca, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 86 p.
- Arriaga, L. 1994. Dinámica de claros y procesos de regeneración en un bosque mesófilo de montaña. Tesis, Doctorado Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 279 p.
- Ávila, V. 2004. La vegetación de la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 112 p.
- Ávila, V. 2006. Autenticidad de los bosques en la cuenca alta del río Magdalena: diagnóstico hacia la restauración ecológica. Tesis, Maestría Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 83 p.
- Ávila, V., B. González-Hidalgo, M. Nava-López y L. Almeida-Leñero. 2008. Refugio de fitodiversidad en la ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 2:605-619.
- Ballesteros, M. 1986. Estudio de la flora y la vegetación de Helechales en el municipio de Huayacocotla, Veracruz. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 66 p.
- Blanco, J. 1994. La vegetación de la sierra de San Juan, Nayarit, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 87 p.
- Blanco, A. 2001. Análisis sucesional del bosque mesófilo de montaña en El Rincón, sierra Norte de Oaxaca. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Ixtacala, Estado de México. 60 p.
- Boyle, B. 1996. Changes on altitudinal and latitudinal gradients in neotropical montane forests. Tesis, Doctorado. School of Arts and Sciences, Washington University, Saint Louis, Missouri. 260 p.
- Braun-Blanquet, J. 1932. *Plant Sociology, the study of plant communities*. Hafner, New York. 439 p.
- Briones, O. 1991. Sobre la flora, vegetación y fitogeografía de la sierra de San Carlos, Tamaulipas. *Acta Botánica Mexicana* 16:15-43.
- Bye, R. 1998. La intervención del hombre en la diversificación de las plantas en México. *In* Diversidad biológica de México: orígenes y distribución, T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). Instituto de Biología, UNAM, México, D. F. p 689-713.
- Campos-Villanueva, A. 1993. Estudio florístico de la porción central del municipio de San Jerónimo Coatlán (Oaxaca). Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 97 p.
- Campos-Villanueva, A. y J. L. Villaseñor. 1995. Estudio florístico de la porción central del municipio de San Jerónimo Coatlán, distrito de Miahuatlán (Oaxaca). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56:95-120.
- Carlson, M. 1954. Floral elements of the pine-oak-liquidambar forest of Montebello, Chiapas, México. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 8:387-399.
- Cartujano, S., S. Zamudio, O. Alcántara e I. Luna-Vega. 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.
- Castillo, J. 1996. Vegetación de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad

- Nacional Autónoma de México, México, D. F. 58 p.
- Castillo-Campos, G. y V. E. Luna. 2009. Flora y vegetación del municipio de Coatepec, Veracruz. Flora de Veracruz, fascículo complementario I, 281 p.
- Catalán, C. 2004. Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero, México. Tesis, Doctorado Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. 96 p.
- Chiang, F. 1970. La vegetación de Córdoba, Ver. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 37 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Instituto de Biología, UNAM/ Agrupación Sierra Madre, México, D. F. 847 p.
- Cornejo-Tenorio, G., A. Casas, B. Farfán, J. L. Villaseñor y G. Ibarra. 2003. Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 73:43-62.
- Croda, G. 1992. Efecto de borde sobre las densidades absoluta y relativa (categorías diamétricas y alturas) y el área basal de los árboles en fragmentos de bosque mesófilo de Coacoatzintla, Veracruz. Tesis, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 77 p.
- Crovello, T.J. 1981. Quantitative biogeography: an overview. Taxon 30:563-575.
- Cuevas, R. 1994. Flora de la estación científica Las Joyas, municipio de Autlán, Jalisco, México. Tesis, Maestría Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. 133 p.
- Cuevas, R. 2002. Análisis de gradientes de la vegetación de la cañada El Tecolote, en la sierra de Manantlán, Jalisco, México. Tesis, Doctorado del Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. 140 p.
- Cuevas, R. y E. Jardel. 2004. Flora y vegetación de la estación científica Las Joyas. Universidad de Guadalajara, Jalisco.
- Díaz-Barriga, H. y M. Palacios-Ríos. 1992. Lista preliminar de especies de pteridofitas de los estados de Guanajuato, Michoacán y Querétaro (México). Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, Fascículo complementario III, Centro Regional del Bajío, INECOL, Pátzcuaro, Michoacán.
- Diego-Pérez, N., S. Peralta-Gómez y B. Ludlow-Wiechers. 2001. Estudios florísticos en Guerrero 11. El Jilguero, bosque mesófilo de montaña. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 42 p.
- Durán, C. 1992. La vegetación de la barranca de las Minas, Veracruz, México. Tesis, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 61 p.
- Escutia, J. 2004. Análisis estructural del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande de Lolotla, Hidalgo, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 98 p.
- Fernández, R. y J. Colmenero. 1997. San Joaquín. Notas sobre la vegetación y flora del municipio de San Joaquín, Querétaro, México. Polibotánica 4:10-36.
- Ferrusquia-Villafranca, I. 1998. Geología de México: una sinopsis. In Diversidad biológica de México: orígenes y distribución, T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). Instituto de Biología, UNAM, México, D. F. p. 689-713.
- Fonseca, R., E. Velázquez y E. Domínguez. 2001. Estudios Florísticos en Guerrero 12. Carrizal de Bravos, Bosque mesófilo de montaña. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 41 p.
- Fragoso, R. 1990. Estudio florístico en la parte alta de la sierra de Zacualpan, estado de México. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Iztacala, Estado de México. 79 p.
- Gallardo-Hernández, C., N. Velázquez y H. Asbjornsen. 2008. Composición florística y estructura de dos comunidades de bosque mesófilo afectadas por los incendios de 1998, en los Chimalapas, Oaxaca, México. In Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México, L. Sánchez-Velázquez, J. Galindo-González y F. Díaz-Fleischer (eds.). Mundi-Prensa, México D. F. p. 167-183.
- García, M. 1988. Distribución y estructura de las comunidades arbóreas del Parque Estatal Omiltemi, Gro. Una contribución a su planificación. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 105 p.
- García, L., J. Nava, R. Flores, M. Cházaro, A. Machuca y E. del Río. 1998. Flora del Parque Nacional Pico de Tancitaro, Michoacán. Informe técnico final. CIIDIR-IPN/ CONABIO. 99 p.
- García-Franco, J., G. Castillo-Campos, K. Mehlreter, M. Martínez y G. Vázquez. 2008. Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 83:37-52.
- García-Franco, J. y T. Toledo. 2008. Epifitas vasculares: bromelias y orquídeas. In Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad manejo y conservación, R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehlreter (eds.). Instituto de Ecología/ Instituto Nacional de Ecología, México, D. F. p. 69-82.
- Gómez-Pompa, A. 1966. Estudios botánicos en la Región de Misantla, Veracruz. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México, D. F. 173 p.
- Graham, A. 1998. Factores históricos de la diversidad biológica de México. In Diversidad biológica de México: orígenes y distribución, T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). Instituto de Biología, UNAM, México, D. F. p. 689-713.

- Hernández, V. 2001. Influencia del suelo en el crecimiento de cuatro especies arbóreas a lo largo de un gradiente sucesional del bosque mesófilo de montaña, Sierra Norte, Oaxaca. Tesis, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes, Ixtacala, Tlalnepantla, Estado de México, 81 p.
- Hernández-Cerda, M. y G. Carrasco-Anaya. 2004. Climatología. In Biodiversidad de la sierra Madre Oriental, I. Luna-Vega, J. Morrone y D. Espinosa (eds.), UNAM/ CONABIO, México, D. F. p 63-108.
- Houlder, D., M. Hutchinson, H. Nix y J. McMahon. 2000. ANUCLIM user's guide. CRES, Canberra.
- Ibarra, G. 1983. Comunidades vegetales del cerro El Cacique, ubicado en el Eje Neovolcánico; Zitácuaro, Michoacán. Tesis Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 105 p.
- Ishiki, M. 1988. Las selvas bajas perennifolias del Cerro Salomón, región de Chimalapa, Oaxaca: flora, comunidades y relaciones fitogeográficas. Tesis, Maestría, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, 201 p.
- Jiménez, J., J. Contreras, R. González, R. Ocampo, G. Lozano y S. Torres. 1993. Plantas vasculares. In Historia natural del Parque Ecológico Estatal Omiltemi, Chilpancingo, Guerrero, México, I. Luna-Vega, y J. Llorente-Bousquets (eds.), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. p. 127-250.
- Juárez, K. 2008. Biodiversidad de la flora del bosque mesófilo de montaña del municipio de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 72 p.
- Labat, J. 1995. Végétation du nord-ouest du Michoacán Mexique. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes, Fascículo complementario VIII, Centro Regional del Bajío, INECOL, Pátzcuaro, Michoacán. 401 p.
- Long, A. y M. Heath. 1991. Flora of the El Triunfo Biosphere Reserve, Chiapas, México: a preliminary floristic inventory and the plant communities of Polygon I. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 62:133-172.
- López, Y. 1995. Inventario florístico y conocimiento estructural del bosque mesófilo en el municipio de Valle de Bravo, Estado de México, México. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Ixtacala, Estado de México, 92 p.
- López, M. 1997. Tendencias ecológicas en la estructura de la madera de árboles de un bosque mesófilo de montaña, de Michoacán. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Ixtacala, Estado de México, 80 p.
- Lorea, F. 2005. Estudio florístico de los bosques mesófilos de la sierra Mazateca de Oaxaca, México. Informe técnico final. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz/ CONABIO, México, D. F. 32 p.
- Lorenzo, S., A. Ramírez, M. Soto, A. Breceda, M. Calderón, H. Cortéz, C. Puchet, M. Ramírez, R. Villalón y E. Zapata. 1983. Nota sobre la fitogeografía del bosque mesófilo de montaña en la sierra Madre del Sur, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 44:97-102.
- Lozada, L., M. León, J. Rojas y R. de Santiago. 2003. Bosque mesófilo de montaña en el Molote. Estudios Florísticos en Guerrero 13. Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D. F. 35 p.
- Luna-Vega, I., L. Almeida-Leñero, L. Villers y L. Lorenzo. 1988. Reconocimiento florístico y consideraciones fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de Teocelo, Veracruz. Boletín de la Sociedad Botánica de México 48:35-63.
- Luna-Vega, I., L. Almeida-Leñero y J. Llorente-Bousquets. 1989. Florística y aspectos fitogeográficos del bosque mesófilo de montaña de las cañadas de Ocuilan, estados de Morelos y México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 59:63-87.
- Luna-Vega, I., S. Ocegueda y O. Alcántara. 1994. Florística y notas biogeográficas del bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 65:31-62.
- Luna, V. 1997. Estudio de vegetación y flora del municipio de Coatepec, Veracruz. Tesis, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 163 p.
- Luna-Vega, I., O. Alcántara, D. Espinosa-Organista y J. Morrone. 1999. Historical relationships of the Mexican cloud forests: a preliminary vicariance model applying parsimony analysis of endemism to vascular plant taxa. Journal of Biogeography 26:1299-1305.
- Luna-Vega, I., O. Alcántara, J. Morrone y D. Espinosa-Organista. 2000. Track analysis and conservation priorities in the cloud forests of Hidalgo, Mexico. Diversity and Distributions 6:137-143.
- Luna-Vega, I., J. Morrone, O. Alcántara y D. Espinosa-Organista. 2001. Biogeographical affinities among Neotropical cloud forests. Plant Systematics and Evolution 228:229-239.
- Machuca, J. 1989. Florística y ecología de la vegetación fanerogámica de la región septentrional de Jocotepec, Jalisco (México). Tesis, Facultad de Agronomía, Universidad de Guadalajara, Jalisco. 221 p.
- McCune, B. y J. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM software design, Glenden Beach, Oregon.
- McCune, B. y M. Mefford. 2006. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, version 5. MjM Software, Glenden Beach, Oregon.
- Madrigal, X. 1990. Ensayo metodológico para la determinación del estado natural forestal en la región oriental del estado de Michoacán, México. Tesis, Maestría Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 80 p.

- Martínez, J. 1988. La vegetación de la zona noreste del Pico de Orizaba, Veracruz, México. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 96 p.
- Martínez, M., R. Cruz, J. Castrejón, S. Valencia, J. Jiménez y C. A. Ruiz-Jiménez. 2004. Flora vascular de la porción guerrerense de la sierra de Taxco, Guerrero, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 75:105-189.
- Martínez-Meléndez, J., M. Pérez-Farrera y O. Farrera-Sarmiento. 2008. Inventario florístico del cerro el Cebú y zonas adyacentes en la Reserva de la Biosfera El Triunfo (polígono V), Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 82:21-40.
- Mascaría, L. 2000. Reintroducción de plántulas de dos especies arbóreas en sitios degradados del bosque mesófilo en el norte de Chiapas, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 92 p.
- Mayorga, R., I. Luna-Vega y O. Alcántara. 1998. Florística del bosque mesófilo de montaña de Molocotlán, Molango-Xochicoatlán, Hidalgo, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 63:101-119.
- Meave, J., M. Soto, L. Calvo, H. Paz y S. Valencia. 1992. Análisis sinecológico del bosque mesófilo de montaña, Omiltemi, Guerrero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 52: 31-77.
- Medina, C. y S. Rodríguez. 1993. Estudio florístico de la cuenca del río Chiquito de Morelia, Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario IV. Centro Regional del Bajío, INECOL, Pátzcuaro, Michoacán*. 71 p.
- Medina, C., F. Guevara-Fefer, M. Martínez P. Silvia-Sáenz, M. Chávez-Carvajal e I. García. 2000. Estudio florístico en el área de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. *Acta Botanica Mexicana* 52:5-41.
- Mehlreter, K. 2008. Helechos. In *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad manejo y conservación*, R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehlreter (eds.), Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz/ Instituto Nacional de Ecología, México, D. F. p. 83-94.
- Mejía-Domínguez, N. 2003. Análisis estructural en una parcela de una hectárea de bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la sierra Madre del Sur (Oaxaca), México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 72 p.
- Mejía-Domínguez, N., J. Meave y C. A. Ruiz-Jiménez. 2004. Análisis estructural de un bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la sierra Madre del Sur (Oaxaca) México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 74:13-29.
- Mendoza, P., C. A. Ruiz-Jiménez, J. Escutia y N. Mejía-Domínguez. 2005. Propuesta metodológica para la restauración de un tramo carretero: reintroducción selectiva de especies clave. *Memorias del I Simposio, Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México*, 17-18 de noviembre, 2005, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz.
- Miranda, F. y A. Sharp. 1950. Characteristics of the vegetation in certain temperate regions of Eastern Mexico. *Ecology* 31:313-333.
- Miranda, M. y M. González. 1993. Estudio de la vegetación y florística de la mesa basáltica de Holotepec, distrito de Tenango del Valle, Estado de México. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Ixtacala, Estado de México. 96 p.
- Montalvo, L. 2006. Composición florística y manejo de la vegetación leñosa de los cafetales en la sierra Madre del Sur, Oaxaca. Tesis, Maestría Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. 105 p.
- Muñoz, M. 1992. Distribución de especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán. Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara, Jalisco. 102 p.
- Ohmann, J. y T. Spies. 1988. Regional gradient analysis and spatial pattern of woody plant communities of Oregon forests. *Ecological Monographs* 68:151-182.
- Orozco, M. 1995. Vegetación del municipio de Temascaltepec, Estado de México. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Ixtacala, Estado de México. 100 p.
- Osorio, A. 2003. Estudio comparativo de dos sitios de regeneración (natural y artificial) en potreros abandonados con vegetación anterior de bosque mesófilo de montaña en el Municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan, Veracruz, México. Tesis, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 60 p.
- Padilla, E., R. Cuevas y S. Koch. 2008. Plantas vasculares y vegetación de la parte alta del Arroyo Agua Fria, municipio de Minatitlán, Colima, México. *Acta Botanica Mexicana* 84:25-72.
- Palacio-Prieto, J., G. Bocco, A. Velázquez, J. Mas, F. Takaki-Takaki, A. Victoria, L. Luna-González, G. Gómez-Rodríguez, J. López-García, M. Palma, I. Trejo-Vázquez, A. Peralta, J. Prado-Molina, A. Rodríguez-Aguilar, R. Mayorga-Saucedo y F. González-Medrano. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México* 43: 183-202.
- Pérez-Cálix, E. 1996. Flora y vegetación de la cuenca del lago Zirahuén, Michoacán, México. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes, fascículo complementario XIII*. 73 p.
- Peterson, T., L. Canseco, J. Contreras, G. Escalona-Segura,

- O. Flores-Villela, J. García, B. Hernández-Baños, C. A. Ruiz-Jiménez, L. León-Paniagua, S. Mendoza, A. Navarro-Sigüenza, V. Sánchez-Cordero y D. Willard. 2004. A preliminary biological survey of cerro Piedra Larga, Oaxaca, México: birds, mammals, reptiles, amphibians, and plants. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica* 75: 439-466.
- Ponce-Vargas, A., I. Luna-Vega, O. Alcántara y C.A. Ruiz-Jiménez. 2006. Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77:177-190.
- Puig, H., R. Bracho y V. Sosa. 1983. Composición florística y estructura del bosque mesófilo en Gómez Farias, Tamaulipas, México. *Biotica* 8:339-359.
- Puig, H. y R. Bracho (eds.). 1987. El bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, 186 p.
- Puig, H. 1989. Análisis fitogeográfico del bosque mesófilo de Gómez Farias. *Biotam* 1: 34-53.
- Quintos, A., I. Luna-Vega, O. Alcántara y C. A. Ruiz-Jiménez. 2004. Síndrome de dispersión de plantas representativas del bosque mesófilo de montaña del estado de Hidalgo, México. *Memorias del XVI Congreso Mexicano de Botánica*, 17-22 octubre, Oaxaca, Oaxaca.
- Ramirez, F. 1999. Flora y vegetación de la sierra de Santa Marta, Veracruz. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 409 p.
- Ramírez-Marcial, N., S. Ochoa-Gaona, M. González-Espinosa y P. Quintana-Ascencio. 1998. Análisis florístico y sucesional en la estación biológica Cerro Huitepec, Chiapas, México. *Acta Botanica Mexicana* 44: 59-85.
- Ramírez-Marcial, N. 2001. Diversidad florística del bosque mesófilo de montaña en el norte de Chiapas y su relación con México y Centroamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69:63-76.
- Reyes, G. y A. Breceda. 1985. Análisis de la composición florística y estructura de la vegetación secundaria derivada de un bosque mesófilo de montaña en Gómez Farias, Tamaulipas (México). Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 168 p. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán. 168 p.
- Reyes, M. 2003. Estudio de la vegetación en los municipios de Honey y Pahuatlán de la sierra Norte de Puebla, Puebla. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 81 p.
- Reynoso, J. 2004. Florística y fitogeografía de la flora arbórea del bosque mesófilo de montaña en San Sebastián del Oeste, Jalisco, México. Tesis, Maestría, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Botánica y Zoología, Universidad de Guadalajara, Jalisco, 97 p.
- Rincón, A. 2007. Estructura y composición florística de los bosques tropicales húmedos de montaña de Santa Cruz Tepetotutla, Oaxaca, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 105 p.
- Ruiz-Jiménez, C.A. 1995. Análisis estructural del bosque mesófilo de la región de Huautla de Jiménez (Oaxaca), México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 103 p.
- Ruiz-Jiménez, C. A., J. Meave y J. L. Contreras. 2000. El bosque mesófilo de la región de Huautla de Jiménez (Oaxaca), México: análisis estructural. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65:23-37.
- Ruiz-Jiménez, C. A., J. Escutia, N. Mejía-Domínguez y P. Mendoza. 2005. Estructura y composición de la vegetación sobre un trazo carretero: un estudio en un bosque amenazado. *Memorias del I Simposio Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México*, 17-18.XI.2005, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz.
- Rzedowski, J. 1966. Vegetación del estado de San Luis Potosí. *Acta Científica Potosina* 5:5-291.
- Rzedowski, J. y R. McVaugh. 1966. Bosque mesófilo de montaña. *In* La vegetación de Nueva Galicia. *Contributions of the University of Michigan Herbarium* 9:1-123.
- Rzedowski, J. 1970. Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México* 18:91-106.
- Rzedowski, J. y R. Palacios-Chávez. 1977. El bosque de *Engelhardtia (Oreomunnea) mexicana* en la región de la Chinantla (Oaxaca, México). Una reliquia del Cenozoico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 36:93-123.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D. F. 432 p.
- Rzedowski, J. y T. Reyna-Trujillo. 1990. Divisiones florísticas. Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas). IV. 8.3. *In* Atlas Nacional de México, vol. II, Escala 1:8000000. Instituto de Geografía, UNAM, México, D. F.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerógama de México. *Acta Botanica Mexicana* 14 3-21.
- Saavedra-Millán, F. 2009. Estudio de la vegetación del Parque Estatal Francisco Torres Moreno, Cerro del Huixteco, Taxco, Guerrero, México. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 161 p.
- Sahagún, E. 2004. Ordenación del bosque mesófilo en el cerro La Mona, sierra de Coalcomán, México, en el contexto del cambio climático. Tesis, Doctorado Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, 115 p.
- Sánchez, G. 2001. Estudio de la interacción planta-herbívoro en el bosque mesófilo de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Tesis, Doctorado Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 157 p.
- Sánchez-González, A. y L. López-Mata. 2003. Clasificación y

- ordenación de la vegetación del norte de la sierra Nevada a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 74: 47-71.
- Sánchez-González, A. 2004. Análisis sinecológico, florístico y biogeográfico de la vegetación del norte de la sierra Nevada. Tesis, Doctorado Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. 153 p.
- Sánchez-Rodríguez, E. 2002. Estructura, composición florística y diversidad de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña en Cuzalapa, Sierra de Manantlán, Jalisco, México. Tesis, Maestría Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México. 133 p.
- Sánchez-Rodríguez, E., L. López-Mata, E. García-Moya y R. Cuevas-Guzmán. 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.
- Santiago, A. 1992. Estudio fitosociológico del bosque mesófilo de montaña de la sierra de Manantlán. Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara, Jalisco. 111 p.
- Santiago, A. y E. Jardel. 1993. Composición y estructura del bosque mesófilo de montaña en la sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. *Biotam* 5:13-26.
- Santiago, A. 2006. Efecto de la fragmentación en la diversidad del bosque mesófilo de montaña, Sierra de Manantlán, México. Tesis, Maestría. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco. 79 p.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre, México, D. F.
- Smith, M. 1995. La riqueza y diversidad de la flora arbórea de un bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz, bajo dos condiciones distintas de exposición. Tesis Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 377 p.
- Soto, M. y L. Gama. 1997. Climas. In *Historia natural de Los Tuxtlas*, E. González-Soriano, R. Dirzo y R. Vogt (eds.). UNAM/ CONABIO, México, D. F. p 7-23.
- Soto, M. 2004. El clima. In *Los Tuxtlas, el paisaje de la sierra*, S. Guevara, J. Laborde y G. Sánchez-Ríos (eds.). Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz. p 196-198.
- Stadtmuller, T. 1987. Los bosques nublados en el trópico húmedo. Universidad de las Naciones Unidas, Turrialba. 85 p.
- Téllez-Valdés, O. 1995. Flora, vegetación y fitogeografía de Nayarit, México. Tesis, Maestría Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 166 p.
- Toledo, V. 1982. Pleistocene changes of vegetation in tropical Mexico. In *Biological diversification in tropics*, G. T. Prance (ed.). Columbia University Press. Nueva York. p 93-111.
- Tolomé, J. 1993. Caída de hojarasca y comportamiento fenológico de las especies arbóreas del bosque mesófilo de montaña del Parque Ecológico Francisco Javier Clavijero (Xalapa, Ver.). Tesis, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 74 p.
- Torres, M. 1991. Estudio florístico de la sierra de Sultepec, Estado de México. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Ixtacala, Estado de México. 49 p.
- Trejo, I. 2004. Clima. In *Biodiversidad de Oaxaca*, A. García-Mendoza, M. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.). UNAM/ Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza/ WWF, México, D. F. p 67-85.
- Valdez, V., R. Foroughbakhch y G. Alanís. 2003. Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noroeste de México. *Ciencia, Universidad Autónoma de Nuevo León* 6:360-365.
- Vargas, Y. 1982. Análisis florístico y fitogeográfico de un bosque mesófilo de montaña en Huayacocotla, Ver. Tesis, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 105 p.
- Vargas, Y. 2005. Ecology of disjunct cloud forest sugar maple populations (*Acer saccharum* subsp. *skutchii*) in north and central America. Master in Sciences Thesis, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge. 122 p.
- Vázquez-García, J. 1993. Cloud forest archipelagos: Preservation of fragmented montane ecosystems in tropical America. In *Tropical montane cloud forests*. *Ecological Studies* 110. L. S. Hamilton, J. O. Juvik y F. N. Scatena (eds.). Springer, New York. p 315-332.
- Vázquez, J., R. Cuevas, T. Cochrane, H. Iltis, F. Santana y L. Guzmán. 1995. Flora de Manantlán. *Sida*, Botanical Miscellany 13 —IMECBIO-Universidad de Guadalajara/ Universidad de Wisconsin-Madison— Botanical Research Institute of Texas, Fort Worth. 316 p.
- Vázquez, J., Y. Vargas y F. Aragón. 1999. Descubrimiento de un bosque de *Acer-Podocarpus-Abies* en el municipio de Talpa de Allende, Jalisco, México. *Boletín del Instituto de Botánica de la Universidad de Guadalajara* 7:159-183.
- Vázquez, M., J. Campos y A. Cruz. 2006. Los helechos y plantas afines del bosque mesófilo de montaña de Banderilla, Veracruz, México. *Polibotánica* 22:63-77.
- Vázquez, V. 2000. Riqueza fanerogámica del municipio de Jilotepec, Veracruz, México. Tesis, Maestría Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 232 p.
- Williams-Linera, G. 1991. Nota sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña en los alrededores

- del campamento "El Triunfo", Chiapas. *Acta Botanica Mexicana* 13:1-7.
- Williams-Linera, G., I. Pérez-García y J. Tolomé. 1996. El bosque mesófilo de montaña y un gradiente altitudinal del centro de Veracruz, México. *La Ciencia y El Hombre*. Universidad Veracruzana 23:149-161
- Williams-Linera, G. y A. López-Gómez. 2008. Estructura y diversidad de la vegetación leñosa. *In* Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad manejo y conservación. R. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter (eds.). Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz/ Instituto Nacional de Ecología, México. D. F. p 55-68.
- Villaseñor, J. L. 2010. El bosque húmedo de montaña de México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. UNAM/ CONABIO. México. D. F. 38 p.
- Zamora, P. 1992. Flora vascular del municipio de Tlalnelhuyocan, Veracruz. Tesis, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 104 p.
- Zamudio, S., J. Rzedowski, E. Carranza y G. Calderón-de Rzedowski. 1992. La vegetación del estado de Querétaro. Panorama preliminar. Centro Regional del Bajío, INECOL, Querétaro, Querétaro. 92 p. Pátzcuaro, Michoacán. 92 p.
- Zarco, P. 2000. Análisis de la vegetación y fauna asociada en bosques templados del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. Tesis, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Ixtacala, Estado de México. 61 p.

Cuadro 1. Ubicación de localidades con BMM en la República Mexicana

Núm.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística sensu Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1993)	Autor (es)
1	Montebello	Chiapas	16°04'40" - 16°10'20" N / 91°37'40" - 91°47'40" O	Serranías Transistmicas (Meseta central de Chiapas)	Carlson (1954), Zarco (2000)
2	Misantla	Veracruz	19°44'58" - 19°52'09" N / 96°48'34" - 96°55'23" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Gómez-Pompa (1966)
3	Xilitla	San Luis Potosí	21°16'18" - 21°24'18" N / 99°01'55" - 99°06'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Rzedowski (1966)
4	Nueva Galicia	Colima, Nayarit, Jalisco y Michoacán	18°45'10" - 22°54'14" N / 100°44'16" - 105°13'12" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre Oriental, Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre del Sur)	Rzedowski y McVaugh (1966)
5	Valle de México	Distrito Federal y Estado de México	18°45'10" - 19°34'08" N / 98°42'40" - 99°24'35" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Rzedowski (1969)
6	Córdoba	Veracruz	18°20'00" - 19°12'00" N / 96°36'00" - 97°08'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Chiang (1970)
7	Volcán San Martín	Veracruz	18°33'06" - 18°34'03" N / 95°10'49" - 95°12'41" O	Costa del Golfo de México (Planicie Costera del Golfo de México)	Álvarez del Castillo (1977)
8	Chinantla	Oaxaca	17°35'03" - 17°37'05" N / 96°22'10" - 96°28'09" O	Serranías Meridionales (sierra Norte de Oaxaca)	Rzedowski y Palacios-Chávez (1977)
9	Huayacocotla	Veracruz	20°32'29" - 20°38'48" N / 98°25'36" - 98°29'32" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Vargas (1982), Ballesteros (1986), Juárez (2008)
10	Reserva de la Mariposa Monarca	Estado de México y Michoacán	19°57'07" - 19°59'42" N / 100°06'39" - 100°09'54" O y 19°18'32" - 19°44'27" N / 100°09'07" - 100°22'26" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Ibarra (1983), Cornejo-Tenorio et al. (2003)
11	Gómez Farias	Tamaulipas	23°03'53" - 23°07'06" N / 99°10'53" - 99°12'36" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Puig y Bracho (1983), Reyes y Breceda (1985), Puig y Bracho (1987), Puig (1989), Arriaga (1994), Sánchez (2001)

Cuadro 1. Continúa

<i>Núm.</i>	<i>Localidad</i>	<i>Estado (s)</i>	<i>Coordenadas extremas</i>	<i>Provincia florística sensu Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1993)</i>	<i>Autor (es)</i>
12	Omitemi	Guerrero	17°30'33" - 17°35'11" N / 99°39'27" - 99°44'04" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	García (1988), Meave et al. (1992), Jiménez et al. (1993)
13	Cerro Salomón	Oaxaca	16°30'00" - 16°46'15" N / 94°00'00" - 94°15'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre de Chiapas)	Ishiki (1988)
14	Teocelo	Veracruz	19°18'59" - 19°23'23" N / 96°57'58" - 97°05'46" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Luna-Vega et al. (1988)
15	Noreste del Pico de Orizaba	Veracruz	19°07'03" - 19°10'03" N / 97°02'39" - 97°06'23" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Martínez (1988)
16	Ocuilán	Estado de México, Morelos	18°58'12" - 19°02'07" N / 99°16'32" - 99°21'37" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Luna-Vega et al. (1989)
17	Jocotepec	Jalisco	20°20'40" - 20°23'16" N / 103°22'50" - 103°26'47" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Machuca (1989)
18	Zacualpan	Estado de México	18°38'50" - 18°43'37" N / 99°46'06" - 99°51'21" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Fragoso (1990)
19	Morelia	Michoacán	19°40'15" - 19°48'31" N / 101°08'40" - 101°14'53" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Madrigal (1990), Madrigal y Guridi (inédito), López (1997)
20	Sierra de San Carlos	Tamaulipas	24°31'21" - 24°38'33" N / 98°57'15" - 99°05'41" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Briones (1991)
21	El Triunfo	Chiapas	15°35'36" - 15°43'17" N / 92°41'57" - 92°52'38" O	Soconusco (Sierra Madre de Chiapas)	Long y Heath (1991)
22	Sierra de Sultepec	Estado de México	18°41'36" - 18°53'11" N / 99°51'32" - 100°07'37" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Torres (1991)
23	Coacoatzintla	Veracruz	19°38'55" - 19°39'15" N / 96°56'45" - 96°57'12" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Croda (1992), Smith (1995)
24	Barranca de las Minas	Veracruz	19°40'48" - 19°43'57" N / 97°04'07" - 97°09'09" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Durán (1992)

Cuadro 1. Continúa

<i>Núm.</i>	<i>Localidad</i>	<i>Estado (s)</i>	<i>Coordenadas extremas</i>	<i>Provincia florística sensu Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1993)</i>	<i>Autor (es)</i>
25	Manantlán	Jalisco	19°25'00" - 19°45'00" N / 103°45'00" - 104°30'00" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Muñoz (1992), Santiago (1992), Santiago y Jardel (1993), Vázquez et al. (1995), Cuevas (2002), Sánchez- Rodríguez (2002), Sánchez-Rodríguez et al. (2003), Santiago (2006)
26	Tlalnelhucyocan	Veracruz	19°30'53" - 19°33'30" N / 96°58'34" - 97°01'08" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Zamora (1992), Osorio (2003)
27	Noreste de Querétaro	Querétaro	21°09'28" - 21°26'23" N / 99°04'39" - 99°10'50" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Zamudio et al. (1992), Díaz- Barriga et al. (1992)
28	San Jerónimo Coatlán	Oaxaca	16°09'00" - 16°15'00" N / 96°52'00" - 97°01'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Campos (1993), Campos y Villaseñor (1995)
29	Cuenca del Río Chiquito	Michoacán	19°36'36" - 19°39'39" N / 101°03'32" - 101°11'22" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Medina y Rodríguez (1993)
30	Mesa basáltica de Holotepec	Estado de México	18°59'09" - 19°03'19" N / 99°24'15" - 99°28'03" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Miranda y González (1993)
31	Parque Ecológico Francisco Javier Clavijero	Veracruz	19°30'30" N / 96°55'00" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Tolomé (1993)
32	El Palmito	Sinaloa	23°33' N / 105°50' O	Sierra Madre Occidental (Sierra Madre Occidental)	Ahumada (1994)
33	Sierra de San Juan	Nayarit	21°22'47" - 21°32'05" N / 104°55'24" - 105°03'19" O	Serranías Meridionales (Planicie Costera del Noroeste)	Blanco (1994), Téllez-Valdés (1995)
34	Las Joyas	Jalisco	19°35'40" - 19°36'46" N / 104°14'53" - 104°16'17" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Cuevas (1994)
35	Tlanchinol	Hidalgo	20°57'20" - 21°01'45" N / 98°32'56" - 98°40'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Luna-Vega et al. (1994)
36	Noroeste de Michoacán	Michoacán	20°35'00" - 20°25'00" N / 101°40'00" - 102°30'00" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Labat (1995)

Cuadro 1. Continúa

Núm.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística sensu Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1993)	Autor (es)
37	Valle de Bravo	Estado de México	19°06'32" - 19°10'19" N / 100°01'00" - 100°09'38" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	López (1995)
38	Temascaltepec	Estado de México	19°00'04" - 19°00'16" N / 99°55'00" - 100°04'30" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Orozco (1995)
39	Huautla de Jiménez	Oaxaca	18°07'00" - 18°12'00" N / 96°57'00" - 97°02'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Ruiz-Jiménez (1995), Ruiz- Jiménez et al. (2000)
40	Tenango de Doria	Hidalgo	19°22'00" - 20°40'00" N / 97°59'00" - 98°44'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Alcántara (1996), Alcántara y Luna- Vega (1997)
41	Sierra de Juárez	Oaxaca	17°34'16" - 17°37'15" N / 96°20'00" - 96°28'35" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Boyle (1996)
42	La Sepultura	Chiapas	16°01'56" - 16°24'12" N / 93°28'58" - 93°48'58" O	Serranías Transistmicas (Sierra Madre de Chiapas)	Castillo (1996)
43	Cuenca del Lago Zirahuén	Michoacán	19°24'16" - 19°25'11" N / 101°45'01" - 101°46'01" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Pérez-Cálix (1996)
44	Centro de Veracruz	Veracruz	19°30'00" - 19°43'59" N / 91°19'59" - 97°15'00" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Williams-Linera et al. (1996)
45	San Joaquín	Querétaro	20°55'25" - 20°55'37" N / 99°34'02" - 99°34'09" O	Altiplanicie (Sierra Madre Oriental)	Fernández y Colmenero (1997)
46	Coatepec	Veracruz	19°28'00" - 19°31'00" N / 96°56'45" - 97°04'00" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Luna (1997), García-Franco et al. (2008), Castillo- Campos y Luna (2009)
47	Tancitaro	Michoacán	19°18'33" - 19°28'24" N / 102°14'57" - 102°30'14" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	García et al. (1998)
48	Molocotlán	Hidalgo	20°44'28" - 20°48'03" N / 98°41'09" - 98°43'19" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Mayorga et al. (1998)
49	Cerro Huitepec	Chiapas	16°44'27" - 16°44'53" N / 92°41'35" - 92°41'53" O	Serranías Transistmicas (Meseta Central de Chiapas)	Ramírez-Marcial et al. (1998)
50	Sierra de Santa Marta	Veracruz	18°31'59" - 18°34'45" N / 95°09'13" - 95°13'03" O	Costa del Golfo de México (Planicie Costera del Golfo de México)	Ramírez (1999)

Cuadro 1. Continúa

<i>Núm.</i>	<i>Localidad</i>	<i>Estado (s)</i>	<i>Coordenadas extremas</i>	<i>Provincia florística sensu Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1993)</i>	<i>Autor (es)</i>
51	Rincón Chamula	Chiapas	17°11'32" N / 92°55'42" O	Serranías Transistmicas (Meseta Central de Chiapas)	Ramírez-Marcial et al. (1999), Mascariña (2000)
52	Refugio la Cumbre	Jalisco	20°11'42" - 20°12'44" N / 104°44'23" - 104°45'20" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Vázquez-García et al. (1999), Vargas (2005)
53	Tiltepec	Oaxaca	17°31'30" N / 96°18'14" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Arellanes (2000)
54	Nuevo San Juan Parangaricutiro	Michoacán	19°21'00" - 19°34'00" N / 102°08'00" - 102°17'00" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Medina et al. (2000)
55	Jiltepec	Veracruz	19°35'27" - 19°37'29" N / 96°52'29" - 96°58'58" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Vázquez (2000)
56	Eloxochitlán	Hidalgo	20°43'00" - 20°47'00" N / 98°44'00" - 98°46'30" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Alcántara y Luna-Vega (2001)
57	Tlahuelompa	Hidalgo	20°36'00" - 20°38'00" N / 98°34'00" - 98°38'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Alcántara y Luna-Vega (2001)
58	El Rincón	Oaxaca	17°19'43" - 17°22'28" N / 96°15'39" - 96°21'29" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Blanco (2001), Hernández (2001)
59	El Jilguero	Guerrero	17°26'00" - 17°35'00" N / 99°58'00" - 100°05'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Diego-Pérez et al. (2001)
60	Carrizal de Bravos	Guerrero	17°32'30" - 17°37'16" N / 99°47'56" - 99°54'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Fonseca et al. (2001), Catalán (2004)
61	Xico	Veracruz	19°26'48" - 19°29'52" N / 96°59'45" - 97°04'12" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Acosta (2002)
62	Landa de Matamoros	Querétaro	21°06'00" - 21°27'00" N / 99°02'00" - 99°27'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Cartujano et al. (2002)
63	El Molote	Guerrero	17°24'50" - 17°27'30" N / 100°09'40" - 100°12'20" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Lozada et al. (2003)
64	Teipán	Oaxaca	16°14'49" - 16°15'38" N / 95°58'55" - 95°59'41" O	Serranías Meridionales (Sierra Madre del Sur)	Mejía (2003)
65	Sierra Norte	Puebla	20°13'41" - 20°17'31" N / 98°07'59" - 98°14'20" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Reyes (2003)

Cuadro 1. Continúa

Núm.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística sensu Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1993)	Autor (es)
66	Noroeste de México	Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas	22°11'27" - 22°20'41" N / 99°25'32" - 99°29'43" O y 25°10'41" - 25°10'53" N / 100°07'02" - 100°07'37" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Valdez et al. (2003)
67	Magdalena Contreras	Distrito Federal	19°16'25" - 19°17'18" N / 99°15'42" - 99°17'01" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Ávila (2004), Ávila (2006), Ávila et al. (2008)
68	Lolotla	Hidalgo	20°50'00" - 20°54'00" N / 98°40'00" - 98°43'00" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Escutia (2004), Ponce-Vargas et al. (2006)
69	Sierra de Taxco	Guerrero	18°30'00" - 18°47'00" N / 99°33'00" - 99°46'00" O	Serranías Meridionales (Depresión del Balsas)	Martínez et al. (2004), Saavedra-Millán (2009)
70	Piedra Larga	Oaxaca	16°31'00" - 16°37'00" N / 95°45'00" - 95°51'00" O	Sierra Madre del Sur (Sierra Madre del Sur)	Peterson et al. (2004)
71	Pisaflores	Hidalgo	21°12'20" N / 98°58'35" O y 21°13'05" N / 98°58'50" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Quintos et al. (2004)
72	San Sebastián del Oeste	Jalisco	20°41'40" - 20°43'36" N / 104°52'30" - 104°53'10" O y 20°45'57" - 20°45'40" N / 104°56'57" - 104°58'05" O	Costa Pacífica (Faja Volcánica Transmexicana)	Reynoso (2004)
73	Cerro la Mona	Michoacán	18°40'59" - 18°41'56" N / 103°24'46" - 103°25'51" O	Costa Pacífica (Sierra Madre del Sur)	Sahagún (2004)
74	Sierra Mazateca	Oaxaca	18°00'00" - 18°22'00" N / 96°30'00" - 97°15'00" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Lorea (2005)
75	Huauchinango	Puebla	20°07'52" - 20°10'22" N / 98°01'11" - 98°07'01" O	Sierra Madre Oriental (Sierra Madre Oriental)	Ruiz-Jiménez et al. (2005), Mendoza et al. (2005)
76	Sierra Sur	Oaxaca	15°57'00" - 16°03'00" N / 96°20'00" - 96°38'00" O	Sierra Madre del Sur (Sierra Madre del Sur)	Montalvo (2006)
77	Banderilla	Veracruz	19°34'36" - 19°35'10" N / 96°56'35" - 96°56'59" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	Vázquez et al. (2006)
78	Santa Cruz Tepetotutla	Oaxaca	17°38'54" - 17°42'15" N / 96°31'38" - 96°33'36" O	Serranías Meridionales (Sierra Norte de Oaxaca)	Rincón (2007)

Cuadro 1. Continúa

Núm.	Localidad	Estado (s)	Coordenadas extremas	Provincia florística sensu Rzedowski (1978) y Rzedowski y Trujillo (1990); entre paréntesis las subprovincias geológicas de Ferrusquia-Villafranca (1993)	Autor (es)
79	Chimalapas	Oaxaca	16°42'09" - 16°44'30.1" N / 94°11'30.2" - 94°16'49" O	Serranías meridionales (Sierra Madre de Chiapas)	Gallardo- Hernández et al. (2008)
80	La Cortadura	Veracruz	19°29'00" - 19°29'35" N / 97°02'00" - 97°02'45" O	Sierra Madre Oriental (Faja Volcánica Transmexicana)	García-Franco et al. (2008)
81	Cerro Cebú	Chiapas	15°49'00" - 15°50'00" N / 93°02'00" - 93°05'00" O	Soconusco (Sierra Madre de Chiapas)	Martínez-Meléndez et al. (2008)
82	Arroyo Agua Fria	Colima	19°17'34" - 19°18'52" N / 104°01'17" - 104°02'54" O	Serranías meridionales (Sierra Madre del Sur)	Padilla et al. (2008)
83	Las Cañadas	Veracruz	19°09'59" - 19°11'09" N / 96°57'29" - 96°59'38" O	Serranías Meridionales (Faja Volcánica Transmexicana)	Williams-Linera y López-Gómez (2008), García- Franco y Toledo (2008), Mehltreter (2008)

Cuadro 2. Parámetros bioclimáticos utilizados por el programa BIOCLIM (Houder et al., 2000)

1. Temperatura promedio anual (°C)
2. Oscilación diurna de la temperatura (°C)
3. Isothermalidad (°C) (cociente entre parámetros 2 y 7)
4. Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación, en %)
5. Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)
6. Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
7. Oscilación anual de la temperatura (°C) (cociente entre parámetros 5 y 6)
8. Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
9. Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
10. Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido (°C)
11. Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
12. Precipitación anual (mm)
13. Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
14. Precipitación del periodo más seco (mm)
15. Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación, en %)
16. Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
17. Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
18. Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
19. Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

Apéndice. Especies arbóreas del BMM para cada grupo identificado.

Familia	Especie	Grupos														
		A1	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Pinaceae	1 <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltldl et Cham.															+
Sapindaceae	2 <i>Acer negundo</i> var. <i>mexicanum</i> (DC.) Standl. et Steyerl.	+														+
Euphorbiaceae	3 <i>Alchornea latifolia</i> Sw.															+
Betulaceae	4 <i>Alnus acuminata</i> Kunth subsp. <i>arguta</i> (Schltldl.) Furlow				+				+	+	+					
Betulaceae	5 <i>Alnus jorullensis</i> Kunth subsp. <i>lutea</i> Furlow	+														
Cyatheaceae	6 <i>Alsophila firma</i> (Baker) D.S. Conant			+			+									
Annonaceae	7 <i>Annona globiflora</i> Schltldl.															+
Cannabaceae	8 <i>Aphananthe monoica</i> (Hemsl.) J.-Leroy															+
Cannabaceae	9 <i>Bejaria aestuans</i> Mutis ex L.	+														
Lauraceae	10 <i>Beilschmiedia mexicana</i> (Mez) Kosterm.			+												+
Berberidaceae	11 <i>Berberis gracilis</i> Benth.															+
Euphorbiaceae	12 <i>Bernardia dodecandra</i> (Sessé ex Cavagnaro) McVaugh															+
Sapindaceae	13 <i>Billia hippocastanum</i> Peyr.															+
Urticaceae	14 <i>Boehmeria ulmifolia</i> Wedd.															+
Moraceae	15 <i>Brosimum alicastrum</i> Sw. subsp. <i>alicastrum</i>															+
Brunelliaceae	16 <i>Brunellia mexicana</i> Standl.															+
Malpighiaceae	17 <i>Bunchosia lindeniana</i> A. Juss.															+
Scrophulariaceae	18 <i>Buddleja americana</i> L.															+
Scrophulariaceae	19 <i>Buddleja cordata</i> Kunth subsp. <i>cordata</i>	+	+													+
Scrophulariaceae	20 <i>Buddleja parviflora</i> Kunth															+
Scrophulariaceae	21 <i>Buddleja sessiliflora</i> Kunth															+
Burseraceae	22 <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.															+
Betulaceae	23 <i>Carpinus caroliniana</i> Walt.	+	+	+			+	+	+	+					+	+
Juglandaceae	24 <i>Carya ovata</i> (Mill.) K. Koch var. <i>mexicana</i> (Engelm. Ex Hemsl.) W.E. Manning															+
Meliaceae	25 <i>Cedrela odorata</i> L.															+
Fabaceae	26 <i>Cercis canadensis</i> L.															+
Rosaceae	27 <i>Cercocarpus macrophyllus</i> C.K. Schneid.															+
Solanaceae	28 <i>Cestrum tomentosum</i> L.f.															+
Verbenaceae	29 <i>Citharexylum hidalgense</i> Moldenke	+	+													+
Clethraceae	30 <i>Clethra alcoceri</i> Greenm.	+														+
Clethraceae	31 <i>Clethra mexicana</i> DC.	+		+					+		+			+	+	+

Apéndice. Continúa.

Familia	Especie	Grupos														
		AI	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Clethraceae	32 <i>Clethra pringlei</i> S. Watson		+											+		+
Pentaphragaceae	33 <i>Cleyera integrifolia</i> (Benth.) Choisy															
Pentaphragaceae	34 <i>Cleyera theaeoides</i> (Sw.) Choisy	+	+		+											
Clusiaceae	35 <i>Clusia salvinii</i> Donn. Sm.					+		+								
Cornaceae	36 <i>Cornus disciflora</i> DC.	+	+					+	+	+	+					
Cornaceae	37 <i>Cornus excelsa</i> Kunth	+	+													
Rosaceae	38 <i>Crataegus mexicana</i> Moc. et Sessé ex DC.	+														
Cyatheaceae	39 <i>Cyathea bicrenata</i> Liebm.							+								
Cyatheaceae	40 <i>Cyathea divergens</i> Kunze var. <i>tuereckheimii</i> (Maxon) R.M. Tryon							+								
Cyatheaceae	41 <i>Cyathea fulva</i> (M. Martens et Galeotti) Fée	+			+									+		
Fabaceae	42 <i>Dalbergia palo-escrito</i> Rzed. et Guridi-Gómez					+										
Thymelaeaceae	43 <i>Daphnopsis mollis</i> (Cham. et Schltdl.) Standl.					+										
Araliaceae	44 <i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. et Planch.				+		+		+		+					+
Rubiaceae	45 <i>Deppea grandiflora</i> Schltdl.					+										
Winteraceae	46 <i>Drimys winteri</i> J.R. Forst. et G. Forst.						+							+		
Putranjivaceae	47 <i>Drypetes lateriflora</i> (Sw.) Krug. et Urb.						+									
Celastraceae	48 <i>Elaeodendron trichotomum</i> (Turcz.) Lundell						+									
Myrtaceae	49 <i>Eugenia capuli</i> (Schltdl. et Cham.) Hook et Arn.						+									
Celastraceae	50 <i>Euonymus acuminatus</i> Benth.						+									
Sapindaceae	51 <i>Exothea paniculata</i> (Juss.) Radlk.															+
Oleaceae	52 <i>Forestiera reticulata</i> Torr.						+									
Onagraceae	53 <i>Fuchsia arborescens</i> Sims subsp. <i>arborescens</i>	+														+
Oleaceae	54 <i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh.										+					+
Garryaceae	55 <i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ex Benth. subsp. <i>laurifolia</i>						+				+					+
Rubiaceae	56 <i>Glossostipula concinna</i> (Standl.) Lorence															+
Meliaceae	57 <i>Guarea glabra</i> Vahl															+
Euphorbiaceae	58 <i>Gymnanthes longipes</i> Müll. Arg.															+

Apéndice. Continúa.

Familia	Especie	Grupos														
		AI	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Chloranthaceae	59 <i>Hedyosmum mexicanum</i> C. Cordem.					+			+		+					
Malvaceae	60 <i>Heliocarpus americanus</i> L. var. <i>americanus</i>		+													
Malvaceae	61 <i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.		+												+	
Fabaceae	62 <i>Inga jinicuil</i> Schldtl.				+											
Aquifoliaceae	63 <i>Ilex brandegeana</i> Loes.							+								
Aquifoliaceae	64 <i>Ilex condensata</i> Turcz.		+													
Aquifoliaceae	65 <i>Ilex discolor</i> Hemsl. var. <i>discolor</i>	+	+													
Aquifoliaceae	66 <i>Ilex discolor</i> Hemsl. var. <i>tolucana</i> (Hemsl.) Edwin ex T.R. Dudley												+			
Juglandaceae	67 <i>Juglans mollis</i> Engelm.		+													
Asteraceae	68 <i>Koanophyllon pittieri</i> (Klatt) R.M. King et Rob.					+										
Fabaceae	69 <i>Leucaena pulverulenta</i> (Schldtl.) Benth.		+													
Hamamelidaceae	70 <i>Liquidambar styraciflua</i> L.	+	+	+	+	+						+		+	+	
Lauraceae	71 <i>Litsea glaucescens</i> Kunth		+	+												
Fabaceae	72 <i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth. var. <i>rugosus</i>		+													
Cannabaceae	73 <i>Lozanella enantiophylla</i> (Donn. Sm.) Killip et C.V. Morton	+														
Ericaceae	74 <i>Lyonia squamulosa</i> M. Martens et Galeotti	+											+			
Magnoliaceae	75 <i>Magnolia dealbata</i> Zucc.		+													
Magnoliaceae	76 <i>Magnolia schiedeana</i> Schldtl.	+	+										+		+	
Sabiaceae	77 <i>Meliosma alba</i> (Schldtl.) Walp.		+	+												
Sabiaceae	78 <i>Meliosma dentata</i> (Liebm.) Urb.							+	+							
Melastomataceae	79 <i>Miconia glaberrima</i> (Schldtl.) Naudin				+	+								+		
Melastomataceae	80 <i>Miconia mexicana</i> (Bonpl.) Naudin				+	+										
Monimiaceae	81 <i>Mollinedia viridiflora</i> Tul.													+		
Moraceae	82 <i>Morus celtidifolia</i> Kunth		+													
Myrsinaceae	83 <i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem et Schult var. <i>coriacea</i>	+	+		+										+	
Myrsinaceae	84 <i>Myrsine juergensenii</i> (Mez) Lundell				+					+			+			
Nyssaceae	85 <i>Nyssa sylvatica</i> Marshall	+														
Lauraceae	86 <i>Ocotea chiapensis</i> (Lundell) Standl et Steyerl.					+										
Lauraceae	87 <i>Ocotea helicterifolia</i> (Meisn.) Hemsl.													+		

Apéndice. Continúa.

Familia	Especie	Grupos														
		AI	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Lauraceae	88 <i>Ocotea klotzschiana</i> (Nees) Hemsl.		+													
Lauraceae	89 <i>Ocotea salvinii</i> Mez.		+													
Juglandaceae	90 <i>Oreomunnea mexicana</i> (Standl.) J.-F. Leroy												+			
Araliaceae	91 <i>Oreopanax capitatus</i> (Jacq.) Decne. et Planch.				+											
Araliaceae	92 <i>Oreopanax echinops</i> (Schltdl. et Cham.) Decne. et Planch.												+			
Araliaceae	93 <i>Oreopanax flaccidus</i> Marchal	+														
Araliaceae	94 <i>Oreopanax liebmanni</i> Marchal													+		
Araliaceae	95 <i>Oreopanax peltatus</i> Linden ex Regel						+									
Araliaceae	96 <i>Oreopanax sanderianus</i> Hemsl.						+							+		
Araliaceae	97 <i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. et Planch.	+		+	+				+	+			+		+	+
Oleaceae	98 <i>Osmanthus americanus</i> (L.) A. Gray		+													
Betulaceae	99 <i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K. Koch.	+	+										+			
Rubiaceae	100 <i>Palicourea padifolia</i> (Wild. ex Roem. et Schult) C.M. Taylor et Lorence						+									
Myrsinaceae	101 <i>Parathesis chiapensis</i> Fernald						+									
Myrsinaceae	102 <i>Parathesis tenuis</i> Standl.														+	
Celastraceae	103 <i>Perrottetia ovata</i> Hemsl.	+	+													
Lauraceae	104 <i>Persea americana</i> Mill.		+		+									+		
Asteraceae	105 <i>Perymenium grande</i> Hemsl.						+									
Rosaceae	106 <i>Photinia mexicana</i> (Baill.) Hemsl.		+													
Phyllonomaceae	107 <i>Phyllonoma laticuspis</i> (Turcz.) Engl.														+	
Picramniaceae	108 <i>Picramnia tetramera</i> Turcz.						+									
Pinaceae	109 <i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.		+													
Pinaceae	110 <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl. var. <i>oocarpa</i>						+									
Pinaceae	111 <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham. var. <i>patula</i>	+														
Pinaceae	112 <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. var. <i>pseudostrobus</i>									+						
Platanaceae	113 <i>Platanus mexicana</i> Moric. var. <i>mexicana</i>	+		+	+											
Podocarpaceae	114 <i>Podocarpus matudae</i> Lundell	+			+									+		
Rosaceae	115 <i>Prunus brachybotrya</i> Zucc.	+	+										+	+		+
Rosaceae	116 <i>Prunus serotina</i> Ehrh. subsp. <i>capuli</i> (Cav.) McVaugh	+	+										+			

Apéndice. Continúa.

Familia	Especie	Grupos														
		AI	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Rosaceae	117 <i>Prunus serotina</i> Ehrh. subsp. <i>serotina</i>		+													
Asteraceae	118 <i>Pseudogynoxys chenopodioides</i> (Kunth) Cabrera var. <i>chenopodioides</i>		+													
Rubiaceae	119 <i>Psychotria trichotoma</i> M. Martens et Galeotti				+											
Fagaceae	120 <i>Quercus acutifolia</i> Née															+
Fagaceae	121 <i>Quercus affinis</i> Scheidw.	+														
Fagaceae	122 <i>Quercus candicans</i> Née					+			+	+						
Fagaceae	123 <i>Quercus castanea</i> Née								+							
Fagaceae	124 <i>Quercus eugenifolia</i> Liebm.	+														
Fagaceae	125 <i>Quercus germana</i> Schldtl. et Cham.	+	+												+	+
Fagaceae	126 <i>Quercus laurina</i> Humb. et Bonpl.					+			+		+					
Fagaceae	127 <i>Quercus ocoteifolia</i> Liebm.						+									
Fagaceae	128 <i>Quercus polymorpha</i> Schldtl. et Cham.		+												+	
Fagaceae	129 <i>Quercus rugosa</i> Née								+		+					
Fagaceae	130 <i>Quercus rysophylla</i> Weath.		+													
Fagaceae	131 <i>Quercus sapotifolia</i> Liebm.					+										
Fagaceae	132 <i>Quercus sartorii</i> Liebm.	+	+													+
Fagaceae	133 <i>Quercus scytophylla</i> Liebm.								+		+					
Fagaceae	134 <i>Quercus segoviensis</i> Liebm.					+										
Fagaceae	135 <i>Quercus splendens</i> Née	+														
Fagaceae	136 <i>Quercus uxoris</i> McVaugh										+					
Fagaceae	137 <i>Quercus xalapensis</i> Humb. et Bonpl.	+	+												+	
Celastraceae	138 <i>Quetzalia schiedeana</i> (Loes.) Lundell		+													
Sterculiaceae	139 <i>Reevesia clarkii</i> (Monach. et Moldenke) Solheim		+													
Rhamnaceae	140 <i>Rhamnus capreaefolia</i> Schldtl. var. <i>capreaefolia</i>		+													
Rhamnaceae	141 <i>Rhamnus longistyla</i> C.B. Wolf	+														
Rhamnaceae	142 <i>Rhamnus mucronata</i> Schldtl.					+										
Proteaceae	143 <i>Roupala montana</i> Aubl.		+													
Adoxaceae	144 <i>Sambucus nigra</i> L. var. <i>canadensis</i> (L.) Bolli	+	+	+												
Actinidaceae	145 <i>Saurauia scabrida</i> Hemsl.		+			+										
Actinidaceae	146 <i>Saurauia serrata</i> DC.										+					
Sapindaceae	147 <i>Sapindus saponaria</i> L.		+													
Solanaceae	148 <i>Solanum laurifolium</i> Mill.		+													
Styracaceae	149 <i>Styrax argenteus</i> C. Presl										+					

Apéndice. Continúa.

Familia	Número	Especie	Grupos														
			AI	A2	A3	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Styracaceae	150	<i>Styrax glabrescens</i> Benth.		+	+		+										
Styracaceae	151	<i>Styrax ramirezii</i> Greenm.							+	+							
Symplocaceae	152	<i>Symplocos citrea</i> Lex. ex La Llave et Lex.							+	+							
Myrsinaceae	153	<i>Synardisia venosa</i> (Mast.) Lundell					+										
Taxaceae	154	<i>Taxus globosa</i> Schtdl.		+													
Pentaphylacaceae	155	<i>Ternstroemia huasteca</i> B.M. Barthol.	+														
Pentaphylacaceae	156	<i>Ternstroemia lineata</i> subsp. <i>lineata</i>					+		+	+	+						
Pentaphylacaceae	157	<i>Ternstroemia sylvatica</i> Schtdl. et Cham.		+	+			+									+
Pentaphylacaceae	158	<i>Ternstroemia tepezapote</i> Schtdl. et Cham.						+									
Ticodendraceae	159	<i>Ticodendron incognitum</i> Gómez Laur. et L.D. Gómez												+			
Malvaceae	160	<i>Tilia americana</i> L. var. <i>mexicana</i> (Schtdl.) Hardin		+					+								
Cannabaceae	161	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume var. <i>micrantha</i>		+	+	+											+
Meliaceae	162	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	+	+								+					+
Moraceae	163	<i>Trophis chiapensis</i> Brandegee						+									
Moraceae	164	<i>Trophis mexicana</i> (Liebm.) Bureau	+					+									
Moraceae	165	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.		+													
Staphyleaceae	166	<i>Turpinia insignis</i> (Kunth) Tul.				+		+								+	
Staphyleaceae	167	<i>Turpinia occidentalis</i> (Sw.) G. Don subsp. <i>occidentalis</i>	+	+								+					
Ulmaceae	168	<i>Ulmus mexicana</i> (Liebm.) Planch.		+													
Ericaceae	169	<i>Vaccinium leucanthum</i> Schtdl.	+	+													
Asteraceae	170	<i>Verbesina apleura</i> S.F. Blake						+									
Adoxaceae	171	<i>Viburnum ciliatum</i> Greenm.	+														
Adoxaceae	172	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth.						+									
Adoxaceae	173	<i>Viburnum stenocalyx</i> (Oerst.) Hemsl.												+			
Adoxaceae	174	<i>Viburnum tiliifolium</i> (Oerst.) Hemsl.	+														
Cunoniaceae	175	<i>Weinmannia pinnata</i> L.												+			+
Celastraceae	176	<i>Wimmeria concolor</i> Schtdl. et Cham.			+												
Salicaceae	177	<i>Xylosma flexuosa</i> (Kunth) Hemsl.	+	+	+							+					+
Rutaceae	178	<i>Zanthoxylum clava-herculis</i> L.	+														

