



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

División de Ciencias Forestales
Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales

**ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL
BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN MÉXICO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

LUCIA GUADALUPE LÓPEZ ARCE

BAJO LA SUPERVISIÓN DE:

DR. ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS



DIRECCION GENERAL ACAD
DEPTO. DE SERVICIOS ESCO
ORGINA DE EXAMENES PROFES



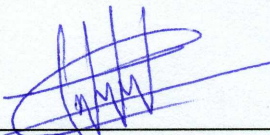
Chapingo, Estado de México, diciembre, 2017

ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN MÉXICO

Tesis realizada por **Lucia Guadalupe López Arce** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

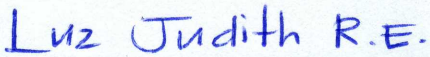
Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales

Director



Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas

Asesor



Dra. Luz Judith Rodríguez Esparza

Asesor



Dr. Diódoro Granados Sánchez

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
DATOS BIOGRÁFICOS	vii
ABSTRACT	ii
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición del problema de investigación.....	2
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivo General	3
1.4 Objetivos particulares	4
CAPITULO 2 MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Nicho ecológico y distribución potencial	6
2.3 Modelos de distribución de especies.....	8
2.4 Cambio climático.....	12
2.5 Bosque mesófilo de montaña en México	17
2.5.1 Distribución y superficie del bosque mesófilo de montaña en México.....	17
2.5.2 Especies arbóreas representativas del bosque mesófilo de montaña en México	20
2.6 Descripción de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México	26
2.7 Integración de datos espaciales.....	35
2.8 Métodos para determinar clases de datos espaciales.....	36
CAPITULO 3 Distribución potencial de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México	38
Potential distribution of 19 representative species of Mexican cloud forest.....	38
3.1 RESUMEN	38

3.2	ABSTRACT	39
3.3	INTRODUCCIÓN	40
3.4	MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.5	RESULTADOS	44
3.6	DISCUSIÓN	55
3.7	CONCLUSIONES	60
3.8	BIBLIOGRAFIA.....	60
CAPITULO 4 Áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México.....		65
Priority areas for the conservation of Mexican cloud forest		65
4.1	RESUMEN	65
4.2	ABSTRACT	65
4.3	INTRODUCCIÓN	66
4.4	MATERIALES Y MÉTODOS	67
4.5	RESULTADOS	69
4.6	DISCUSIÓN	75
4.7	CONCLUSIONES	76
4.8	BIBLIOGRAFIA.....	76
CONCLUSIONES GENERALES.....		79
LITERATURA CITADA		80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie potencial actual por especie	46
Cuadro 2. Valores de AUC por especie	54
Cuadro 3. Clasificación por áreas de aptitud potencial y sus superficies.....	70
Cuadro 4. Áreas de alta aptitud potencial clasificadas en áreas prioritarias para la conservación del BMM, áreas potenciales para reforestación y áreas con BMM actuales no presentes en esta clasificación.	72
Cuadro 5. Distribución de áreas prioritarias para la conservación del BMM en México.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama BAM (<i>biotic, abiotic and movements</i>)	8
Figura 2. Ocurrencias geográficas de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña	45
Figura 3. Distribución potencial de: a) <i>Carpinus caroliniana</i> Walter, b) <i>Carya ovata</i> (Mill.) K.Koch, c) <i>Clethra alcoceri</i> Greenm y d) <i>Clethra mexicana</i> DC.	48
Figura 4. Distribución potencial de: a) <i>Cornus disciflora</i> Sessé & Moc, b) <i>Cyathea mexicana</i> Schltl & Cham, c) <i>Eugenia xalapensis</i> (Kunth) DC y d) <i>Liquidambar styraciflua</i> L.	49
Figura 5. Distribución potencial de: a) <i>Magnolia schiedeana</i> Schtl, b) <i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. & Planch, c) <i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K.Koch y d) <i>Persea schiedeana</i> Nees.....	50
Figura 6. Distribución potencial de: a) <i>Platanus mexicana</i> Moric, b) <i>Podocarpus reichei</i> J.T. Buchholz & N.E. Gray, c) <i>Quercus candicans</i> Née y d) <i>Quercus eugeniaefolia</i> Liebm.....	51
Figura 7. Distribución potencial de: a) <i>Quercus germana</i> Cham. & Schtl, b) <i>Ternstroenia lineata</i> DC y c) <i>Trophis mexicana</i> (Lieb.) Bur.....	53
Figura 8. Serie de datos de aptitud ordenada del valor mínimo al máximo de confluencia de áreas potenciales	70
Figura 9. Mapa de clases de aptitud potencial derivado de la unión de 19 especies representativas del BMM en México.	71
Figura 10. Distribución de las áreas con distribución potencial alta comparadas con áreas actuales de distribución del BMM referido por INEGI (2013).	72
Figura 11. Áreas prioritarias para la conservación del BMM en México.	74

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por la gran oportunidad que me brindó para obtener el grado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para continuar con mis estudios de posgrado.

Al Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas, por su paciencia, conocimientos brindados y tiempo brindado durante el proceso de mi formación de posgrado y desarrollo de la investigación. Un gran mentor en esta loable formación, mi admiración y respeto.

A la Dra. Luz Judith Rodríguez Esparza, por su atención, confianza y amabilidad, así como sus valiosas recomendaciones y tiempo durante la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Diódoro Granados Sánchez, por su tiempo, conocimientos brindados y las recomendaciones realizadas durante esta investigación.

A mis compañeros: Lupita, Margarito, Beto, Pablo, Cinthia, Vicente, Faby, Pablo Hernández y Alfonso.

DEDICATORIA

A mis principales motores de vida y mis más grandes inspiraciones para seguir adelante en cada momento, mis padres. Enrique López Hernández por ser mi más grande ejemplo de vida y trabajo constante, por demostrarme día a día que las cosas se pueden hacer cuando se quieren. Elvira Arce Cruz mi mayor ejemplo de fortaleza y dedicación, mi más grande ejemplo de nobleza y sencillez, con todo mi cariño y amor para ellos dedico este logro.

A mis hermanos, Omar y Sari, fuentes de fortaleza y cariño porque cada vez que los necesité estuvieron ahí, son otro motivo más de este gran logro, con todo mi cariño, admiración y respeto.

A todas las personas que estuvieron conmigo en los momentos difíciles y felices de mi vida, cada una de ellas ha significado una parte importante de mi vida y un motivo del logro de seguir adelante.

A mis amigos de toda la vida, Maribel, Marinel, Alberto, Andy, Angie, Gaby, Karina, Rosi y Lizeth.

A todos mis compañeros de escuela y demás amigos de la universidad, que sin duda forjan el camino y fortalecen el ánimo a seguir adelante.

DATOS BIOGRÁFICOS

Lucia Guadalupe López Arce (08 de enero de 1990) originaria de Cintalapa, Chiapas. Estudió la preparatoria agrícola del año 2005 al 2008 en la Universidad Autónoma Chapingo en el Estado de México, posteriormente cursó la Licenciatura en Ingeniería Forestal en la División de Ciencias Forestales de dicha Universidad. Obteniendo el título de Ingeniero Forestal en diciembre de 2012, con la tesis titulada “Productores forestales y la superficie que cubren en el estado de Chiapas”.

En el año 2013 laboró en proyectos de cambio de uso de suelo para establecimientos carreteros y mineros en el estado de Guerrero a través de la empresa Asesoría Forestal Técnica y Operativa (ASFOR). De 2013 a 2015 operó y coordinó acciones de conservación y restauración en la microcuenca Cofre de Perote, como área de influencia del departamento Operativo del Proyecto Cofre de Perote de la Comisión Nacional Forestal en el estado de Veracruz. En el segundo semestre del año 2015 aplicó examen para ingresar al programa de posgrado en la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo, al ser aceptada, en enero de 2016 inició los estudios en la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales, donde concluyó sus estudios de posgrado en el año 2017.

ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN MÉXICO¹

Lucia Guadalupe López Arce

RESUMEN

Con el objetivo de realizar un estudio sobre el bosque mesófilo de montaña en México para la obtención de áreas prioritarias para su conservación, se eligieron 18 especies arbóreas y un helecho arborescente que forman parte de estas comunidades vegetales en el territorio mexicano. Se obtuvo la distribución potencial de cada una de las 19 especies mediante el uso del algoritmo Maxent, el cual se alimentó con información espacial de 1439 ocurrencias geográficas obtenidas del Inventario Nacional Forestal y de Suelos realizado por la Comisión Nacional Forestal y una segunda fuente de información fue la base mundial de datos sobre flora y fauna, además se integró también el conjunto de 19 variables bioclimáticas. La validación de los 19 modelos obtenidos se realizó utilizando el cálculo del área bajo la curva (AUC) y se obtuvo un valor mayor a 0.5, la desviación estándar obtenida en la mayoría de las especies fue menor a 0.1. Para la obtención de áreas prioritarias se integraron los mapas de distribución potencial de las 19 especies, se realizó una clasificación de acuerdo a la confluencia de dichas especies en cuanto a espacio geográfico, lo cual permitió la obtención de un área crítica que se comparó con la información de distribución actual del bosque mesófilo de montaña.

Palabras clave: Maxent. Ocurrencias geográficas. Distribución potencial.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.
Autor: Lucia Guadalupe López Arce.
Director: Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas.

PRIORITY AREAS FOR THE CONSERVATION OF CLOUD FOREST IN MEXICO²

Lucia Guadalupe López Arce

ABSTRACT

With the objective of carrying out a study on the mesophilic mountain forest in Mexico to obtain priority areas for its conservation, 18 arboreal species and an arborescent fern were chosen as part of these plant communities in the Mexican territory. The potential distribution of each of the 19 species was obtained through the use of the Maxent algorithm, which was fed with spatial information of 1439 geographical occurrences obtained from the National Forest and Soil Inventory made by the National Forestry Commission and a second source of information. It was the world database of flora and fauna data, and the set of 19 bioclimatic variables was also integrated. The validation of the 19 models obtained was done using the calculation of the area under the curve (AUC) and a value greater than 0.5 was obtained, the standard deviation obtained in most of the species was less than 0.1. To obtain priority areas, maps of potential distribution of the 19 species were integrated, a classification was made according to the confluence of these species in terms of geographical space, which allowed obtaining a critical area that was compared with the current distribution information of the mountain mesophilic forest.

Keywords: Maxent. Geographic occurrences. Potential distribution

² Thesis of *Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales*. Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Lucia Guadalupe López Arce.
Advisor: Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El bosque mesófilo de montaña (BMM), también, conocido como bosque de niebla, constituye una serie de comunidades vegetales, que se caracterizan por prosperar en lugares donde prevalece un clima húmedo y a la vez fresco. Son escasas las regiones donde se conjugan temperatura y humedad para el desarrollo de este tipo de vegetación, (Rzedowski, 1996). Su presencia en México es limitada y fragmentada; en 1996, Rzedowski calculó una superficie ocupada por este tipo de vegetación entre 0.5 y 1% del territorio mexicano, sin embargo Williams-Linera (2012) menciona una ocupación de 0.8% con relación a la superficie de México.

La importancia ecológica del BMM es resaltada por la existencia de una alta biodiversidad, Rzedowski (1996) catalogó a este tipo de vegetación como el más diverso por unidad de superficie en el territorio de la República Mexicana, ya que representa alrededor del 10% de la riqueza florística. Además, la presencia de especies como *Quercus* sp, *Magnolia* spp., *Podocarpus* sp., y *Liquidambar* sp., entre otras, atribuyen un valor comercial al BMM, (Rzedowski, 1978). Por lo anterior, las regiones que poseen BMM en México, han sido las más preferidas por habitantes de las comunidades por el suministro de materias primas como maderas, frutos, gomas, resinas, fibras, plantas ornamentales y para el desarrollo de la agricultura de temporal, principalmente para el cultivo de café, debido a que tienen un clima favorable, humedad, lluvias, y una gran cantidad de materia orgánica en el suelo (Ortega y Castillo, 1996).

Si se comparan las coberturas actual y potencial del bosque mesófilo de montaña en México, éste sigue existiendo en casi todas las áreas correspondientes a su distribución natural, pero en muchas de ellas ha sido reducido a fragmentos muy pequeños, incapaces de sustentar a largo plazo poblaciones viables de flora y fauna típicas de este hábitat (Challenger, 1998). Ortega y Castillo, (1996)

consideran al BMM como un ecosistema frágil, dado que por tener un proceso sucesional lento, su recuperación se ve alterada fácilmente.

Derivado de un estudio realizado por González-Espinosa, Meave, Loera-Hernández, Ibarra-Manríquez y Newton, (2011) se reporta que más del 60% de los árboles de los bosques nubosos mexicanos están amenazados de extinción. Challenger (1998) coincide al ubicar a este tipo de ecosistema en un concepto inherentemente frágil y por lo tanto la conservación de estos ecosistemas en México es prioritaria.

La presente investigación se basa en la selección de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México, para las cuales, se obtiene la distribución potencial actual y de forma posterior, se integran espacialmente las 19 áreas potenciales y se obtiene un mapa de áreas prioritarias dado por la confluencia geográfica de dichas áreas potenciales.

1.1 Definición del problema de investigación

La conservación del bosque mesófilo de montaña es un tópico importante en México, dada su distribución restringida, fragmentada y limitada; así mismo la vulnerabilidad de su permanencia ante las amenazas de diversos factores antropogénicos y de cambio climático. Un estudio realizado por CONABIO (2010), identificó 13 regiones en donde las acciones encaminadas a su manejo sustentable y conservación son más urgentes, mencionó el cambio climático como la principal amenaza a su permanencia que enfrenta este tipo de vegetación, seguido por la ganadería, la tala ilegal y en menor medida, aunque con impactos severos, la conversión a cultivos agrícolas y la expansión urbana.

Por lo anterior, es necesario generar instrumentos útiles que puedan ser insertados en estrategias para lograr su conservación, y formar bases contundentes para la toma de decisiones dirigidas a la preservación y sustentabilidad de este ecosistema ante las predicciones sobre cambios globales del clima en un tiempo futuro.

La disponibilidad de información sobre las áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña, estimadas a partir de las razones de cambio climático en un tiempo futuro, permitiría enfocar acciones regionales y locales para la conservación de dicho ecosistema.

1.2 Justificación

La distribución actual del bosque mesófilo de montaña en México es menor al 1% del territorio (Rzedowski, 1996), un dato actual ha sido obtenido por Williams-Linera (2012) y menciona una ocupación de 0.8% con relación a la superficie de México. La biodiversidad existente en este tipo de vegetación es aproximadamente del 10% con relación al total de México, se trata del ecosistema más biodiverso en cuanto a unidad de superficie. Así mismo se ha referido como un ecosistema frágil y vulnerable, ya que su capacidad de regeneración es lenta frente a los factores que amenazan su conservación y permanencia como el cambio climático, la ganadería, la tala ilegal y, la conversión a cultivos agrícolas y la expansión urbana.

De acuerdo con la complejidad de la diversidad en el BMM, su conservación puede lograrse con base en el conocimiento del conjunto de especies de gran importancia para este ecosistema, el conocimiento sobre la distribución potencial y las áreas vulnerables para su conservación.

De acuerdo a una elección previa de 19 especies arbóreas comunes en el BMM en México, las cuales se refieren a 18 árboles y 1 helecho arborescente catalogado como una de las especies más exclusivas de estos bosques, para las cuales se obtuvieron mapas de distribución potencial en el territorio mexicano, así también el presente estudio contribuirá con la disponibilidad de mapas sobre las áreas prioritarias para su conservación.

1.3 Objetivo General

Identificar áreas potenciales para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México a través del modelado de distribución potencial actual e

integración de dichas áreas para obtener áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña.

1.4 Objetivos particulares

- ❖ Obtener las ocurrencias geográficas de 19 especies arbóreas representativas del BMM a través de fuentes de información disponibles para generar una base de datos.
- ❖ Identificar áreas de distribución potencial actual de 19 especies arbóreas del BMM, mediante el uso del algoritmo Maxent para obtener un escenario actual de distribución del BMM.
- ❖ Identificar áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México mediante la integración de áreas potenciales de 19 especies.

CAPITULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1 Antecedentes

En un esfuerzo por contribuir al mantenimiento del BMM, la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO, 2010), identificó 13 regiones en donde las acciones encaminadas a su manejo sustentable y conservación son más urgentes de atender, mencionó al cambio climático como la principal amenaza a su permanencia que enfrenta este tipo de vegetación, seguido por la ganadería, la tala ilegal y en menor medida, aunque con impactos severos, la conversión a cultivos agrícolas y la expansión urbana.

Rojas-Soto, Sosa & Ornelas (2012) basados en la modelación de nicho ecológico para 16 especies del bosque mesófilo de montaña, determinaron que los bosques nubosos del este de México podrían enfrentar una amenaza grave con el cambio climático previsto para 2050 debido a la migración ascendente a elevaciones más altas, una disminución en su área ocupada y una reducción o desaparición del rango actual de bosque nuboso. Tal que predijeron las migraciones ascendentes del bosque nublado hacia altitudes más altas (aproximadamente 200 m elevación del promedio actual sobre el nivel del mar), lo que sugiere una futura extirpación del bosque nuboso en la región de Los Tuxtlas y Tamaulipas y dos pequeñas áreas ubicadas en los picos más altos de la Reserva de la Biósfera El Cielo en Tamaulipas.

Otro estudio (Ponce-Reyes, Reynoso-Rosales, Watson, VanDerWal, Fuller, Pressey & Possingham, 2012) basado en la superposición presente y futura con las áreas protegidas de los bosques nubosos para dos escenarios diferentes, tomando en cuenta el cambio potencial de uso de la tierra, concluyeron que las áreas climáticamente adecuadas para el bosque nuboso en México disminuirán en un 68%, es decir, alrededor de 5,600 km² para 2080. Determinaron también que las áreas protegidas cubrirían aproximadamente el 12% de los bosques nublados existentes en ese tiempo y derivado de su estudio determinaron que de

estas áreas protegidas menos del 1% (160 km²) apenas se superpone con áreas que son climáticamente adecuadas para el bosque nuboso en 2080.

Ante las evidencias sobre la perturbación de este valioso bosque nuboso, el gobierno mexicano ha emprendido estrategias enfocadas a la conservación de los bosques mesófilos de montaña, uno de ellos es el Corredor Ecológico de la Sierra Madre Oriental (CESMO), que va desde los estados de San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Puebla y Veracruz.

2.2 Nicho ecológico y distribución potencial

Uno de los primeros acercamientos al concepto de nicho ecológico, es abordado por Grinnell (1917a), quien menciona que las distribuciones de animales vertebrados son dadas por rangos limitados de variables o factores, en un área grande como Norte América, un solo factor puede aparecer como el delimitador más frecuente de la distribución, o incluso el más efectivo, en mayor o menor grado, aunque otros factores sean eficaces también, este factor es la temperatura. En torno a lo anterior, Grinnell (1917b) se refiere al “nicho” de *Toxostoma redivivum* cuando habla de su comportamiento y la dependencia que tiene a tipos específicos de vegetación.

En 1957, Hutchinson formaliza de manera abstracta lo que se entiende por nicho ecológico en su definición del concepto “Nicho Fundamental” (N_1) como un hipervolumen ($X_1, X_2, \dots, X_n$) de n -dimensiones, donde cada punto o dimensión corresponde a un estado del medio que permitiría a una especie existir indefinidamente, se consideran todas las variables (X_n) tanto físicas como biológicas el nicho fundamental de cualquier especie que definirá completamente sus propiedades ecológicas. Sin embargo, este modelo se refiere a un solo instante de tiempo.

Más adelante, Jackson y Overpeck (2000), distinguen nichos fundamentales, potenciales y realizados: El nicho fundamental representa la respuesta de una especie a todas las posibles combinaciones de todas las variables ambientales. El nicho potencial es un subconjunto del nicho fundamental, que comprende la

porción del nicho fundamental que corresponde a combinaciones realizadas de las variables ambientales en un momento dado. Si estas realizaciones cambian como consecuencia del cambio ambiental, el nicho potencial cambiará en forma, tamaño y / o posición en el espacio ambiental. El nicho realizado comprende un subconjunto del nicho potencial, debido a las limitaciones impuestas por los procesos bióticos, que incluyen no sólo la competencia, el consumo y el mutualismo, sino también la dispersión y la colonización.

Soberón y Nakamura (2009) definen dos tipos de nicho, el Eltoniano y el Grinneliano; el primero considera al espacio y las interacciones ecológicas a través del consumo de recursos de una especie, mientras que el segundo es determinado por las variables ambientales que no interactúan entre ellas de manera contundente y cambian poco en el tiempo, a las que llamaron “scenopoéticas” en referencia a Hutchinson (1978).

Sobre el nicho Grinneliano, Soberón y Nakamura (2009) proponen un esquema basado en dos perspectivas: ambiental y geográfica. En la primera, se engloba un subconjunto de variables ambientales que la especie necesita del total de combinaciones posibles y conocidas de un espacio determinado. En la segunda, proyectan por medio de un mapa las áreas geográficas donde ocurren las combinaciones de variables del Nicho Potencial.

Los autores anteriormente citados proponen un diagrama al que llamaron BAM (*biotic, abiotic and movements*) (Figura 1), el cual describe el nicho ecológico de las especies. El diagrama contempla las interacciones bióticas (B), las abióticas (A) y el movimiento de las especies (M), donde G es el espacio geográfico, G_0 es el espacio donde actualmente se encuentra una especie hipotética y G_1 se refiere al área con las interacciones bióticas y ambientales donde puede distribuirse la especie (Nicho Potencial) en función de los factores que afectan su movilización y las barreras del medio. Los puntos en color negro son los datos de colectas o localidades donde se sabe que históricamente se ha encontrado a la especie.

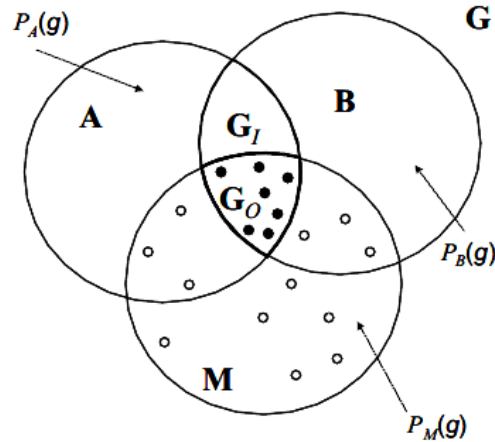


Figura 1. Diagrama BAM (*biotic, abiotic and movements*)

El presente trabajo se basa en la perspectiva de nicho Grinnelliano por medio de su proyección geográfica en mapas y se hace referencia a la G_I como Distribución Potencial (DP).

2.3 Modelos de distribución de especies

Diversos estudios han abordado la utilidad de los modelos de nicho ecológico empleados para predecir áreas de distribución potenciales.

Guisan and Zimmerman (2000), realizan una compilación de diferentes modelos de distribución de especies, agrupan dichos modelos de acuerdo a sus limitaciones y objetivos. En el primer grupo se encuentran los modelos analíticos o matemáticos, los cuales se centran en la generalidad y precisión, son diseñados para predecir la respuesta exacta dentro de una realidad limitada o simplificada, en ellos se listan la ecuación de Lotka-Volterra y sus variantes, la ecuación de crecimiento logístico general o la ley de crecimiento de Blackman. Un segundo grupo enfocado a ser realista y general los son los modelos mecánicos, fisiológicos, causales o de proceso y basan sus predicciones sobre relaciones de causa y efecto, dicha relación se considera biológicamente funcional, estos modelos tienen representatividad debido a la corrección teórica de la respuesta pronosticada. El tercer grupo se denominan empíricos o estadísticos y su propósito principal es condensar los hechos empíricos.

Los gradientes indirectos son variables que no tienen relevancia fisiológica directa para el rendimiento de una especie (pendiente, aspecto, elevación, posición topográfica, tipo de hábitat, geología) (Guisan and Zimmerman, 2000).

Al respecto sobre la modelación de distribución de comunidades o de especies individuales, una evidencia paleoecológica de que las especies vegetales nunca han sido estables, debido principalmente a las variaciones pasadas del clima (Webb, 1981; Prittcce, 1986b, Ritchie 1986), dado que los conjuntos modernos de especies no tienen historias largas (Davis, 1983; Birks, 1993), basado en todo lo anterior Guisan and Zimmerman, (2000) aseveran que es poco probable que las comunidades se muevan como una entidad bajo condiciones climáticas cambiantes, por lo tanto la modelación de especies en lugar de comunidades se acerca más a lo que se cree realista. Una alternativa a las comunidades de modelado es simular una selección de especies dominantes y clasificar después sus distribuciones superpuestas, con el fin de generar mapas de comunidades simuladas (Lenihan, 1993, Austin, 1998, Guisan y Theurillat, 2000).

Guisan and Thuiller, (2005) mencionan que la mayoría de los enfoques de modelización desarrollados para predecir las distribuciones de especies de plantas o animales, tienen sus raíces en la cuantificación de las relaciones entre especies y medio ambiente. Una de las áreas en la que recientemente se ha convertido en una herramienta cada vez más importante es en biología de la conservación y cambio climático.

Más tarde, Elith et al., (2009) definen un modelo de distribución de especies (SDM) como un modelo que relaciona los datos de distribución de especies (ocurrencia o abundancia en ubicaciones conocidas) con información sobre las características ambientales y/o espaciales de esos lugares. El modelo puede utilizarse para proporcionar comprensión y/o predecir la distribución de la especie a través de un paisaje. También se han denominado SDMs a: modelos bioclimáticos, modelos de nicho ecológico (ENMs), modelos de hábitat, funciones de selección de recursos (RSFs), mapas de rangos o modelos espaciales.

En los sistemas terrestres, el clima domina las distribuciones a escala global mientras que unos pocos cientos de kilómetros, la topografía y el tipo de roca crean las variaciones más finas del clima, la disponibilidad de nutrientes y el flujo de agua que influye en las especies.

En cuanto a la importancia de las escalas espaciales y la elección de variables, Guisan and Zimmerman, (2000) llegan a la conclusión de que para el modelado a pequeñas escalas espaciales y en topografía compleja el uso de variables indirectas puede proporcionar mejores predicciones, mientras que para simulaciones a grandes escalas espaciales el uso de gradientes directos (temperatura, pH) y de recursos (materia y energía que consumen las plantas o los animales: nutrientes, agua) debería ser la primera opción.

Estudios encaminados a la conservación de diversas especies han popularizado el uso de registros de colecciones y herbarios para modelar las distribuciones de especies a través de un clima actual y luego proyectar distribuciones en un futuro, para poner de relieve los posibles efectos del cambio climático (Malcolm et al., 2006). Elith et al., (2006), mencionan que la predicción de la distribución de las especies es fundamental para diversas aplicaciones en ecología, evolución y ciencia de la conservación.

A finales de la década de los 70's se comenzaron a desarrollar los primeros modelos teóricos en los cuales se buscaba definir el nicho en términos de su distribución espacial (Kessell, 1979). Durante la década de los 80 comenzaron a generarse las primeras aproximaciones con carácter predictivo a distintos niveles de organización (especies, comunidades). Box (1981) es el primero en establecer un modelo global para la predicción de la distribución de los biomas.

Palacios, Rodríguez, Hernández, Jiménez y Tirado (2016) determinaron áreas potenciales para el establecimiento de *Prosopis laevigata* (Humb. Et Bonpl. Ex Wild) M.C. Johnston en México basadas en un modelo de nicho ecológico mediante BIOCLIM y la validación fue realizada con un análisis de área bajo la curva (ROC) y el estimador Kappa, los resultados sugieren que *P. laevigata*

puede crecer de manera óptima en 15% de las provincias y los factores más limitantes que enfrenta son la estacionalidad de precipitación y la temperatura, mientras que los análisis ROC y Kappa indican que el modelo utilizado tiene un excelente desempeño y una alta probabilidad de acierto (ROC 0.0973; Kappa 0.915), concluyen que estas fórmulas son adecuadas para determinar áreas potenciales para el desarrollo de la especie.

Otro estudio se realizó con el objetivo de determinar el posible desplazamiento de *Crataegus mexicana* DC. de las actuales zonas de adaptación por efecto del cambio climático, mediante el algoritmo BIOCLIM de DIVA-GIS versión 7.1 (Hijmans et al, 2004), utilizando primero la base de datos Woldclim, para después comparar con el modelo de cambio climático CCM3 al año 2050. Al comparar los mapas de ambos modelos se puede observar una ampliación de las zonas de muy buena y excelente adaptación en el modelo con los datos CCM3, lo que indica que el tejocote se verá favorecido en su adaptación por los gases de efecto invernadero. De acuerdo con los modelos planteados en este estudio, el tejocote podría ampliar sus zonas de adaptación por el posible cambio climático. La temperatura y la precipitación lo podrían favorecer principalmente para la región del eje volcánico transmexicano (Núñez-Colín, Escobedo-López, Hernández-Martínez y Ortega-Rodríguez, 2012).

Rojas-Soto, et al. (2012) con el objetivo de estudiar cómo el cambio climático podría afectar la distribución del bosque nublado en el este y sur de México para el año 2050, utilizó el modelado de nicho ecológico mediante GARP y Maxent, con base en predicciones y datos climáticos de WorldClim y los escenarios de cambio climático A2 y B2 del IPCC, para una selección de 20 especies, de las cuales se consideró plantas superiores y aves templadas o tropicales. Observaron una reducción del 54 al 76% del bosque nuboso, principalmente en la región norte de su rango actual (Sierra Madre Oriental) y la vertiente del Pacífico en Chiapas. Con el cambio climático pronosticado para 2050, el bosque nuboso en la región de Los Tuxtlas y la Reserva de la Biósfera El Cielo puede

enfrentar una grave amenaza de extinción debido a la migración ascendente observada a las elevaciones más altas.

2.4 Cambio climático

El IPCC (2002) se refiere a cambio climático como cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de una actividad humana. La referencia del CMCC difiere a lo anterior, ya que describe que el cambio climático es un cambio atribuible de manera directa o indirecta a actividades humanas que altera la composición de la atmósfera mundial y que sucede de forma adicional a la variabilidad climática observada en periodos de tiempo comparables.

Desde 1950, aproximadamente, se han observado cambios en numerosos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Es muy probable que el número de días y noches fríos haya disminuido y que el número de días y noches cálidos haya aumentado a escala mundial. Es también probable que la frecuencia o intensidad de las precipitaciones intensas haya aumentado en América del Norte y Europa, (IPCC, 2013).

Las modificaciones en la distribución de las especies que provocarán los cambios ambientales han sido abordadas por Jackson y Overpeck (2000) desde el concepto de nicho ecológico. Los cuales mencionan que los cambios en la posición del espacio ambiental realizado resultan de cambios en los valores de las variables ambientales en ubicaciones específicas en el espacio geográfico. Los organismos individuales se enfrentan con uno de dos potenciales respuestas cualitativas. En primer lugar, en los lugares donde el cambio ambiental se mantiene dentro del nicho fundamental, los individuos pueden persistir en el sitio, aunque pueden cambiar en abundancia. En segundo lugar, en los lugares donde el cambio va más allá de la tolerancia ambiental de la especie, la población sufrirá extinción local. Sin embargo, los cambios pueden crear oportunidades para la colonización de sitios previamente inadecuados.

Predicen no sólo que el cambio ambiental alterará la composición de las comunidades ecológicas, sino que también puede alterar la secuencia de especies organizadas a lo largo de los gradientes espaciales. Pueden surgir diferentes combinaciones de especies a lo largo de un gradiente espacial, y las especies pueden incluso invertir posiciones a lo largo del gradiente a medida que cambia el ambiente (Jackson y Overpeck, 2000).

De manera algo arbitraria, (Jackson y Overpeck, 2000) han clasificado este espectro en cuatro modos de respuesta distintos. Modo 1: Las poblaciones siguen ocupando los mismos sitios que antes del cambio. Modo 2: Las poblaciones cambian localmente a lo largo de gradientes de hábitat (por ejemplo, elevación, textura del suelo). Modo 3: Las poblaciones sufren migración, colonizando un territorio adecuado a 101 y 103 km del origen, a menudo desapareciendo del territorio anteriormente ocupado. Modo 4: Las poblaciones sufren la extinción local mientras que no colonizan el nuevo territorio, dando por resultado la contracción del rango.

Estudios realizados por este grupo de expertos (IPCC, 2013), permiten asegurar que la capa superior del océano (0-700 metros) se haya calentado entre 1971 y 2010, y es probable que se haya calentado entre la década de 1870 y 1971. Los 75 metros superiores se han calentado en 0.11°C por decenio, durante el periodo comprendido entre 1971 y 2010. En cuanto a los cambios observados en los glaciares en todo el mundo, el IPCC asevera que es muy probable que el ritmo de la pérdida de hielo de los glaciares en todo el mundo, excepto los glaciares situados en la periferia de los mantos de hielo, haya sido en promedio de 226 Gt/año-1 durante el periodo 1971-2009 y de 275 Gt/año-1 , durante el periodo 1993-2009.

Es muy probable que la tasa media de elevación promediada mundial del nivel del mar haya sido de 3.2 mm/año-1 entre 1993 y 2010, mientras que para el periodo entre 1901 y 2010 fue de 1.7 mm/año-1 . Existe un nivel de confianza muy alto en cuanto a que, en el último período interglacial, durante varios miles de

años el nivel medio global máximo del mar estuvo por lo menos 5 metros por encima del actual (IPCC, 2013).

En los últimos 800,000 años, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado a niveles sin precedentes. Las emisiones anuales de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles y la producción de cemento fueron de 8.3 GtC/año-1, promediados entre 2002 y 2011 GtC/año-1 en 2011, un 54% por encima del nivel correspondiente a 1990. Las emisiones producidas por el cambio de uso de suelo fueron, en promedio, de 0.9 GtC/año-1 durante el período de 2002 a 2011 (IPCC, 2013).

La comprensión de los cambios recientes en el sistema climático es el resultado de la combinación de observaciones, estudios de los procesos de retroalimentación y simulaciones de modelos. Los modelos reproducen patrones y tendencias de la temperatura en superficie a escala continental observados a lo largo de muchos decenios, en particular el calentamiento más rápido producido desde mediados del siglo XX y el enfriamiento que se produce inmediatamente tras las grandes erupciones volcánicas.

El IPCC (2013), afirma que es sumamente probable que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. Sin embargo, es probable que los gases de efecto invernadero hayan contribuido al calentamiento medio global en superficie en un rango de 0.5°C a 1.3°C durante el período de 1951 a 2010, mientras que el efecto refrigerante de los aerosoles se sitúan en un rango de -0.6°C y 0.1°C. Es muy probable que la influencia antropogénica, sobre todo los gases de efecto invernadero y el agotamiento del ozono estratosférico, haya dado lugar a un patrón observado detectable del calentamiento troposférico y al correspondiente enfriamiento en la estratósfera inferior desde 1961.

Entre otras atribuciones, el IPCC (2013) menciona que es probable que las influencias antropógenas hayan afectado al ciclo global del agua desde 1960, influencias que han contribuido a los aumentos observados en el contenido de

humedad en la atmósfera, los cambios a escala global en los patrones de precipitación en la superficie terrestre, a la intensificación de precipitaciones fuertes sobre regiones continentales donde se dispone de suficientes datos, y a cambios en la salinidad del océano en su capa superficial y por debajo de ella.

Es probable que para el final de este siglo, en las latitudes altas y en el océano pacífico ecuatorial se experimente un aumento en la precipitación media anual en el marco del escenario RCP8, 5. Existe un nivel de confianza alto en cuanto a que el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) seguirá siendo el modo dominante de variabilidad interanual en el Pacífico tropical, con efectos que se sentirán a nivel mundial en el siglo XXI.

El rango de proyecciones de la calidad del aire (ozono y partículas PM_{2.5} en el aire cerca de la superficie) viene determinado principalmente por las emisiones (incluido el CH₄) y no por el cambio climático físico (nivel de confianza medio). Existe un nivel de confianza alto en cuanto a que a nivel mundial el calentamiento hará disminuir el ozono general en superficie. Unos niveles elevados de CH₄ (como en el escenario RCP8, 5) pueden compensar ese declive, haciendo que el ozono general en superficie aumente en promedio para el año 2100 en aproximadamente 8 ppm (un 25% de los niveles actuales) frente a los escenarios en que se dan pequeñas variaciones de CH₄ (como en los escenarios RCP4, 5 y RCP6, 0).

Las emisiones de CO₂ acumuladas determinarán en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y posteriormente. La mayoría de los aspectos del cambio climático perdurarán durante muchos siglos, incluso aunque pararan las emisiones de CO₂, lo que supone una notable inexorabilidad del cambio climático durante varios siglos, debido a las emisiones de CO₂ pasadas, presentes y futuras. Gran parte del cambio climático antropógeno, resultante de las emisiones de CO₂, es irreversible en una escala temporal de entre varios siglos y milenios, excepto en el caso en que se produzca una abundante remoción neta de CO₂ de la atmósfera durante un período de tiempo prolongado.

Diversos enfoques han tenido lugar en las simulaciones a escalas regionales y mundial que intentan evaluar los impactos potenciales del cambio climático, tal es el caso del enfoque “movimiento de ecosistemas”, el cual, supone que los ecosistemas migren relativamente intactos a nuevos emplazamientos que tengan un clima y entorno parecidos, lo que constituye una simplificación excesiva de lo que ocurrirá en la realidad, así, estas simulaciones son útiles para estudiar escenarios del cambio climático y sus efectos potencialmente importantes (IPCC, 2002). Otro enfoque es “modificación de ecosistemas” asumiendo que a medida que el clima y otros factores ambientales cambien, se produzcan cambios *in situ* en la composición y dominio de las especies, donde la población de algunas de estas especies disminuirá o se extinguirá localmente, mientras que la de otras aumentará.

En numerosos estudios analizados por el IPCC (2002), mismos que abordan el efecto del cambio climático en los sistemas biológicos, se han confirmado cambios en la distribución de las especies vinculadas a cambios en factores climáticos. Las simulaciones de ecosistemas y clima sugieren que las zonas climáticas apropiadas para especies de plantas templadas y boreales se pueden desplazar unos 200-1.200 km hacia el norte para el año 2100 (ya que se estima que la mayoría de las masas terrestres de latitudes media a alta se caliente en unos 2-8°C).

Aunque algunas especies son más susceptibles al cambio climático que otras, para aquellas que presentan riesgo de extinción debido a presiones que surgen de procesos naturales y de actividades humanas, el cambio climático se va a añadir a estas presiones, especialmente en el caso de aquellas especies que necesitan una gama climática limitada y/o un hábitat bastante restringido (IPCC, 2002). El riesgo de extinción va a aumentar para muchas especies, especialmente aquellas que ya se encuentran en riesgo debido a factores tales como la escasa población, un hábitat no uniforme o restringido, rangos climáticos limitados o su emplazamiento en islas bajas o cerca de la cumbre de las montañas.

2.5 Bosque mesófilo de montaña en México

México constituye una de las regiones en que más se concentra la diversidad de los organismos vegetales Rzedowski (1991), es de reconocer también, la presencia de tres elementos geográficos primordiales: el meridional, el boreal y el endémico o autóctono, mismos que de forma particular se encuentran en el BMM.

Rzedowski (1996) menciona que el término bosque mesófilo de montaña engloba una serie de comunidades vegetales que prosperan en lugares en que prevalece un clima húmedo y a la vez fresco. Autores de habla inglesa han utilizado el término “cloud forest”, refiriéndose a bosque nublado, selva nublada, bosque de neblina y bosque nebuloso. Ortega y Castillo (1996) mencionan que se trata de una comunidad difícil de caracterizar, dado que representa la línea de unión entre las especies boreales y las neotropicales. Mientras que González et al., (2012) mencionan que son comunidades forestales transicionales de las montañas húmedas tropicales y subtropicales. En el presente estudio se referirá con el término bosque mesófilo de montaña (BMM), tal como es utilizado por Rzedowski (1978).

2.5.1 Distribución y superficie del bosque mesófilo de montaña en México

Dado que son relativamente pocas las comarcas del país en que se conjuga la existencia de humedad y temperatura apropiadas, el BMM ocupa una superficie reducida en México. Su distribución geográfica consiste en una franja angosta y más o menos continua, que se inicia en la región de Xilitla, en el sureste de San Luis Potosí y continúa lo largo de las laderas de barlovento de la Sierra Madre Oriental hasta el centro de Veracruz, y de ahí hasta las sierras del norte y del noreste de Oaxaca. Existe también un área aislada en el suroeste de Tamaulipas, así como algunos enclaves menores en el centro-norte del mismo estado y en el este de Nuevo León. En la región del Istmo de Tehuantepec, el tipo de vegetación reaparece en forma de varios manchones de tamaños diversos en los macizos montañosos de Chiapas (Rzedowski, 1996).

El BMM existe también en la vertiente pacífica del país, pero ahí su distribución es aún más dispersa, tanto a lo largo de la Sierra Madre del Sur, como también en la Sierra Madre Occidental (hasta Sinaloa y Durango) y en el Eje Volcánico Transversal. Sin embargo, salvo algunas áreas más continuas en Oaxaca y Guerrero, está prácticamente confinado a cañadas húmedas y algunas laderas protegidas (Rzedowski, 1996). Dentro del territorio nacional los estados con mayor superficie de bosque mesófilo de montaña son Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, San Luis Potosí, Guerrero, Veracruz, Puebla y Colima (Ortega y Castillo, 1996).

Desde 1996, por su distribución fragmentada, era difícil determinar la superficie total que ocupaba este tipo de vegetación, sin embargo, Rzedowski en el año mencionado, de acuerdo a un análisis cartográfico, indicó la superficie entre 10,000 y 20,000 km², es decir representaba entre 0.5 y 1% del territorio de la república mexicana y aseguró que se trataba de menos de la mitad de superficie original, ya que el impacto ha sido y sigue siendo intenso. Ortega y Castillo (1996), mencionan que el BMM para el año 1971 ocupaba un área de 0.86% de la superficie del país y para 1991 solo se registraba una superficie que representaba 0.07 del territorio mexicano, es decir en 20 años se redujo a menos de una décima parte.

Sin embargo, en 2012, Williams-Linera menciona una ocupación de 0.8% con relación a la superficie de México. Aun cuando se habla de una pequeña superficie cubierta por este tipo de vegetación, la riqueza florística que sostiene es alardeada por diversos investigadores; Rzedowski en 1991, estimó de manera exclusiva, alrededor de 2,500 especies de plantas vasculares que habitan en el BMM en México, lo que representa alrededor del 10% de la riqueza florística calculada para todo el país, y coloca a este tipo de vegetación como el más diverso por unidad de superficie en la república mexicana.

En México, el bosque mesófilo de montaña está mejor y más típicamente representado entre 1100 y 1500 msnm (Ortega y Castillo, 1996). Por su parte, González et al., (2012) refiere que estas comunidades forestales prosperan en

altitudes entre 1500 y 2500 m de altitud, aunque Gual y Rendón (2014) acotan entre 1000 y 3000 msnm, en la mayoría no pasa de 1500 msnm.

Las comunidades vegetales del bosque mesófilo de montaña en México, ocupan sitios más húmedos que los típicos de los bosques de *Quercus* y de *Pinos*, y más cálidos que los propios del bosque de *Abies*, pero más frescos que los que condicionan la existencia de los bosques tropicales. El clima de esta transición tiene un alto contenido de humedad atmosférica que ocasiona la formación de neblina durante todo el año, siendo más frecuentes en la época fría, de noviembre a abril (Ortega y Castillo, 1996).

González et al., (2011) menciona que desafortunadamente los bosques nubosos de México, como en otras partes, están bajo grave amenaza. Hecho que se confirma con los resultados a partir de una evaluación realizada, donde se desprende que más del 60% de los árboles de los bosques nublados mexicanos están amenazados de extinción. Debido a la gran diversidad de servicios ambientales que aporta a la sociedad, además de ser regiones preferidas por comunidades rurales para el desarrollo de agricultura de temporal dadas sus condiciones climáticas favorables; este tipo de vegetación, presenta serias amenazas a su conservación y estabilidad, como la explosión demográfica, la tala clandestina, el cultivo del café, la ganadería y la agricultura de temporal, ha causado en los últimos lustros una disminución drástica de su extensión (Ortega y Castillo, 1996).

El BMM en conjunto tiene una tasa de crecimiento absoluta y un proceso sucesional más lento, esto hace que cuando es perturbada su recuperación, por ser lenta, se vea alterada fácilmente por diversos motivos. Es un ecosistema frágil que requiere mucha atención (Ortega y Castillo, 1996).

De acuerdo a un estudio con objeto de estudio el bosque nuboso, los resultados de expertos (González et al, 2011b), especialistas e investigadores, derivan que de un total de 762 especies arbóreas del bosque de niebla se encuentra en peligro 27%, 23% es vulnerable, en peligro crítico el 10.9%, el 10% se encuentran

cercanas a la categoría de amenazadas y el 0.4% de las especies estudiadas se encuentran extintas. Lo anterior demuestra la necesidad urgente de fortalecer los esfuerzos de conservación dentro de la región. González et al. (2011a) mencionan que, de las 44 especies, solo tres también aparecen en la NOM en categorías de riesgo por debajo de las enumeradas en la Lista Roja, cabe aclarar que las metodologías son profundamente diferentes.

2.5.2 Especies arbóreas representativas del bosque mesófilo de montaña en México

La composición y estructura de los bosques mesófilos de montaña son resultado de la migración y mezcla a gran escala de las floras holártica y neotropical en el pasado geológico, de modo que en el dosel suelen dominar árboles caducifolios de clima templado (Challenger, 1998).

Sharp (1946) menciona que el BMM suele estar dominado por especies de pino o roble, pero puede contener géneros de especies templadas de la flora de los Apalaches como *Liquidambar*, *Fagus*, *Nyssa*, *Tilia*, *Cornus*, etc. Más adelante, Rzedowski (1996) enumera algunos géneros de árboles cuantitativamente importantes en el BMM de México, donde figuran *Alfaroa*, *Alnus*, *Carpinus*, *Carya*, *Chiranthodendron*, *Cinnamomum*, *Clethra*, *Cleyera*, *Cornus*, *Dalbergia*, *Dendropanax*, *Fraxinus*, *Juglans*, *Liquidambar*, *Matudaea*, *Meliosma*, *Nyssa*, *Oecopetalum*, *Oreomunnea*, *Oreopanax*, *Persea*, *Prunus*, *Quercus*, *Prunus*, *Styrax*, *Symplocos*, *Ternstroemia* y *Zinowiewia*.

En 2011, González-Espinosa et al., mencionan los géneros del bosque de niebla en México más representativos cuantitativamente, entre ellos *Quercus*, *Ocotea*, *Clethra*, *Saurauia*, *Miconia* e *Inga*.

Williams-Linera (2012), refiere que en el grupo de árboles caducifolios que alberga el bosque de niebla, se encuentran especies como *Carpinus caroliniana* Walter, *Fagus grandifolia* subsp. mexicana, *Ostrya virginiana* (Mill.) K.Koch, *Liquidambar styraciflua* L y *Quercus* sp., los géneros de origen templado son *Alnus*, *Cornus*, *Prunus*, *Quercus* y *Rhamnus* y los géneros australes presentes

como *Podocarpus*, *Drymis* y *Wenmania*. Entre los géneros de afinidad asiática cita a *Clethra*, *Cleyera*, *Hedyosmum*, *Magnolia*, *Perrottetia*, *Persea*, *Saurauia*, *Styrax*, *Symplocos* y *Turpinia* y los géneros de origen africano como *Lippia* y *Trichilia*.

Mientras tanto Gual y Rendón (2014) refieren el predominio de elementos tropicales de montaña, con géneros como *Meliosma*, *Styrax*, *Oreopanax*, *Symplocos*, *Zinowiewia*, *Brocconia*, *Fuchsia*, *Rapanea*, *Ardisia*, *Ternstroemia* y *Cleyera*, *Phoebe* y especies arbóreas siempre verdes, otros géneros menos exclusivamente tropicales como *Prunus*, *Garrya*, *Clethra*, *Ilex*, *Morus* y otros de hojas caedizas como *Carpinus*, *Cornus*, *Tilia* y *Tilia*, *Alnus* y *Fraxinus*, *Quercus*.

En seguida se presenta una síntesis y composición en especies de las principales comunidades vegetales de bosque mesófilo de montaña en México.

Chiapas

En 2008, Martínez et al, realizan un estudio en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, situada en el estado de Chiapas, de donde determinan que en altitudes entre 2,230 y 2,246 msnm dentro del área ocupada por bosque de niebla, dominan especies de los géneros *Quercus*, *Vaccinium* y *Cavendishia*. En altitudes de 2200 a 2230 encuentran una asociación diferente de *Quercus* sp., *Cavendishia crassifolia* (Benth.) Hemsl y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.

Guerrero

Un estudio realizado por Catalán, et al., (2003) en el bosque mesófilo de montaña presente en Carrizal de Bravo, Guerrero, mencionan la composición de esta vegetación dominada por *Chiranthodendron pentadactylon* Larreat por su elevado valor de área basal relativa, seguida por *Roldana schaffneri* (Sch.Bip. ex Klatt) H.Rob. & Brettell, *Critonia paneroi* B.L. Turner, *Solanum aligerum* Schltdl, *Abies guatemalensis* Rehder, *Quercus rubramenta* Trel, *Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, *Ocotea chiapensis* (Lundell) Standl. & Steyerem, *Croton draco*, *Persea americana* Mill, *Meliosma dentata* y *Cleyera integrifolia*, aunque

también se encontró individuos de *Solandra guerrerensis*, *Clethra mexicana*, *Salvia atrocaulis*, *Carpinus caroliniana*, *Rumfordia floribunda*, *Cornus disciflora*, *Miconia glaberrima*, *Pinus ayacahuite*, *Synardisia venosa*, *Tilia occidentalis*, *Alnus acuminata*, *Cestrum anagrys*, *Buddleia cordata*, *Ageratina pelotropha*.

Hidalgo

Alcántara y Luna (1997), obtienen como resultado de un análisis florístico realizado en Tenango de Doria, Hidalgo, que en altitudes próximas a 2000 msnm predomina un dosel arbóreo de más de 20 m con individuos de *Pinus patula*, *Quercus xalapensis*, *Quercus sartorii* y *Liquidambar macrophylla*; en un estrato medio (10 a 20 m) los árboles dominantes son *Alnus jorullensis*, *Clethra alcocerii*, *Carpinus caroliniana*, *Ostrya virginiana*, *Quercus eugenifolia* y *Quercus laurina*. Mientras que en un estrato bajo, los principales árboles son *Microtropis schiedeana*, *Vaccinium leucanthum*, *Cleyera theaeoides*, *Ternstroemia huasteca* y *Cornus excelsa*.

En el mismo estudio, los autores arriba mencionados, encuentran en un rango altitudinal de 1600 a 1800 msnm, la muy clara dominancia de árboles como *Quercus leiophylla*, *Magnolia schiedeana*, *Liquidambar macrophylla*, *Quercus sartorii* y *Quercus xalapensis*, el estrato medio lo componen *Clethra mexicana*, *Ocottea effusa*, *Alnus jorullensis*, *Ostrya virginiana* y *Befaria laevis*; en el estrato bajo predominan *Beilschmiedia mexicana*, *Oreopanax xalapensis*, *Rhamus longistyla* y *Viburnum* spp. Mientras tanto, en las cañadas húmedas, el estrato alto se compone de *Liquidambar macrophylla*, *Clethra mexicana*, *Prunus brachybotrya*, *Dipholis minutiflora* y *Meliosba alba*, el estrato bajo se encuentran helechos arbóreos como *Cyathea fulva*, *Fuchsia arborescens* y *Symplocos coccinea*.

En un piso altitudinal más bajo (1250 a 1600 msnm), Alcántara y Luna, (1997), registran a *Clethra mexicana*, *Podocarpus reichei*, *Quercus laurina*, *Liquidambar macrophylla* y *Turpinia insignis*, mientras que en las cañadas, predominan

Platanus mexicana, *Quercus germana*, en el estrato medio *Annona cherimolla*, *Oreopanax echinops*, *Oreopanax capitatus* e *Inga eriocarpa*.

Alcántara y Luna, en 2001, en su análisis florístico del Bosque Mesófilo de Montaña en Hidalgo, caracterizan el bosque en dos áreas: una de ellas es Eloxochitlán, donde distinguen tres estratos arbóreos; en las partes más bajas y hasta los 1700 msnm los árboles altos más importantes (de más de 20 m) son *Magnolia schiedeana*, *Meliosma alba*, *Persea americana*, *Quercus acutifolia*, *Quercus sartorii* y *Tilia houghi*; entre los de mediana estatura (de 12 a 20 m) destacan *Clethra alcoceri*, *Clethra mexicana*, *Ocotea klotzschiana*, *Styrax glabrescens* y entre los bajos de 2 a 12 m se encuentran *Ilex tolucana*, *Perrottetia ovata*, *Picramnia xalapensis* y *Saurauia scabrida*. Por arriba de los 1700 msnm los árboles altos más importantes son *Carpinus caroliniana*, *Magnolia schiedeana*, *Quercus affinis*, *Quercus germana*, *Quercus sartorii* y *Tilia houghi*. Entre los de talla mediana (12 a 20 m) sobresalen *Bauhinia chapulhuacana*, *Clethra mexicana* y *Styrax glabrescens* y entre los árboles bajos están *Crataegus mexicana*, *Ilex discolor*, *Picramnia xalapensis*, *Ptelea trifoliata* y *Rhamnus pompana*.

La segunda área florística caracterizada por Alcántara y Luna, en 2011, comprende Tlahuelompa, se presenta como un mosaico de manchones con diferente composición y dominancia; cerca del poblado de Tzincoatlán (1690 msnm) son conspicuos los siguientes componentes de más de 20 m de altura: *Liquidambar macrophylla*, *Pinus patula*, *Quercus affinis* y *Quercus eugeniifolia*, como árboles medianos destacan *Clethra alcoceri*, *Clethra mexicana* y *Styrax glabrescens* y entre los bajos *Cornus disciflora* y *Zanthoxylum xicense*. En el área cercana al poblado de Tizapán (1960 msnm) los elementos que dominan el dosel alto de 20 a 30 metros de altura son: *Liquidambar macrophylla*, *Quercus affinis*, *Quercus eugeniifolia*, *Quercus germana* y *Quercus sartorii*, en el medio (12 a 18 m) prevalecen *Clethra mexicana* y *Cleyera theaeoides*, y en el bajo *Ocotea effusa* y *Turpinia occidentalis*.

El área de La Mojonera, de los 1800 a los 2000 msnm, alberga al manchón de bosque de *Fagus grandifolia* ssp. mexicana más importante del país, en el cual dominan también en el estrato alto (25-40 m) *Quercus eugeniifolia*, *Quercus sartorii* y *Quercus trinitatis* y en algunas zonas expuestas *Pinus patula*, *Liquidambar macrophylla* es muy escaso. Entre los árboles medianos se registraron *Clethra mexicana*, *Magnolia schiedeana*, *Ostrya virginiana* y entre los bajos destacan *Befaria laevis*, *Cleyera theaeoides*, *Ocotea klotzschiana* y *Turpinia occidentalis* (Alcántara y Luna, 2011).

De acuerdo con Ponce, Luna, Alcántara y Ruíz, 2000, el bosque mesófilo de montaña en Lolotla, Hidalgo, tiene un estrato arbóreo con especies como *Dalbergia palo-escrito*, *Quercus germana*, *Quercus sartorii* y *Trophis mexicana*. Otras especies presentes en este estrato son *Clethra mexicana*, *Liquidambar macrophylla*, *Ostrya virginiana*, *Pinus greggii*, *Pinus pseudostrobus* y *Quercus eugeniifolia*. En el estrato arbóreo medio (10 a 20 m), los individuos en general presentan troncos con diámetros que alcanzan 30 y 45 cm de diámetro. Las especies más importantes son: *Befaria laevis*, *Beilschmiedia mexicana*, *Carpinus caroliniana*, *Carya ovata* var. mexicana, *Carya palmeri*, *Eugenia xalapensis*, *Inga huastecana*, *Ocotea helicterifolia*, *Prunus brachybotria*, *Quercus affinis*, *Quercus castanea*, *Turpinia occidentalis* y *Vaccinium leucanthum*. El estrato arbóreo bajo, de menos de 10 m de alto, es muy diverso; los troncos de los árboles son muy delgados, alcanzando diámetros que van desde 3 hasta 12 cm. Los árboles más sobresalientes son: *Cinnamomum effusum*, *Cornus disciflora*, *Cornus excelsa*, *Cyathea godmanii*, *Gaultheria acuminata*, *Ilex tolucana*, *Lonchocarpus caudatus*, *Lyonia squamulosa*, *Oreopanax xalapensis*, *Persea liebmannii*, *Prunus serotina* ssp. capuli, *Rapanea myricoides*, *Rhamnus longistyla*, *Trichilia havanensis*, *Viburnum ciliatum* y *Zanthoxylum xicense*, entre otros.

San Luis Potosí

De acuerdo con la composición y estructura estudiada por Fortanelli, García y Castillo, (2014) en el bosque de niebla ubicado en Copalillos, San Luis Potosí; existe una dominancia de las especies *Liquidambar styraciflua*, *Quercus germana*

y *Quercus pinnativenulosa*, en el estrato arbóreo superior, aunque también se enlista *Clethra pringlei* y *Carya ovata* var. mexicana mientras que un segundo estrato, es destacado por las especies *Magnolia schiedeana*, *Persea liebmanii* e *Ilex rubra*, encontrándose también *Ostrya virginiana*, *Bernardia dodecandra* y *Zanthoxylum clava herculis*. El estrato arbóreo inferior es ampliamente dominado por *Eugenia xalapensis*, aunque también se encuentran *Styrax glabrecens*, *Prunus serótina*, *Morus celtidifolia*, *Cinnamomum effusum*, *Cnidoscolus multilobus*, *Myrsine coriácea* subsp. *coriácea*, *Cercis canadensis*, *Quercus xalapensis*, *Crataegus mexicana*, *Trema micrantha* y *Daphnopsis mollis*.

Veracruz

En el estudio realizado por García, Olivares y Ramos, (2013), se observa que las especies más representativas fueron *Quercus affinis*, *Quercus leiophylla* y *Quercus salicifolia*. En cuanto a la abundancia, *Quercus salicifolia* y *Liquidambar styraciflua* representaron el 58.99% del total de individuos registrados, aunque también se enlista la presencia de especies como *Alchornea latifolia*, *Quercus leiophylla*, *Clethra mexicana*, *Myrsine coriaceae*, *Cinnamomum effusum*, *Vismia mexicana*, *Ilex* sp. *Eugenia* sp, *Ailanthus altissima*, *Turpinia insignis*, *Heliocarpus appendiculatus* y *Quercus affinis*.

Williams-Linera (2012), derivado de un estudio realizado, cita entre los árboles del dosel más abundantes a *Liquidambar*, *Quercus xalapensis*, *Quercus leiophylla*, *Quercus germana* y *Clethra mexicana*; los árboles de tamaño intermedio más comunes son *Turpinia insignis*, *Cinnamomum effusum*, *Carpinus caroliniana* y *Oreopanax xalapensis*. Menciona que algunos árboles que son importantes, sin embargo, no se encuentran en todos los bosques de niebla *Fagus grandifolia* var. mexicana, *Magnolia schiedeana*, *Podocarpus matudai* y *Oreomunea mexicana*.

Estado de México

En el bosque mesófilo de montaña presente en la comunidad de Temascaltepec, Estado de México, derivado de un estudio florístico, las especies que poseen

altos valores de importancia ecológica en el estrato arbóreo fueron *Quercus candicans*, *Clethra mexicana*, *Ternstroemia lineata*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus leiophylla* (Rubio-Licon, et al., 2011). Sin embargo, también se encontró la presencia de *Quercus obtusata*, *Stevia monardifolia*, *Alnus jorullensis*, *Styrax glabrescens*, *Acacia angustissima*, *Quercus rugosa*, *Symplocos citrea*, *Buddleia parviflora*, *Arbutus xalapensis*, *Monnina ciliolata* y *Quercus crassifolia*.

2.6 Descripción de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México

A continuación se describen 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México, las cuales son objeto de estudio en el presente:

Carpinus caroliniana Walter

Los nombres comunes con los que se le conoce a esta especie son: palo lechito, palo barranco, moralillo, mora de la sierra (Pennington y Sarukhán, 2005). Es un árbol que llega a medir hasta 15 metros de altura y diámetro hasta 30 cm, la corteza externa es lisa. Árbol de copa abierta. La distribución de este árbol se presenta en la vertiente del Golfo, probablemente desde el sureste de Nuevo León y centro de Tamaulipas, hasta el norte de Oaxaca y norte de Chiapas. A todo lo largo de la Sierra Madre Oriental y en el macizo de los Tuxtlas, Veracruz. En la vertiente del Pacífico, en las zonas montañosas desde Nayarit, Jalisco hasta Chiapas, incluyendo parte de la cuenca del río Balsas en las montañas que la rodean, formando parte del bosque caducifolio en compañía de árboles como: *Liquidambar macrophylla*, *Ostrya virginiana*, *Clethra* spp., etc., y en bosques de pinos y encinos (Pennington y Sarukhán, 2005). La madera es extremadamente dura y de manera tradicional ha sido empleada en el medio rural para leña y carbón, mangos de herramientas, en algunos lugares se destina para elaboración de artesanías. Es apropiado para ser empleado en programas de reforestación y restauración ecológica en áreas de bosques caducifolios (Niembro, et al. 2010).

Carya ovata (Mill.) K.Koch

También conocida como nopal de cáscara, nopal de escalpón y nopal de montaña. Es una de las especies dentro del género más ampliamente distribuidas, a menudo se asocia con *Quercus* spp., (Robison and McCarthy, 1999).

Clethra mexicana A. DC.

Comúnmente se le conoce con los nombres de marangola, jaboncillo y madroño. Los individuos alcanzan alturas hasta de 25 m y diámetros hasta de 60 cm. Generalmente perennifolios, tienen el tronco recto y la copa densa, compuesta de ramas delgadas y ascendentes. La marangola es originaria de las regiones subtropicales y tropicales de América del Norte. Su distribución geográfica abarca desde México hasta Belice, Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Honduras, Costa Rica y Panamá. En la República Mexicana habita en las zonas serranas de la Ciudad de México y en los Estados de México, Morelos, Puebla, Guanajuato, Querétaro, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Tabasco. Prospera en laderas de cerros y barrancas húmedas (Niembro, et al. 2010).

Eugenia xalapensis (Kunth) DC

Entre los nombres científicos Yañez (2004) menciona arrayán y escobilla y menciona también que *Eugenia xalapensis* es una especie que comúnmente se encuentra en bosques mesófilos de montaña en México.

Liquidambar styraciflua L

Comúnmente se le conoce con los nombres de liquidámbar y ocozote. Los árboles alcanzan alturas hasta de 60 m y diámetros hasta de 1.5 m. Tienen el tronco recto con la copa alargada y piramidal, densa, compuesta de ramas delgadas y ascendentes. Es caducifolio. El liquidámbar es originario de las regiones templado-frías de América del Norte y su distribución geográfica abarca desde el este de Canadá y los Estados Unidos de Norteamérica hasta México y Guatemala. En la República Mexicana habita en los estados de Nuevo León,

Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Michoacán, Jalisco, Veracruz, Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Prospera en laderas de cerros y barrancas con nieblas frecuentes entre los 1000 y 1700 m de elevación. La resina que produce se comercializa para ser utilizada como incienso, también es utilizada en la elaboración de ungüentos y desinfectantes, en perfumería es utilizada para aromatizar jabones, cosméticos, esencias, pomadas, cremas. La madera es empleada para leña y carbón, y construcción de viviendas en el medio rural, en algunos lugares se utiliza para durmientes y muebles. Es potencialmente importante para ser utilizado con fines de reforestación y control de la erosión en zonas degradadas de bosques caducifolios (Niembro, et al. 2010).

Magnolia schiedeana Schtl

Comúnmente se le conoce con el nombre de magnolia. Los individuos de esta especie alcanzan alturas hasta de 25 m y diámetros hasta de 50 cm, sin embargo ejemplares de esas características son escasos. Es un árbol ramificado desde abajo del tronco, (Niembro, et al. 2010). Este árbol es endémico de México (Niembro, et al. 2010). Se distribuye en 14 poblaciones dispersas que se encuentran en el territorio mexicano en los estados de Querétaro, Hidalgo, Veracruz, Guerrero y Oaxaca (Vázquez-G, 1994). Sin embargo, en 1950, Sharp registró poblaciones de *Magnolia schiedeana* en alturas de 1000 a 2000 metros, con una precipitación anual de 1500 a 2000 mm. en el suroeste de Tamaulipas. Aunque, Niembro, et al. (2010), refiere su distribución en los estados de Chihuahua, Durango, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Sonora y Veracruz. Esta especie es rara en los bosques de México. Sus poblaciones son pequeñas, compuestas de 25 a 40 individuos los cuales tienen requerimientos específicos para su polinización (Niembro, et al. 2010).

Newton et al., en 2007, sugieren que *Magnolia schiedeana* pudiera mantener una variabilidad genética relativamente alta a pesar del mayor riesgo de deriva genética y endogamia en poblaciones pequeñas y aisladas, además menciona que se da un flujo limitado de genes entre poblaciones de esta especie, ya sea actual o históricamente. Debido a la distribución severamente restringida, debería

ser considerada en alto riesgo de extinción y con altas prioridades de conservación (Newton, et al., 2007).

La madera es utilizada como leña, elaboración de tablas, implementos agrícolas y construcción de viviendas en el medio rural. Desafortunadamente, esta especie está considerada en peligro de extinción tanto en la NOM-059-SEMARNAT-2001 como en la Lista Roja de Plantas Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Niembro, et al. 2010).

Oreopanax xalapensis (Kunth) Decne. Et Planch.

También conocido como macuilillo, 7 hojas y pata de gallo. Los individuos alcanzan alturas hasta de 10m y diámetros hasta de 30cm. Es perennifolio. El macuilillo es originario de las regiones tropicales húmedas de América. Su distribución geográfica comprende desde México hasta Panamá. En la República Mexicana habita en los estados de Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco y Nayarit, formando parte de los bosques caducifolios y de los bosques de lauráceas (Niembro, et al. 2010). Es un árbol común en los bosques mesófilos de montaña en México, (Yañez, 2004).

Prospera desde los 800 a los 1750m de altitud. Es altamente valioso para ser empleado en programas de reforestación y restauración ecológica de bosques caducifolios. Tiene potencial para ser cultivado como planta de ornato (Niembro, et al. 2010).

Ostrya virginiana (Mill.) K. Koch

Comúnmente se le conoce como pipinque rojo. Los individuos alcanzan alturas hasta de 15 m y diámetros hasta de 30cm. Tienen el tronco recto y cilíndrico y la copa piramidal y abierta, compuesta de ramas delgadas y ascendentes. Es caducifolio. El pipinque rojo es originario de las regiones subtropicales y tropicales de Norte y Centroamérica. Su distribución geográfica comprende desde el este de Canadá y los Estados Unidos de Norteamérica, México, Guatemala, Honduras y el Salvador. En la República Mexicana habita en los

estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa, San Luis Potosí, Hidalgo, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, México, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, formando parte de los bosques caducifolios, bosques de pinos y encinares. Prospera desde los 1000 hasta 1500 m de elevación. Es de lento crecimiento y produce una madera fuerte, dura y pesada utilizada en el medio rural para la elaboración de postes para cercas, mangos para herramientas agrícolas, mazos para morteros, leña y carbón. Las hojas son utilizadas como forraje. Es tolerante a la sequía y suelos pobres, por lo que se emplea con fines de restauración ecológica en sitios degradados de bosques caducifolios (Niembro, et al. 2010).

Persea schiedeana Nees

Persea schiedeana Nees es un árbol frutal nativo de México y Centroamérica, conocido comúnmente como chinene o chinin, se distribuye hasta Colombia. En México se encuentra distribuido en estado silvestre en bosques mesófilos en el sur del país (Campos-Hernández, et al., 2011).

También se le conoce con los nombres de chinine, chinini o pagua. Los individuos alcanzan alturas hasta de 20 m y diámetros hasta de 45cm, tienen el tronco recto y la copa redondeada y dispersa, compuesta de ramas gruesas y ascendentes. El chinini es originario de las regiones tropicales húmedas de América. Se distribuye desde México, Centroamérica hasta Colombia. En la República Mexicana las formas silvestres habitan en las áreas montañosas de los estados de Puebla, Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tabasco y Sur de Tamaulipas en donde forman parte de las selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias y bosques caducifolios. Prospera desde los 1400 a 1900m de altitud, aunque es posible encontrarlo fuera de esos límites con frecuencia. El principal producto son los frutos sumamente apreciados como complemento alimenticio y cuya pulpa rica en ácidos grasos. La especie presenta una amplia variación genética la cual se manifiesta en la forma y tamaño de las hojas, así como en la coloración del fruto, cuya cáscara varía del verde, al negro, café o morado. Tolerancia a la salinidad y resiste la humedad, por lo que ha sido empleado como portainjerto de los árboles

de aguacate (*Persea americana*). El néctar de las flores es de excelente calidad (Niembro, et al. 2010). Otro estudio (Campos-Hernández, et al., 2011) sobre la composición química de los frutos menciona que *P. schiedeana* tiene potencial agroindustrial debido a su alto contenido de aceite en pulpa y el buen rendimiento de extracción y podría fomentar el desarrollo de un nuevo producto agroindustrial.

Platanus mexicana Moric.

Se le conoce también como álamo, haya, chicolohuite. Es un árbol que llega a medir hasta 40m de altura, y tiene diámetro de hasta 2m. La corteza es escamosa. Los frutos son nuececillas de 6 a 9mm de largo. Se distribuye en los límites térmicos de las zonas cálido-húmedas, en colindancia con los bosques de zonas más templadas. Se encuentra principalmente a lo largo de ríos o corrientes de agua y en cañadas protegidas, cerca del bosque caducifolio o de selvas medianas perennifolias y subperennifolias, desde el norte de Puebla y este de Hidalgo, hasta el sur de Veracruz y norte de Chiapas; en la vertiente del Pacífico en el Soconusco, Chiapas.

Los individuos alcanzan alturas hasta de 40m y diámetros hasta de 3m. Tienen el tronco recto y cilíndrico, corpulento y la copa piramidal o redondeada, compuesta de ramas gruesas horizontales o ascendentes. Es caducifolio. El árbol de haya es originario de las regiones tropicales templado-húmedas de América del Norte. Su distribución geográfica comprende desde México hasta Guatemala. En la República Mexicana habita en los estados de Nuevo León, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Chiapas formando parte de la vegetación riparia y de los bosques caducifolios, encinares, selvas bajas caducifolias, selvas medianas perennifolias y subperennifolias. Prospera desde 160 hasta 2400m de elevación. La madera es utilizada para leña y elaboración de tablas, manufactura de utensilios domésticos y construcción de viviendas en el medio rural, también se recomienda su uso para mangos de herramientas. Se trata de un árbol de rápido crecimiento por lo que es ampliamente utilizado en programas de reforestación y restauración ecológica en

áreas degradadas de bosques caducifolios, márgenes de ríos y arroyos (Niembro, et al. 2010).

Podocarpus reichei J.T. Buchholz & N.E. Gray

Son árboles perennifolios hasta de 30m de alto y 1m de diámetro. Corteza fisurada, de color pardo grisáceo o rojiza. Hojas alternas, simples, lanceoladas, rígidas, coriáceas; nervadura central prominente por ambas caras, con un canal resinífero en la parte inferior del único haz vascular. Yemas vegetativas generalmente alargadas. Semilla solitaria, pedunculada, de 10 a 14 mm de largo, ovoide, verde cuando madura, con una cresta de forma ligeramente cónica. En el estado de Hidalgo principalmente hacia el este y noreste, región que pertenece a la Sierra Madre Oriental y se ha registrado en bosque mesófilo de montaña, en altitudes que oscilan entre los 1400 y 2110m sobre el nivel del mar. Los bosques donde habita la especie se caracterizan por ser densos, con abundantes epífitas, con dos o tres estratos arbóreos y con un dosel de más de 25m de altura, cuyos elementos más importantes son *Alnus jorullensis*, *Clethra macrophylla*, *Cleyera theaeoides*, *Liquidambar macrophylla*, *Magnolia schiedeana*, *Quercus affinis*, *Quercus eugeniifolia*, *Quercus sartorii*, *Quercus xalapensis* y *Ternstroemia huasteca*.

Podocarpus reichei es la especie del género con distribución más septentrional en el continente americano. Su distribución geográfica abarca el oeste, este y sur de México; se ha registrado en los estados de Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz.

Esta especie catalogada dentro de la Norma Oficial Mexicana vigente (NOM-059) (SEMARNAT, 2002) como sujeta a protección especial, lo que implica que podría encontrarse amenazada por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que es necesario fomentar su recuperación y conservación (Contreras-Medina, Luna-Vega y Alcántara-Ayala, 2006).

Quercus candicans Née

Conocido como ahuamextli, encino, encino blanco, encino cenizo, encino de asta, encino papatla. Es un árbol de hasta 30 metros de altura, caducifolio, con tronco de hasta 100 cm de diámetro, su corteza es gris fisurada. Los frutos pueden ser anuales o bianuales. Se le reconoce por sus hojas con sus dientes aristados, haz de color verde lustroso, el envés con indumento blanco y la epidermis ampulosa y papilosa (Romero et al, 2015).

Es un elemento presente en los bosques de *Quercus* y *Quercus-pinus* y a veces penetra al bosque mesófilo de montaña; se asocia con *Clethra*. Se ha documentado su presencia en altitudes de 1400 a 2600m. Florece en mayo y fructifica de octubre a noviembre. La especie se distribuye en el noroeste, occidente, centro, sur y sureste de México (Chihuahua, Chiapas, Ciudad de México, Durango, Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelia, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa y Veracruz), así como en Centroamérica (Guatemala). La corteza tiene usos medicinales, la madera tiene un alto potencial de calidad, para muebles, chapa fina y pisos para residencias, marcos para puertas y ventanas, cajas de empaque, cofres, mangos, cabos de herramientas e implementos agrícolas (Romero et al., 2015).

Quercus eugeniaefolia Liebm

Los nombres comunes registrados para dicha especie son encino y tiztmol. Es un árbol de 4 a 25 metros de altura, con diámetro en el tronco de 50 a 120 cm, caducifolio, se le reconoce por sus hojas con el ápice acuminado y aristado, el haz es verde grisáceo, mientras que el envés es más pálido que el haz. Los frutos son anuales (Romero et al, 2015).

Es un elemento que habita en bosques de *Liquidambar-Quercus*, *Pinus-Quercus*, *Pinus-Abies*, *Pinus* o en bosques mesófilos de montaña. Se asocia con *Clethra*, *Alnus*, *Podocarpus*, *Quercus xalapensis* y *Quercus corrugata*. Se le localiza en laderas, barrancas u orillas de arroyos, y sobre suelos profundos con abundante materia orgánica. *Quercus eugeniaefolia* es una especie escasa, restringida a localidades donde las condiciones ambientales son ligeramente cálido-húmedas,

con altitudes de 1400 a 1910m. La especie se distribuye en el centro, sur y sureste de México (Hidalgo, Puebla y Veracruz) así como en Centroamérica. Su madera es utilizada como leña (Romero et al., 2015).

Quercus germana Cham. & Schltdl.

Los nombres comunes con los que se le conoce también a esta especie son: encino, encino amarillo, encino bellotón, encino blanco, encino cáscara, encino prieto. Se trata de un árbol con altura de 12 a 20 m de altura, caducifolio, con tronco de 60 cm de diámetro, corteza grisácea, se reconoce por tener hojas grandes, haz casi glabro y envés glauco acerado y por los frutos de hasta 38 mm de largo por 28 mm de diámetro, florece en marzo (Romero et al., 2015).

Es un elemento presente en los bosques de *Quercus* y *Pinus-Quercus*, pero también penetra en el bosque mesófilo de montaña. Se asocia con los géneros *Abies*, *Quercus*, *Liquidambar*, *Magnolia*, *Pinus*, *Tilia* y *Podocarpus*. Prospera a una altitud de 700 a 2300 m. Especie endémica del noreste, centro, sur, sureste de México (Chiapas, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz). Con problemas de supervivencia. La Lista Roja de Especies amenazadas de la UICN refiere que esta especie se ubica en la categoría vulnerable (vu). Su madera se utiliza para la construcción de viviendas (Romero et al., 2015).

Ternstroemia lineata DC.

Ternstroemia lineata es una especie endémica mesoamericana asociada con zonas montañosas. En México, *Ternstroemia* junto con algunos otros géneros de plantas con flores como *Carpinus*, *Clethra*, *Liquidambar*, *Magnolia*, *Nyssa*, *Ostrya*, *Styrax*, *Symplocos* y *Zinowiewia*, entre otros, son elementos estructuralmente importantes que caracterizan las condiciones del bosque nuboso. Se distribuye desde el centro de México hacia el sur (Luna, et al 2010).

Trophis mexicana (Liebm.) Bureau

También llamado ramón colorado, ramoncillo o ramoncito. Se distribuye en el Golfo de México, desde Tamaulipas hasta Quintana Roo, y por el Pacífico, desde el sur de Sinaloa hasta Chiapas, (Rodríguez, et al., 2009).

2.7 Integración de datos espaciales

Gómez (2004) asegura que un aspecto a tomar en cuenta es el número de datos con los que se cuenta, la oscilación de los valores, máximo y mínimo, así como a que unidades de análisis corresponden los datos, esto con el fin de elaborar un mapa en el que la información resulte legible e inteligible. Menciona que cuando se usan los datos individuales, los hechos o fenómenos geográficos expresados en el mapa están en escala continua y por lo tanto no es necesario agruparlos, basta con representarlos por un símbolo de tamaño proporcional a su valor.

La segunda forma de representar los datos en un mapa con el fin de que éste sea legible y obtener calidad en la comunicación al usuario, consiste en reducir el conjunto de datos, agrupándolos en clases, tanto para elaborar mapas puntuales como lineales y zonales. Al agrupar los datos, el número de éstos se simplifica y se pueden manejar y representar en el mapa más fácilmente, lo cual permite lograr mayor claridad para identificar las tendencias fundamentales, las variaciones o las regularidades espaciales de lo que se presenta.

El agrupamiento de los datos requiere del método que exprese mejor la distribución en el territorio de los hechos y fenómenos geográficos. Al respecto se debe tener presente que si se usan pocas clases, se generaliza demasiado y muchas características se pierden. Por otra parte, si se obtiene un número excesivo de clases, el resultado será particularizar demasiado, y que algunas clases queden vacías, es decir, que no existan datos para ellas.

Se recomienda que el número de clases sea impar, de preferencia de 3, o 5, ya que esto facilita la percepción visual selectiva en el mapa y, además, porque en un momento dado también se puede calificar la distribución espacial de los fenómenos con base cuantitativa en: Alto, Medio, Bajo, o bien Muy Alto, Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo.

2.8 Métodos para determinar clases de datos espaciales

De acuerdo con Gómez (2004) existen varios métodos para determinar las clases y sus límites: matemáticos y estadísticos. La selección del método debe basarse en el que refleje la naturaleza de la distribución de los datos, de acuerdo con el propósito para el cual se requiere el establecimiento de las clases; definir si se quiere lograr una variación máxima que permita contrastar las clases, definir si se quiere lograr una variación mínima que permita contrastar las clases, es decir identificar los contrastes espaciales o si se desea obtener una variación mínima y con ello lograr mayor similitud dentro de las clases para observar las regularidades espaciales. El método de agrupamiento dependerá del propósito u objetivo del mapa, de la escala y asignación.

El método de obtención de clases por progresión aritmética conviene cuando en la serie de datos los valores extremos oscilan muy poco y el número de datos es reducido. El método de cálculo de clases por progresión geométrica se aplica cuando los valores de la serie de datos u observaciones, en general, son heterogéneos y los valores extremos oscilan fuertemente; por ejemplo 10 el valor mínimo y 1 000 000 el valor máximo y entre éstos hay numerosos valores heterogéneos. Este es un método de intervalos múltiples. En este ejemplo se considera como razón de la progresión geométrica el valor mínimo de la serie, o sea 10.

El método de progresión geométrica consiste en calcular la razón de la progresión mediante la fórmula propuesta por Cortizo (1998). El método de distribución de frecuencias absolutas se utiliza cuando se tiene un gran número de datos discretos, por ejemplo, más de 50, para cartografiarlos hay que agruparlos en clases, para esto se requiere: a) Elaborar una serie simple, ordenando los datos de valores mínimo a máximo o a la inversa. b) Agrupar los datos de la serie en frecuencias, esto puede hacerse mediante el gráfico de distribución de frecuencias, es un método sencillo para identificar los valores de los límites de las clases.

En el método anterior, los datos se ordenan a lo largo de una línea horizontal (eje X) dividido en partes iguales de manera que contenga el valor mínimo y el máximo de la serie de datos que se van a cartografiar. Se puede construir en forma computarizada o manualmente en papel milimétrico o semilogarítmico. Los límites de las clases se identifican por las interrupciones que en los datos graficados se advierten por la ausencia de puntos o por la máxima inflexión a lo largo del eje x.

CAPITULO 3

Distribución potencial de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México

Potential distribution of 19 representative species of Mexican cloud forest

Lucia Guadalupe López-Arce¹, Alejandro Ismael Monterroso-Rivas², Luz Judith Rodríguez-Esparza¹, Dióodoro Granados-Sánchez¹

3.1 RESUMEN

Con el objetivo de realizar un estudio sobre el bosque mesófilo de montaña para sustentar la proyección de su distribución potencial se eligieron 19 especies arbóreas que forman parte de estas comunidades vegetales en México. Para conocer la distribución potencial se utilizó el algoritmo Maxent, ampliamente utilizado en este tipo de estudios. Los insumos fueron el conjunto de 19 variables bioclimáticas y 1439 presencias geográficas totales para dichas especies. El cálculo del área bajo la curva que se obtuvo para todos los modelos fue mayor a 0.5, y la desviación estándar obtenida en la mayoría de las especies fue menor a 0.1. Los mapas de distribución potencial obtenidos para cada especie proyectan áreas más extensas que las superficies actuales reportadas por INEGI con vegetación de bosque mesófilo de montaña. *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray es la especie que presentó mayor superficie de distribución potencial en el territorio nacional, caso contrario con la especie *Quercus eugeniaefolia* Liebm. *Clethra alcoceri* Greenm, *Quercus eugeniaefolia* Liebm, *Liquidambar styraciflua* L y *Persea schiedeana* Nees son las especies que mayor porcentaje de superficie potencial presentaron en áreas cubiertas actualmente con bosque mesófilo de montaña en el país.

Palabras clave: Maxent, ocurrencias geográficas, área bajo la curva.

3.2 ABSTRACT

The cloud mountain forest in Mexico is one of the most vulnerable ecosystems, before anthropogenic phenomena and climate change, in addition to its slow recovery capacity, so it is vital to generate information to direct actions that lead to its conservation. With the objective of carrying out an exploratory study that at the level of species in the mountain mesophilic forest allows the projection of its potential distribution, 19 tree species that are part of these mesophyll mountain forest communities in Mexico were selected to project their potential distribution using the Maxent algorithm. The inputs for modeling the distribution of the 19 species were the set of 19 bioclimatic variables and 1439 total geographic occurrences for these species. The 19 maps of potential distribution obtained for each species project more extensive areas than the available cover that includes the type of cloud mountain forest vegetation. The calculation of the area under the curve (AUC) that was obtained for all the models was greater than 0.5, and the standard deviation obtained in most of the species was less than 0.1.

Keywords: Cloud mountain forest, Maxent, geographical occurrences, area under the curve.

3.3 INTRODUCCIÓN

La riqueza florística que reside en el territorio mexicano es el resultado de una amplia variedad de condiciones fisiográficas y climáticas (Challenger, 1998). Regiones donde se conjugan condiciones de clima cálido, húmedo y a la vez fresco favorecen el desarrollo del bosque mesófilo de montaña, dichas zonas son restringidas, de distribución limitada y fragmentada (Rzedowski, 1996).

El bosque mesófilo de montaña (BMM) en México se encuentra principalmente en las vertientes del Eje Neovolcánico Transversal y Valle de México, en la vertiente del Atlántico, en la Sierra Madre Oriental, desde el suroeste de Tamaulipas hasta el norte de Oaxaca y Chiapas, incluyendo porciones de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla y Veracruz, en la vertiente del Pacífico desde el norte de Sinaloa hasta la Sierra del Soconusco en Chiapas (Ortega y Castillo, 1996).

Desde hace dos décadas las estimaciones sobre la superficie cubierta por este tipo de vegetación se centraban en 1% (Rzedowski, 1996) del territorio nacional, sin embargo, recientemente otros autores Monterroso (2009) a partir de información de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2009) estimó una superficie de 0.94%. Con base en la perturbación y degradación a las que estos bosques nubosos están sometidos, González-Espinosa, Meave, Lorea-Hernández, Ibarra-Manríquez & Newton (2011) advierten sobre la grave amenaza que enfrentan estas comunidades vegetales y derivado de ese estudio se desprende que más del 60% de los árboles que forman parte de bosques nubosos mexicanos están amenazados en cierta medida.

Ante la evidente amenaza que presentan estos bosques Williams-Linera (2002) menciona que los fragmentos con bosques perturbados y vegetación secundaria podrían ser de gran ayuda para conectar las áreas de bosques no perturbados, siempre que se tomen en cuenta programas de reforestación bien ejecutados y a escalas más grandes.

Los modelos de distribución de especies se han convertido en una de las áreas de investigación con mayor desarrollo en el campo de la biogeografía de la conservación (Richardson & Whittaker, 2010), tanto para proyectar el espacio

geográfico-ecológico en el pasado y en el futuro. En los últimos años ha tomado fuerza el uso de técnicas basadas en algoritmos específicos como máxima entropía y algoritmos genéticos (Guisan & Thuiller, 2005).

Para evaluar el desempeño de los modelos de distribución de especies se han desarrollado diversos estadísticos como el cálculo de área bajo la curva (ROC) por Fielding & Bell (1997), el índice KAPPA (Cohen 1960), recientemente se ha implementado el TSS (True Skill Statistic), el cual ha sido evaluado por Allouche, Tsoar & Kadmon, (2006) y de acuerdo a que compensa las deficiencias de KAPPA pero mantiene sus ventajas, sugiere el uso de este estadístico para la realización de mapas predictivos generados por modelos de presencia-ausencia.

Un estudio enfocado en el bosque mesófilo de montaña en México ha sido realizado por Rojas-Soto, Sosa & Ornelas (2012), con base en la selección de 16 especies del bosque mesófilo de montaña y mediante los algoritmos GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production) y Maxent (Maximum Entropy) predijeron las migraciones ascendentes del bosque nublado hacia altitudes más altas, lo que sugiere una futura extirpación del bosque nuboso en la región de Los Tuxtlas y Tamaulipas y dos pequeñas áreas ubicadas en los picos más altos de la Reserva de la Biósfera El Cielo en Tamaulipas.

Con el propósito de crear bases suficientes que pudieran ser de utilidad para estudios futuros y más específicos que integren evaluaciones más precisas como el True Skill Statistic (Allouche, Tsoar & Kadmon, 2006) para construir herramientas contundentes sobre los posibles comportamientos ante anunciados cambios en el clima.

El objetivo del presente trabajo fue conocer la distribución potencial de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México, para esto, se eligió el algoritmo Maxent para realizar el modelo de distribución potencial de cada especie, con base en la información de sus presencias geográficas y variables ambientales comúnmente utilizadas. Dichas ocurrencias se tomaron de fuentes importantes de información como CONAFOR (2012) y GBIF (2017).

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Las 19 especies estudiadas fueron: *Carpinus caroliniana* Walter, *Carya ovata* (Mill.) K.Koch, *Clethra alcoceri* Greenm, *Clethra mexicana* DC., *Cornus disciflora* Sessé & Moc, *Cyathea mexicana* Schlttl & Cham, *Eugenia xalapensis* (Kunth) DC., *Liquidambar styraciflua* L., *Magnolia schiedeana* Schtl, *Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, *Ostrya virginiana* (Mill.) K.Koch, *Persea schiedeana* Nees., *Platanus mexicana* Moric., *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, *Quercus candicans* Née, *Quercus eugeniaefolia* Liebm, *Quercus germana* Cham. & schlttl, *Ternstroenia lineata* DC. y *Trophis mexicana* (Lieb.) Bur. Las especies se refieren a 18 árboles y 1 helecho, y fueron seleccionadas mediante una revisión de literatura de estudios realizados por diversos investigadores (Williams-Linera, 2002; Rubio-Licona, Romero-Rangel y Rojas-Zenteno, 2011; Catalán, López-Mata y Terrazas, 2003; Alcántara y Luna, 2001; Ponce-Vargas, Luna-Vega, Alcántara-Ayala y Ruíz-Jiménez, 2006; Fortanelli-Martínez, García-Pérez y Castillo-Lara, 2014; García-De la Cruz, Olivares-López y Ramos-Prado, 2012; Alcántara y Luna, 1997; Martínez-Meléndez, Pérez-Farrera y Farrera-Sarmiento, 2008; Luna, Ocegueda y Othón, 1994; Valdez, Foroughbakhch y Alanís, 2003; Acosta, 1997; Acosta, 2004) en comunidades vegetales de BMM, se trata de aquellas especies con mayor valor de importancia en el bosque y más representativas.

En lo que se refiere a la ubicación geográfica de cada especie, en adelante referida como ocurrencias geográficas, se obtuvieron principalmente del Inventario Nacional Forestal (CONAFOR, 2012), es necesario destacar que los datos colectados por CONAFOR (2012) reciben un control de calidad para garantizar la congruencia de los mismos y de la información generada. La base del muestreo estratificado es la carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie III a escala 1:250 000 elaborada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013), donde la intensidad de muestreo está en función de las diferentes condiciones de las comunidades vegetales, además se basan en manuales y formatos de campo para la toma de los datos. La segunda fuente de información

fue el acervo Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2017) que se integra de reportes científicos, colecciones científicas y de herbarios de todo el mundo.

Se realizó un control de calidad de los registros compilados, que consistió en una revisión minuciosa de las ubicaciones obtenidas de cada una de las especies con el objetivo de eliminar ocurrencias duplicadas. Así mismo se observó que las referencias geográficas no se encontraron dentro de uso urbano, cuerpos de agua o de asentamientos humanos con base en la carta de Uso de Suelo y Vegetación de la serie V (INEGI, 2013).

Se emplearon los 19 predictores bioclimáticos de acuerdo con O'Donnell & Ignizio (2012) y con información de Gómez et al (2008). Las coberturas de dichos predictores se trabajaron en formato ASCII y con una resolución de 500 m² para lograr un manejo compatible con el algoritmo Maxent. Los 19 predictores bioclimáticos (Hijmans et al, 2005) utilizados son: bio1 Temperatura media anual, bio2 Oscilación térmica diaria, bio3 Isotermalidad, bio4 Estacionalidad térmica, bio5 Temperatura máxima del periodo más cálido, bio6 Temperatura mínima del periodo más frío, bio7 Oscilación térmica anual, bio8 Temperatura media del trimestre más húmedo, bio9 Temperatura media del trimestre más seco, bio10 Temperatura media del trimestre más cálido, bio11 Temperatura media del trimestre más frío, bio12 Precipitación anual, bio13 Precipitación del mes más húmedo, bio14 Precipitación del mes más seco, bio15 Estacionalidad de la precipitación, bio16 Precipitación del trimestre más húmedo, bio17 Precipitación del trimestre más seco, bio18 Precipitación del trimestre más cálido y bio19 Precipitación del trimestre más frío.

Para realizar el modelado de distribución potencial de cada una de las especies se eligió el algoritmo de máxima entropía Maxent en su versión v.3.3.3e (Phillips, Anderson & Schapire, 2006). El algoritmo realiza inferencias a partir de información incompleta o con pocos registros relativamente. Estima una probabilidad de distribución objetiva a partir de encontrar la distribución de máxima entropía de un sistema, por lo que se basa en lo conocido y evita hacer

inferencias de lo desconocido. Phillips et al. (2006), definen la entropía como una medida de la cantidad de información considerada en la selección de un evento.

Para cada especie, el 70% de las ocurrencias geográficas de cada especie se destinó para realizar el proceso de modelado con el algoritmo Maxent, estos registros fueron seleccionados de forma aleatoria.

Mediante ARC MAP en su versión 10.3, se clasificaron las probabilidades resultado del algoritmo, considerando el rango desde 0.3 a 1 como área idónea para las especies. Las coberturas finales se compararon con la superficie cubierta por bosque mesófilo de montaña de acuerdo con lo dispuesto actualmente por INEGI en la Serie V (2013) en la capa de uso de suelo y vegetación.

Para realizar la calibración de los modelos de distribución potencial se eligió la curva ROC (Received Operating Characteristic) (Hanley & McNeil, 1982), ya que ha sido adaptada a los modelos de distribución de especies (Peterson, Papes & Soberón 2008) y se calcula mediante el software Partial-ROC v.1.0 (Barve, 2008), el cual se alimenta con el 30% de los datos de las ocurrencias geográficas de cada una de las especies de acuerdo a lo sugerido por Fielding and Bell (1997), además del área de aptitud para cada categoría. El valor del área bajo la curva resultante para la distribución de cada especie fue promediado, se calculó la desviación estándar, el valor mínimo y el valor máximo de las repeticiones.

3.5 RESULTADOS

De la fuente de datos CONAFOR (2012) se obtuvieron 1310 presencias georreferenciadas de las especies estudiadas, mientras que de GBIF (2017) se obtuvieron 142 ocurrencias. En total se contó con 1452 ocurrencias geográficas. Posterior al control de calidad realizado se redujeron los datos observados a 1439 registros, lo que indicó una reducción de 13 presencias erróneas en la información recolectada. Los errores fueron por coordenadas geográficas duplicadas e imprecisas, en las especies *Carpinus caroliniana* Walter, *Clethra mexicana* DC, *Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, *Platanus mexicana* Moric, y *Quercus eugeniaefolia* Liebm.

Las especies con mayor número de ocurrencias geográficas fueron *Quercus candicans* Née, *Clethra mexicana* DC, *Quercus germana* Cham. & schltl y *Quercus eugeniaefolia* Liebm. Mientras que las especies con la minoría de ocurrencias geográficas fueron *Clethra alcoceri* Greenm, *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, *Trophis mexicana* (Lieb.) Bur, *Magnolia schiedeana* Schtl y *Cyathea mexicana* Schltl & Cham. La distribución de las ocurrencias geográficas se muestra en la Figura 2 y se localizan principalmente sobre la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico Transversal.

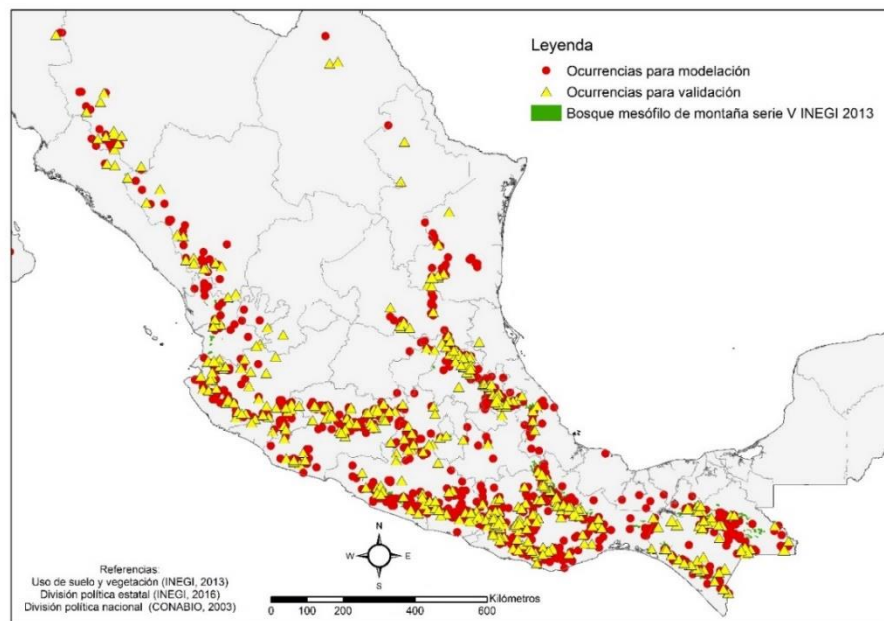


Figura 2. Ocurrencias geográficas de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña

Las superficies potenciales obtenidas para las 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México se compararon con la superficie actual reportada por INEGI (2013). La especie que presentó mayor superficie de distribución potencial en el territorio nacional fue *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray. con 270904476.6 hectáreas, de forma contraria la especie con menor superficie potencial de distribución en el país fue *Quercus eugeniaefolia* Liebm con 1, 880,479.9 hectáreas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie potencial actual por especie

Especies	Superficie potencial total ha	Superficie potencial en BMM %	Superficie potencial en otros ecosistemas %
<i>Carpinus caroliniana</i> Walter	14065116.9	5.4	94.6
<i>Carya ovata</i> (Mill.) K.Koch	2838266.6	3.3	96.7
<i>Clethra alcoceri</i> Greenm	2455173.4	32.7	67.3
<i>Clethra mexicana</i> DC.	14321721.8	4.9	95.1
<i>Cornus disciflora</i> Sessé & Moc	11496683.7	5.4	94.6
<i>Cyathea mexicana</i> Schltdl & Cham	4285414.8	7.7	92.3
<i>Eugenia xalapensis</i> (Kunth) DC.	10115203.4	4.7	95.3
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	4519656.7	10.3	89.7
<i>Magnolia schiedeana</i> Schtl	25423416.2	2.8	97.2
<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. & Planch	13933053.6	5.1	94.9
<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K.Koch	18466251.6	4.0	96.0
<i>Persea schiedeana</i> Nees.	4737292.0	9.6	90.4
<i>Platanus mexicana</i> Moric.	12920749.0	4.9	95.1
<i>Podocarpus reichei</i> J.T. Buchholz & N.E. Gray	270904476.6	0.2	99.8
<i>Quercus candicans</i> Née	21934729.8	2.8	97.2
<i>Quercus eugeniaefolia</i> Liebm	1880479.9	13.7	86.3
<i>Quercus germana</i> Cham.& schltdl	7144517.9	5.5	94.5
<i>Ternstroenia lineata</i> DC.	2473809.5	3.7	96.3
<i>Trophis mexicana</i> (Lieb.) Bur	23951643.0	2.3	97.7

De acuerdo a los modelos de distribución potencial obtenidos, en promedio, en las 19 especies el 7.1% de la superficie potencial de distribución se encuentra dentro del bosque mesófilo de montaña en México estimada actualmente por INEGI (2013).

Del área de distribución potencial estimada de *Carpinus caroliniana* Walter. (Figura 2) 5.4 %, se encuentra dentro del bosque mesófilo de montaña de acuerdo a lo indicado por INEGI (2013), mientras que de las áreas potenciales obtenidas para *Carya ovata* (Mill.) K.Koch 3.3 % se encuentra dentro de este tipo de vegetación. La especie *Clethra alcoceri* Greenm presentó una superficie más amplia, esto es 32.7 % del total estimado coincide con la cobertura de BMM referenciada por INEGI (2013), de forma diferente, aunque del mismo género, la especie *Clethra mexicana* DC obtuvo un porcentaje de 4.9 que se encuentra dentro de dichas áreas con vegetación de BMM (Figura 3).

Las áreas potenciales de la especie *Carpinus caroliniana* Walter, *Clethra alcoceri* Greenm y *Clethra mexicana* DC, resultaron parecidas y se localizaron a lo largo de la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, con áreas menores sobre el Eje Neovolcánico Transversal. No así para *Carya ovata* (Mill.) K.Koch, ya que su distribución se redujo a la Sierra Madre Oriental, desde el estado de Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí y con pequeñas áreas en el estado de Guanajuato, Durango y Zacatecas (Figura 3).

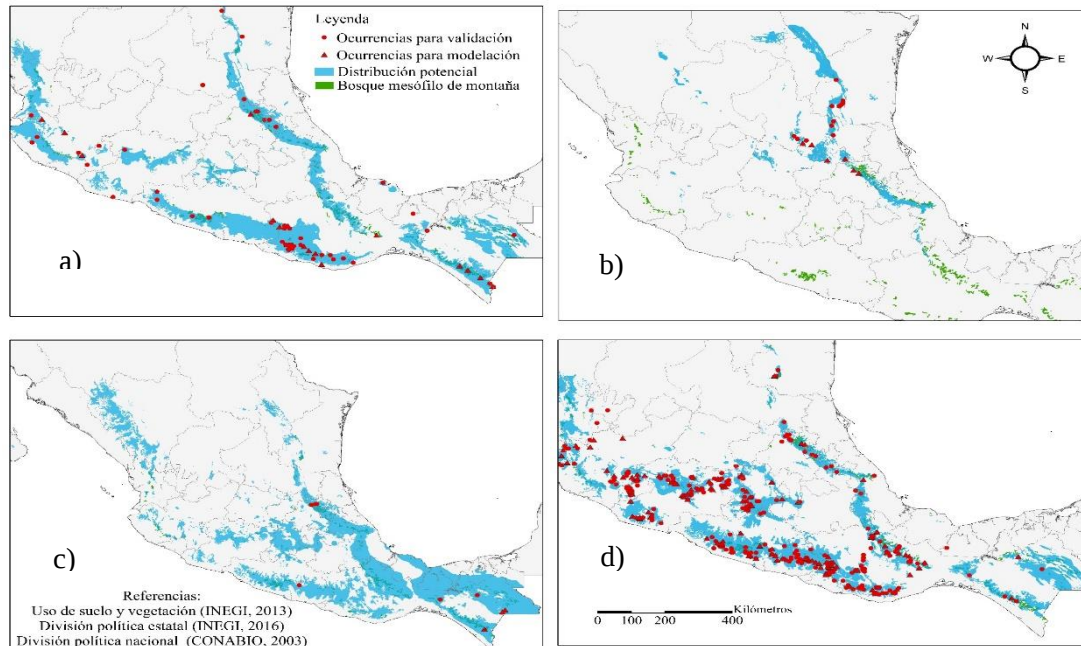


Figura 3. Distribución potencial de: a) *Carpinus caroliniana* Walter, b) *Carya ovata* (Mill.) K.Koch, c) *Clethra alcoceri* Greenm y d) *Clethra mexicana* DC.

El área de distribución potencial estimada que coincide con áreas de BMM de acuerdo a la información disponible de INEGI (2013), en el caso de *Cornus disciflora* Sessé & Moc fue 5.4% (623156.15 ha, para el helecho arborescente (*Cyathea mexicana* Schltld & Cham) 7.7%, mientras que la superficie potencia del arrayán (*Eugenia xalapensis* (Kunth) DC) que coincide con BMM es sólo 4.7% y para liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* L) 10.3% de ellas, se encuentran dentro del bosque mesófilo de montaña en México.

Las áreas potenciales estimadas para *Cornus disciflora* Sessé & Moc se distribuyen desde la Sierra Madre Occidental, en menor proporción sobre el eje Neovolcánico Transversal, la Sierra Madre del Sur en Guerrero, Oaxaca y Chiapas, lo cual coincidió parcialmente con la distribución potencial del helecho arborescente y el liquidámbar, aunque para estas especies se localizaron áreas casi imperceptibles en el estado de Oaxaca y Guerrero, y en el caso del arrayán (Figura 4) principalmente en la Sierra Madre Oriental, áreas pequeñas en los

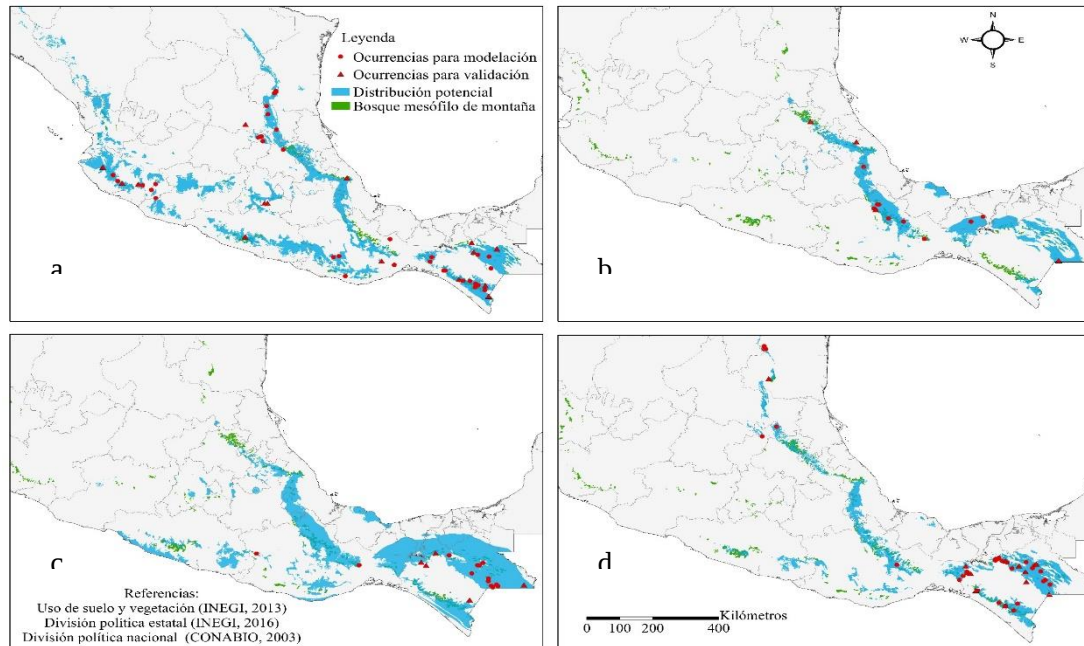


Figura 4. Distribución potencial de: a) *Cornus disciflora* Sessé & Moc, b) *Cyathea mexicana* Schltdl & Cham, c) *Eugenia xalapensis* (Kunth) DC y d) *Liquidambar styraciflua* L.

estados de Guerrero y Oaxaca, pero áreas extensas en Chiapas y pequeñas áreas sobre el Eje Neovolcánico Transversal.

La magnolia (*Magnolia schiedeana* Schtl) presentó un área de distribución potencial de 25423416.17 hectáreas en el territorio de la República Mexicana, de ésta, solo el 2.8 % (724374.4 ha) se encuentra dentro de las áreas reportadas con BMM por parte de INEGI (2013), el resto se encuentra fuera de este tipo de vegetación. Para el macuilillo (*Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch) se obtuvo 5.1% de sus áreas potenciales totales que coinciden con la localización de BMM en México.

De las áreas potenciales estimadas el porcentaje que coincide con la localización de BMM fue: de *Ostrya virginiana* (Mill.) K.Koch (palo fierro) 4.0 % (731216.5 ha), aunque la paga (*Persea schiedeana* Nees) presentó una superficie de distribución potencial más reducida: 737291.98 hectáreas, el 9.6% de ella confluye con la cobertura de bosque mesófilo de montaña en el territorio mexicano.

Las áreas potenciales se localizaron principalmente sobre la Sierra Madre Oriental, sobre la Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico Transversal, y la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero, Oaxaca, para la magnolia, palo fierro y el macuilillo, aunque para éste, en el Eje Neovolcánico Transversal las áreas son más escasas y extensas en la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero y Oaxaca y Chiapas (Figura 5), mientras que para la paga, las áreas potenciales en la Sierra Madre del Sur en el estado de Oaxaca son escasas.

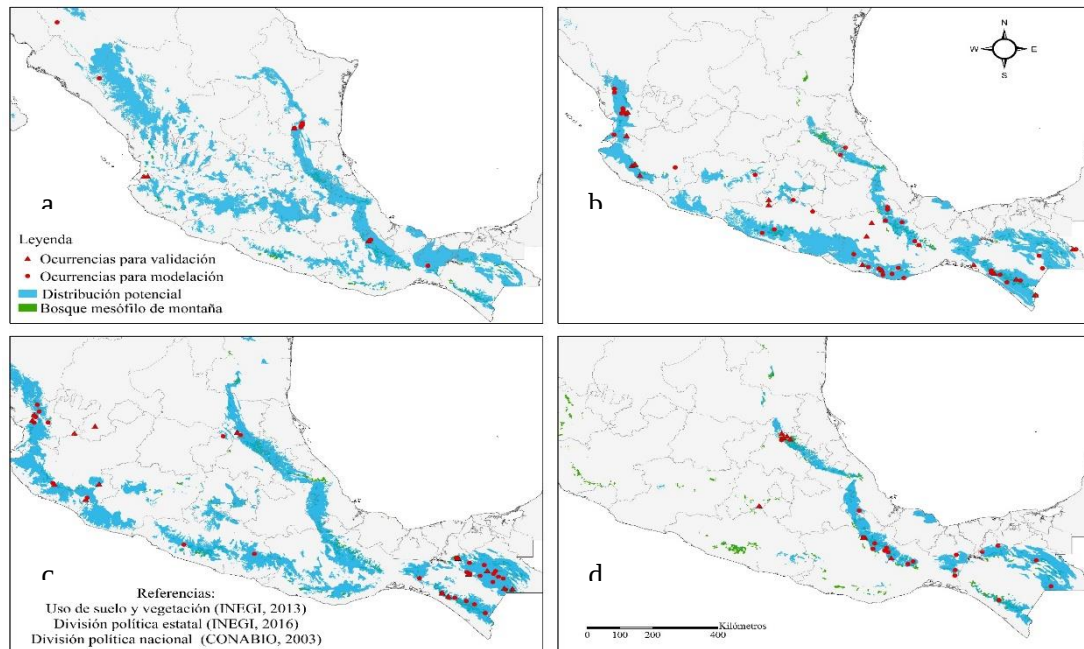


Figura 5. Distribución potencial de: a) *Magnolia schiedeana* Schtl, b) *Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, c) *Ostrya virginiana* (Mill.) K.Koch y d) *Persea schiedeana* Nees.

Las áreas potenciales estimadas que coinciden con la localización de bosque mesófilo de montaña en México, fueron menores, del total estimado para el álamo (*Platanus mexicana* Moric) 4.9% (632663.7 ha), de *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray 0.2%, 2.8% del área potencial total estimada de *Quercus candicans* Née, mientras que del área total estimada de *Quercus eugeniaefolia* Liebm se obtuvo un porcentaje mayor (13.7%) que confluye con el área delimitada por INEGI con el tipo de vegetación de BMM.

Las áreas potenciales del álamo se localizan principalmente sobre la Sierra Madre Occidental y en menor proporción sobre la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero y Oaxaca, aunque en el estado de Chiapas se localizó una mayor área potencial para esta especie (Figura 6). De forma similar se obtuvieron áreas potenciales para *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, pero más extensas del centro del país hasta el estado de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Las áreas potenciales del encino cenizo fueron similares a las del álamo, aunque con menores áreas sobre la Sierra Madre Oriental. Mientras que las áreas potenciales de *Quercus eugeniaefolia* Liebm, son más restringidas y su localización fue principalmente sobre la Sierra Madre Oriental y sobre la Sierra Madre del Sur en el estado de Chiapas.

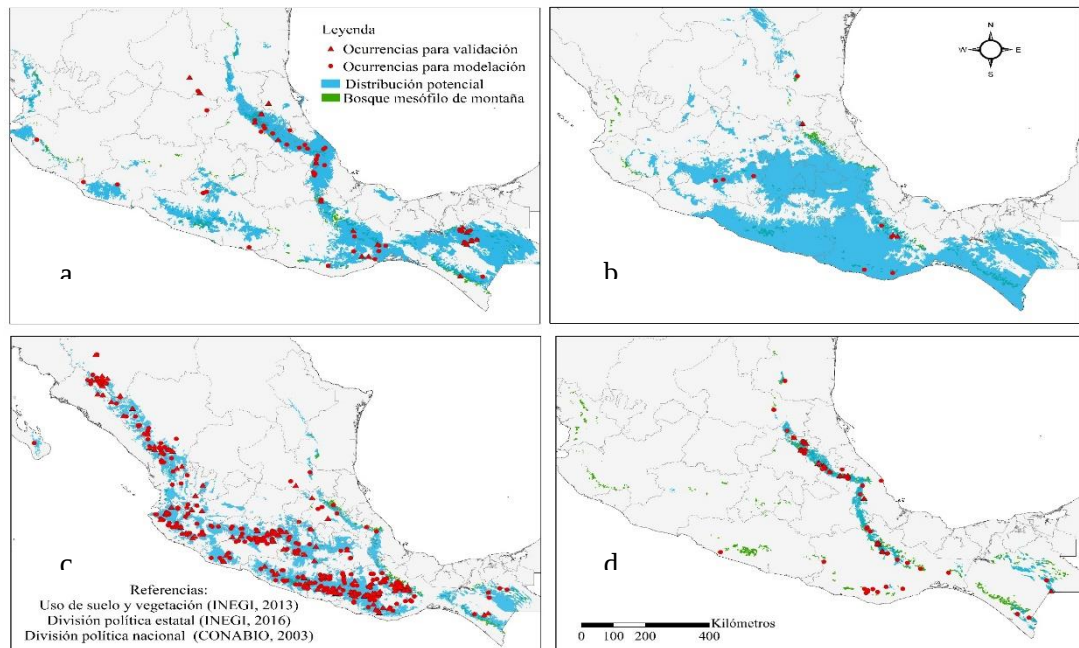


Figura 6. Distribución potencial de: a) *Platanus mexicana* Moric, b) *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, c) *Quercus candicans* Née y d) *Quercus eugeniaefolia* Liebm.

El área potencial de distribución para *Quercus germana* Cham. & schldtl se estimó en 7144517.9 hectáreas, de las cuales 5.5% coinciden con la presencia de bosque mesófilo de montaña en el territorio mexicano, el resto se encuentra fuera de las áreas con BMM (Figura 7). Las áreas potenciales estimadas para el

jaboncillo (*Ternstroenia lineata* DC) fueron menores, esto es 2473809.47 hectáreas en el territorio nacional mexicano, de las cuales, 3.7% equivalente a 92396.01 ha se encuentran dentro de la superficie con bosque mesófilo de montaña, el resto se encuentran fuera de este tipo de vegetación (Figura 6).

El ramoncillo (*Trophis mexicana* (Lieb.) Bur) obtuvo una superficie de distribución potencial más extensa, de 23951643.02 hectáreas, de las cuales 2.3% se encuentra dentro de las áreas con bosque mesófilo de montaña de acuerdo a lo reportado por INEGI (2013), el resto se localizan fuera de este tipo de vegetación.

La localización de áreas potenciales de *Quercus germana* Cham. & schltld resultaron principalmente sobre la Sierra Madre Oriental y sobre la Sierra Madre del Sur, en el estado de Oaxaca, Guerrero y Chiapas, mientras que la distribución potencial de *Ternstroenia lineata* DC es más restringida, localizándose principalmente sobre el Eje Neovolcánico Transversal, con menores áreas en la Sierra Madre del Sur en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Las áreas potenciales de *Trophis mexicana* (Lieb.) Bur se localizaron principalmente en la Sierra Madre del Sur en el estado de Chiapas, así también en los estados de Guerrero y Oaxaca, y la Sierra Madre Oriental, aunque en menor proporción en la Península de Yucatán (Figura 7).

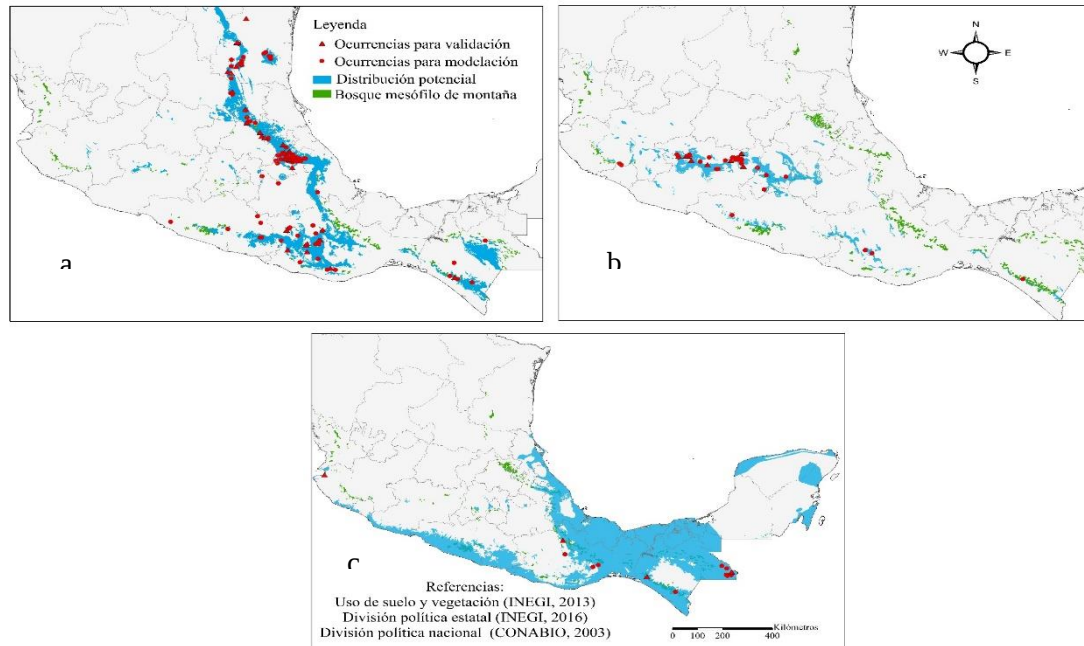


Figura 7. Distribución potencial de: a) *Quercus germana* Cham. & Schtl, b) *Ternstroemia lineata* DC y c) *Trophis mexicana* (Lieb.) Bur.

La prueba de Jackknife realizada por Maxent durante la modelación de distribución potencial, indica la contribución de las variables más importantes en la DP de las especies, y en este trabajo fueron bio2 Oscilación térmica diurna, bio4 Estacionalidad térmica, bio5 Temperatura máxima del periodo más cálido, bio7 Oscilación térmica anual, bio8 Temperatura media del trimestre más húmedo, bio10 Temperatura media del trimestre más cálido, bio12 Precipitación anual, bio13 Precipitación del mes más húmedo, bio14 Precipitación del mes más seco, bio16 Precipitación del trimestre más húmedo y bio17 Precipitación del trimestre más seco.

Evaluación de modelos de distribución potencial

El cálculo del área bajo la curva (AUC) que se obtuvo para todos los modelos fue mayor a 0.5, y la desviación estándar obtenida en la mayoría de las especies fue menor a 0.1, sin embargo en 6 especies se obtuvo un valor mayor a 0.1, lo cual indica que los datos de salida son más dispersos en comparación con la media.

Cuadro 2. Valores de AUC por especie

Especie	Valores de AUC			
	Media	Desviación estándar	Xmax	Xmin
<i>Carpinus caroliniana</i> Walter	0.988	0.005	0.989	0.956
<i>Carya ovata</i> (Mill.) K.Koch	0.985	0.013	0.995	0.967
<i>Clethra alcoceri</i> Greenm	0.642	0.162	0.757	0.415
<i>Clethra mexicana</i> DC	0.992	0.011	1.000	0.956
<i>Cornus disciflora</i> Sessé & Moc	0.979	0.091	0.999	0.084
<i>Cyathea mexicana</i> Schltdl & Cham	0.829	0.106	0.914	0.699
<i>Eugenia xalapensis</i> (Kunth) DC	0.949	0.022	0.965	0.919
<i>Liquidambar styraciflua</i> L	0.973	0.103	0.998	0.374
<i>Magnolia schiedeana</i> Schtl	0.930	0.061	0.954	0.519
<i>Oreopanax xalapensis</i> (Kunth) Decne. & Planch	0.989	0.004	0.992	0.983
<i>Ostrya virginiana</i> (Mill.) K.Koch	0.987	0.005	0.991	0.980
<i>Persea schiedeana</i> Nees	0.969	0.036	0.996	0.921
<i>Platanus mexicana</i> Moric.	0.992	0.003	0.994	0.988
<i>Podocarpus reichei</i> J.T. Buchholz & N.E. Gray	0.694	0.149	0.807	0.499
<i>Quercus candicans</i> Née	0.664	0.371	1.000	0.010
<i>Quercus eugeniaefolia</i> Liebm	0.864	0.188	0.991	0.035
<i>Quercus germana</i> Cham.& schltdl	0.909	0.168	0.999	0.025
<i>Ternstroenia lineata</i> DC	0.963	0.024	0.976	0.827

<i>Trophis mexicana</i> (Lieb.) Bur	0.861	0.083	0.925	0.755
-------------------------------------	-------	-------	-------	-------

El valor de AUC de las especies indica alta significancia estadística en los modelos y por lo tanto bajo error de comisión.

3.6 DISCUSIÓN

CONAFOR (2012) representó una muy importante fuente de datos de ocurrencias geográficas para este estudio, en cuanto a cantidad se refiere, de acuerdo con esta institución la intensidad de muestreo estratificado está en función de las condiciones de cada una de las comunidades vegetales. En torno a lo anterior, el control de calidad realizado a las ocurrencias geográficas dejó al descubierto la gran mayoría de datos obtenidos de dicha fuente, aparentemente sin errores, no así para los datos obtenidos de la base mundial de biodiversidad que dispone GBIF (2017), fuente que reúne información de diversas colecciones y herbarios del mundo, de donde se obtuvieron una minoría de datos erróneos, aunque se trataron de coordenadas geográficas imprecisas, uno de los errores típicos en la mayoría de las bases de datos de especímenes biológicos (Soberón & Peterson, 2004) que no necesariamente anulan el proceso de modelado.

En este estudio las especies *Q. candicans* Née, *C. mexicana* DC., *Q. germana* Cham. & schltl. y *Q. eugeniaefolia* Liebm presentaron el mayor número de ocurrencias geográficas, lo cual se debe a las características ecológicas y los requerimientos climáticos de cada una de ellas; son especies con una distribución conocida amplia en el territorio mexicano y además de estar presentes en bosques mesófilos de montaña, penetran también en bosques templados de Quercus y Pinos; a *Q. candicans* Née y *Q. eugeniaefolia* Liebm se les encuentra en asociaciones con el género *Clethra*, mientras que *Q. germana* Cham.& schltl tiene un rango altitudinal más amplio de 700 a 2300 msnm (Romero, Rojas y Rubio, 2015).

Las especies con menor cantidad de ocurrencias geográficas: *C. alcoceri* Greenm, *P. reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, *Cyathea mexicana* Schltl & Cham y *T. mexicana* (Lieb.) Bur, son también de las que menos información

documentada se ha encontrado hasta el momento, sin embargo, *Cyathea mexicana* Schltdl & Cham es una especie más especializada, que obedece a requerimientos climáticos más restringidos; se ha documentado su localización en la Reserva de la Biósfera de Manantlán, (Challenger, 1998).

Las áreas potencial obtenidas a partir de los modelos de distribución potencial para las 19 especies, en algunos casos son parecidas en cuanto a su distribución, lo que puede estar relacionado con las asociaciones vegetales entre especies. La semejanza en los resultados obtenidos a partir del modelado de distribución potencial de *C. caroliniana* Walter, *C. mexicana* DC, *C. disciflora* Sessé & Moc y *O. xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, coincide con lo reportado en estudios realizados por Catalán, et al. (2003) quienes citan la presencia de dichas especies en comunidades de bosque mesófilo de montaña en el estado de Guerrero, encontrando a *O. xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch y *Persea americana* entre las más importantes.

Así mismo, dichas especies presentaron áreas potenciales en la Sierra Madre Oriental, lo cual tiene significado con estudios realizados en Tenango de Doria, Hidalgo por Alcántara y Luna (1997), identificaron en las comunidades vegetales de bosque mesófilo de montaña la presencia de *C. alcocerii* Greenm, *C. caroliniana* Walter, *O. virginiana* (Mill.) K.Koch, *Q. eugeniaefolia* Liebm, *O. xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, *C. mexicana* DC, *P. reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, *P. mexicana* Moric, *Q. germana* Cham. & Schltdl, *T. mexicana* (Lieb.) Bur y *M. schiedeana* Schtl. En ese mismo estado, Alcántara y Luna (2001) estudiaron comunidades vegetales en Eloxochitla y Tlahuelompa, encontrando a *M. schiedeana* Schtl, *C. alcocerii* Greenm, *C. mexicana* DC, *C. caroliniana* Walter, *Q. germana* Cham. & Schltdl, *P. reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, presentes en el BMM.

Aunque *Q. germana* Cham. & Schltdl y *T. mexicana* (Lieb.) Bur, *C. mexicana* DC, *O. virginiana* (Mill.) K.Koch y *Q. eugeniaefolia* Liebm han sido evidenciadas en el estrato arbóreo alto que forma parte del bosque mesófilo de montaña en Lolotla, Hidalgo, también compuesto por un estrato arbóreo medio donde destaca *C. caroliniana* Walter, *C. ovata* (Mill.) K.Koch, *E. xalapensis* (Kunth) DC, y *C.*

disciflora Sessé & Moc, *O. xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, entre otros, se encuentran en un estrato arbóreo bajo, de acuerdo con estudios realizados por Ponce-Vargas, et al (2006). El estado de Hidalgo ostenta lo que quizás haya sido una de las áreas más extensas del bosque mesófilo de montaña en México, con centro en la Sierra de Tlanchinol como lo menciona Luna-Vega, (1995) (citado por Challenger, 1998), pero esos bosques ya están “severamente fragmentados” (Navarro-Sigüenza, 1996, citado por Challenger, 1998), quizás pueda deberse a lo anterior que la mayoría de las especies confluyen en esta región de la Sierra Madre Oriental.

La similitud en áreas potenciales obtenidas para las especies *C. caroliniana* Walter, *L. styraciflua* L, *Q. germana* Cham. & schltl, *C. mexicana* DC es también reconocida en estudios realizados por Williams-Linera, Manson y Isunza (2002) en comunidades de bosque mesófilo de montaña en Xalapa, Veracruz.

Pennington y Sarukhán, (2005), asumen que la distribución para *C. caroliniana* Walter es probablemente desde el sureste de Nuevo León y centro de Tamaulipas, hasta el norte de Oaxaca y norte de Chiapas, en todo lo largo de la Sierra Madre Oriental y en el macizo de los Tuxtlas, Veracruz, en la vertiente del Pacífico, en las zonas montañosas desde Nayarit, Jalisco hasta Chiapas, lo cual coincide con los resultados obtenidos de la modelación de distribución potencial. De acuerdo a un estudio realizado por Fortanelli-Martínez, et al., (2014), se describe la presencia de especies como *L. styraciflua* L, *Q. germana* Cham. & schltl con una distribución amplia en la región de Copalillos, San Luis Potosí, aunque también existe *Magnolia schiedeana*, *C. ovata* (Mill.) K.Koch y *O. virginiana* (Mill.) K.Koch con una distribución discontinua en rodales con variadas condiciones, en dichas comunidades vegetales.

Rubio-Licon, et al. (2011) en su estudio realizado en Temascaltepec, Estado de México, indican entre otras especies, la dominancia de *C. mexicana* DC y *T. lineata* DC en el bosque mesófilo de montaña.

La distribución de *Magnolia schiedeana* actualmente es rara en los bosques de México, ya que sus poblaciones son pequeñas, compuestas de 25 a 40 individuos, con requerimientos específicos para su polinización (Niembro,

Vázquez y Sánchez, 2010), Vázquez-G (1994) identificó 14 poblaciones restringidas en los estados de Querétaro, Hidalgo, Veracruz, Guerrero y Oaxaca, mientras que Sharp registró poblaciones de *M. schiedeana* Schtl en alturas de 1000 a 2000 metros en el suroeste de Tamaulipas. Niembro et al. (2010) refieren su distribución en los estados de Chihuahua, Durango, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Sonora y Veracruz. Dicha especie está considerada en peligro de extinción tanto en la NOM-059-SEMARNAT-2001 como en la Lista Roja de Plantas Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Cicuzza, Newton & Oldfield, 2007). Sin embargo las áreas potenciales resultado de la modelación de distribución de esta especie, refieren la existencia de áreas idóneas para su establecimiento más allá de la distribución actual.

La extensión en las áreas potenciales obtenidas responde también a que algunas especies no son exclusivas del BMM, como *O. virginiana* (Mill.) K.Koch que también forma parte de los bosques caducifolios, bosques de pinos y encinares; además de que es tolerante a la sequía y suelos pobres (Niembro, et al. 2010). Así mismo, la pagua forma parte de las selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias y bosques caducifolios, su distribución conocida es en áreas montañosas de los estados de Puebla, Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tabasco y Sur de Tamaulipas, de acuerdo con estudios realizados por Niembro, et al. (2010), lo cual coincide con los resultados obtenidos para dicha especie.

Las áreas potenciales obtenidas para *Q. eugeniaefolia* Liebm son restringidas, lo cual parece estar relacionado con el hecho de que se trata de una especie escasa, restringida a localidades donde las condiciones ambientales son ligeramente cálido-húmedas, en altitudes de 1400-1910 m, por lo que su distribución conocida es en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz, de acuerdo a lo reportado por Romero et al (2015).

La importancia de la temperatura en las especies de plantas es tal que determina la expansión de los rangos de sus variables de acuerdo a su latitud y altitud, de modo que en las zonas cercanas a los polos y de altitudes elevadas las temperaturas bajas son el factor limitante, mientras que hacia el ecuador la distribución se limita por las altas temperaturas y la sequía (Woodward, 1987).

Además, se sabe que las dinámicas poblacionales y el comportamiento de los individuos en las especies arbóreas en general están determinados de manera importante por la temperatura (Körner, 2012). Por lo anterior, existe la posibilidad de que los cambios actuales en la temperatura ambiental respecto de las últimas décadas, hayan inducido alguna alteración en la ecología de las especies forestales aquí estudiadas y modificado sus rangos de distribución, como ocurre generalmente en especies arbóreas (Matías, 2012).

El hecho de que las áreas potenciales estimadas en este estudio para todas las especies resultó mayor a las áreas actualmente cubiertas con bosque mesófilo de montaña, puede comprenderse desde el punto de vista de Challenger (1998): si se comparan las coberturas actual y potencial del bosque mesófilo de montaña en México éste sigue existiendo en casi todas las áreas correspondientes a su distribución natural, pero en muchas de ellas ha sido reducido a fragmentos muy pequeños, incapaces de sustentar a largo plazo poblaciones viables de muchas especies de flora y fauna típicas de este hábitat.

Hay fragmentos aislados de bosque mesófilo desperdigados en las pendientes meridionales de sotavento de lagunas de las montañas más elevadas de la Faja Volcánica Transmexicana, las cuales reciben la influencia del clima tropical de la Depresión del Balsas adyacente, como lo afirma Tejero Díez et al., (1990) (citado en Challenger, 1998). La idea de que la cobertura actual con bosque mesófilo de montaña es solamente la mitad de la superficie original que anteriormente se tenía, tal como lo menciona Rzedowski (1996) podría especularse que las áreas obtenidas en este estudio estén cercanas a las áreas cubiertas con este tipo de vegetación en el pasado.

En cuanto a la evaluación de los modelos obtenidos, es posible que el valor obtenido en la desviación estándar para las seis especies donde se obtuvo un valor mayor a 0.1, podría estar relacionado con la información que alimentó los modelos, específicamente a las ocurrencias geográficas, ya que las variables ambientales fueron iguales para cada una de las especies.

3.7 CONCLUSIONES

En el presente estudio, la fuente de datos CONAFOR (2012) y GBIF (2017) representaron importantes fuentes de información geográfica georreferenciada, lo cual facilitó el desarrollo de estudios de distribución potencial a partir de datos de ocurrencias geográficas.

El área de distribución potencial de las especies se sitúa mayormente en las zonas fuera de la cobertura de bosque mesófilo de montaña indicadas por INEGI (2013), situación que indica la existencia de condiciones ambientales idóneas para el establecimiento de dichas especies y por lo tanto aumentar la distribución actual de los bosques mesófilos de montaña.

3.8 BIBLIOGRAFIA

- Acosta, C. S. (1997). Afinidades fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de la zona de Pluma Hidalgo, Oaxaca, México. *Polibotánica*, 6, 25-39.
- 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 Serie Botánica*, 75 (1), 61-72.
- Alcántara, A. O. y Luna, V. I. (1997). Florística y análisis biogeográfico del bosque mesófilo de montaña de Tenango de Doria, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional autónoma de México. Serie Botánica*, 2, (68), 57-106.
- Alcántara, A.O. y Luna, V. I. (2001). Análisis florístico de dos áreas con Bosque Mesófilo de Montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa. *Acta botánica Mexicana*, (54), 51-87.
- Allouche, O., Tsoar, A. and Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the skill statistic (TSS). *Ecology*, (43), 1223-1232.
- Barve, N. (2008). Tool for Partial-ROC ver. 1.0. Biodiversity Institute, Lawrence, KS, USA.
- Cicuzza, D., Newton, A. and Oldfield, S. (2007). The Red List of Magnoliaceae. *Fauna y Flora Internacional*.
- Catalán, H. C., López-Mata, L. y Terrazas, T. (2003). Estructura, composición

- florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero, México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 2, (74), 209-230.
- Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México pasado, presente y futuro. México. Comisión Nacional para Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, Universidad nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement of nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2009). Cobertura de bosque mesófilo de montaña en el nuevo Inventario Nacional Forestal 2009. Recuperado de www.e-mapas.gob.mx.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). Inventario Nacional Forestal y de Suelos: Informe 2004-2009. Comisión Nacional Forestal. México. 212 p.
- Fortanelli-Martínez, J., García-Pérez, J. y Castillo-Lara, P. (2014). Estructura y composición de la vegetación del bosque de niebla de Copalillos, San Luis Potosí, México. *Acta botánica Mexicana*, (106), 161-186.
- Fielding, A. H., and Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 1, (24), 38-49.
- García-De la Cruz, Y., Olivares-López, L. A. y Ramos-Prado, J. M. (2013). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Doi 10.5154/r.rchscfa.2012.03.025
- Global Information Facility (GBIF). (2017). Portal de datos de biodiversidad. Disponible en <https://www.gbif.org/>.
- Gómez, J. D., Etchevers, J. D., Monterroso, A. I., Gay, C., Campo, J., and Martínez, M. (2008). Spatial estimation of mean temperatura and precipitation in areas of scare meteorological information. *Atmósfera*, 1, (21), 35-56.
- González-Espinosa, M, Meave, J. A, Loera-Hernández, F. G, Ibarra-Manríquez, G. and Newton, A. C. (2011). The Red List of Mexican Cloud Forest Trees.

- Cambridge, UK. Fauna & Flora International.
- Guisan, A. and Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8, 993-1009.
- Hanley, J. A. and McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the Area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve. *Radiology*, 1, (143), 29-36.
- Hijmans, R. J., Cameron S. E., Parra J. L, Jones P. G. y Jarvis, A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land area. *Int J Climatol*, 25, 1965–1978
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1:250000, Serie V. DGG-INEGI. México. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Körner, C. (2012). Functional ecology of the global high elevation tree limits. Alpine treelines. Doi: 10.1007/978-3-0348-0396-0.
- Martínez-Meléndez, J. Pérez-Farrera, M. A. y Farrera-Sarmiento, O. (2008). Inventario Florístico del Cerro El Cebú y zonas adyacentes en la Reserva de la Biósfera el Triunfo (Polígono V), Chiapas, México. *Sistemática y Florística*, (82), 21-40.
- Matías, L. (2012). Cambios en los límites de distribución de especies arbóreas como consecuencia de las variaciones climáticas. *Ecosistemas*, 3, (21), 91-96. Doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.12.
- Monterroso, R. A. I. (Ed). (2009). El bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo: perspectiva ecológica frente al cambio climático. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Niembro, R. A., Vázquez, T. M. y Sánchez, S. O., (2010). Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación ecológica. Xalapa, Veracruz. México. Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución, Centro de Investigaciones Tropicales.
- Luna, V. I., Ocegueda, C. S y Alcántara, A. O. (1994). Florística y notas biogeográficas del bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología Serie Botánica*, 65, (1), 31-

- O'Donnell, M. and Ignizio, D. (2012). Bioclimatic Predictors for Supporting Ecological Applications in the Conterminous United States. Geological Survey Data Series 691.
- Ortega, E. F y Castillo, C. G. (1996). El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. Ciencias, (43), 32-39.
- Pennington, T. D. y Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las especies. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Peterson, A. T., Papes, M. and Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modelling. Ecological Modelling, (213), 63-72.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological modelling, (190), 231-259.
- Ponce-Vargas, A., Luna-Vega, I., Alcántara-Ayala, O. y Ruíz-Jiménez, C.A. (2006). Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo., México. Revista mexicana de biodiversidad, (77), 177-190.
- Richardson, D. M. and Whittaker, R. J. (2010). Conservation biogeography- foundations concepts and challenges. Diversity and Distributions, 16, (3), 313-320.
- Rojas-Soto, O. R., Sosa, V. and Ornelas, J. F. (2012). Forecasting cloud forest in Eastern and southern México: conservation insights under future climate change scenarios. Biodivers Conserv, (21), 2671-2690. Doi: 10.1007/s10531-012-0327-x
- Romero R. S., Rojas Z. E. C. y Rubio L. L. E., 2015. Encinos de México (Quercus fagaceae) 100 especies. Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, CP04510, México, Distrito Federal. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rubio-Licona, L. E., Romero-Rangel, S. y Rojas-Zenteno, E. C. (2011). Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de Quercus

- (Fagaceae) en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 1, (17), 77-90.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña en México. *Acta Botánica Mexicana*, (35), 25-44.
- Soberón, J. and Peterson A. T. 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical transactions of The Royal Society of London Biological Sciences*, 359 (1444), 689-698.
- Valdez, T. V., Foroughbakhch, P. R y Alanís, F. G. (2003). *Ciencia UANL*, VI, (3). 360-365.
- Vázquez-G, J. A. (1994). Magnolia (Magnoliaceae) in Mexico and Central America: A Synopsis. *Brittonia*, 46, (1), 1-23.
- Williams-Linera, G. (2002). Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation*, (11), 1825-1843.
- Williams-Linera, G., Manson, R. H. y Isunza, V. E. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y bosques*, 1, (8), 73-89.
- Woodward, F. I. (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge. UK. University Press.

CAPITULO 4

Áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México

Priority areas for the conservation of Mexican cloud forest

Lucia Guadalupe López-Arce¹, Alejandro Ismael Monterroso-Rivas², Luz Judith Rodríguez-Esparza¹, Diódoro Granados-Sánchez¹

4.1 RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue identificar áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México, mediante la integración de 19 coberturas espaciales con distribución potencial apta de 18 especies arbóreas y 1 helecho arborescente representativos del bosque mesófilo de montaña en México. El resultado obtenido es una sola cobertura espacial integrada, la cual hace referencia al número de especies de las cuales confluyeron sus áreas potenciales en un espacio geográfico. Los valores de aptitud potencial se clasificaron en 3 clases (alta, media y baja), posteriormente se comparó el resultado de las áreas con aptitud potencial alta contra las áreas actuales que sostienen este tipo de vegetación referido por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Las áreas prioritarias para la conservación del BMM propuestas se refieren a superficie de 567,405 ha que se distribuyen en el territorio mexicano, que equivalen al % del bosque mesófilo actual.

Palabras clave: Integración, coberturas espaciales, distribución potencial.

4.2 ABSTRACT

The objective of this work was to identify priority areas for the conservation of the Mexican cloud forest, through the integration of 19 spatial coverages with suitable potential distribution of 18 arboreal species and 1 tree fern representative of the Mexican cloud forest, the result obtained was a single integrated spatial coverage with values ranging from 1 to 18, which refer to the number of species from which

their potential areas converged in a geographical space, said values of potential aptitude were classified into 3 classes (high potential aptitude , medium, and low), later the result of the areas with high potential aptitude was compared against the current areas that support this type of vegetation referred by the National Institute of Statistics and Geography. Finally, the priority areas for cloud forest conservation were obtained in an area of 567,405.11 ha that are distributed in Mexican territory, which were the areas with high potential aptitude that are considered in the coverage referred by INEGI.

Keywords: Integration, spatial coverage, potential distribution.

4.3 INTRODUCCIÓN

Desde hace dos décadas las estimaciones sobre la superficie cubierta por bosque mesófilo de montaña (BMM), también llamado bosque nuboso, en México se centraban en el 1% (Rzedowski, 1996) respecto al territorio nacional, recientemente Williams-Linera (2012) menciona una ocupación de 0.8% con relación a la superficie de México. Dicha superficie se concentra principalmente en los estados de Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, San Luis Potosí, Guerrero, Veracruz, Puebla y Colima (Ortega y Castillo, 1996).

Con base en la perturbación y degradación a las que estos bosques nubosos están sometidos, González-Espinosa, Meave, Lorea-Hernández, Ibarra-Manríquez & Newton (2011) advierten sobre la grave amenaza que enfrentan estas comunidades vegetales y derivado de ese estudio se desprende que más del 60% de los árboles que forman parte de bosques nubosos mexicanos están amenazados en cierta medida.

Resultados de expertos (González et al., 2011b), especialistas e investigadores, derivan que de un total de 762 especies arbóreas del bosque de niebla se encuentra en peligro 27%, 23% es vulnerable, en peligro crítico el 10.9%, el 10%

se encuentran cercanas a la categoría de amenazadas y el 0.4% de las especies estudiadas se encuentran extintas.

Ante la evidente amenaza que presentan estos bosques, Williams-Linera (2002) menciona que los fragmentos con bosques perturbados y vegetación secundaria podrían ser de gran ayuda para conectar las áreas de bosques no perturbados, siempre que se tomen en cuenta programas de reforestación bien ejecutados y a escalas más grandes.

El objetivo del presente trabajo fue identificar áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México, derivado de la integración de 19 coberturas espaciales con distribución potencial apta de 18 especies arbóreas y 1 helecho arborescente, el resultado obtenido sobre las aptitudes potenciales integradas en una sola cobertura se clasificó en 3 clases (aptitud potencial alta, media y baja), posteriormente se comparó el resultado de las áreas con aptitud potencial alta contra las áreas actuales que sostienen este tipo de vegetación referido por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013). Con lo anterior se obtuvieron las áreas prioritarias para la conservación del BMM, las cuales fueron las áreas con aptitud potencial alta que se encuentran consideradas en la cobertura referida por INEGI.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Previamente a esta investigación se elaboraron 19 mapas con la distribución potencial de las especies *Carpinus caroliniana* Walter, *Carya ovata* (Mill.) K.Koch, *Clethra alcoceri* Greenm, *Clethra mexicana* DC., *Cornus disciflora* Sessé & Moc, *Cyathea mexicana* Schltdl & Cham, *Eugenia xalapensis* (Kunth) DC., *Liquidambar styraciflua* L., *Magnolia schiedeana* Schtl, *Oreopanax xalapensis* (Kunth) Decne. & Planch, *Ostrya virginiana* (Mill.) K.Koch, *Persea schiedeana* Nees., *Platanus mexicana* Moric., *Podocarpus reichei* J.T. Buchholz & N.E. Gray, *Quercus candicans* Née, *Quercus eugeniaefolia* Liebm, *Quercus germana* Cham. & schltdl, *Ternstroenia lineata* DC. y *Trophis mexicana* (Lieb.) Bur. Las especies se refieren a 18 árboles y 1 helecho, y fueron seleccionadas mediante una

revisión de literatura de estudios realizados por diversos investigadores (Williams-Linera, 2002; Rubio-Licona, Romero-Rangel y Rojas-Zenteno, 2011; Catalán, López-Mata y Terrazas, 2003; Alcántara y Luna, 2001; Ponce-Vargas, Luna-Vega, Alcántara-Ayala y Ruíz-Jiménez, 2006; Fortanelli-Martínez, García-Pérez y Castillo-Lara, 2014; García-De la Cruz, Olivares-López y Ramos-Prado, 2012; Alcántara y Luna, 1997; Martínez-Meléndez, Pérez-Farrera y Farrera-Sarmiento, 2008; Luna, Ocegueda y Othón, 1994; Valdez, Foroughbakhch y Alanís, 2003; Acosta, 1997; Acosta, 2004) en comunidades vegetales de BMM, se trata de aquellas especies con mayor valor de importancia en el bosque y más representativas.

Para unir en un solo mapa las 19 distribuciones potenciales se revisaron las técnicas disponibles, y se eligió el método de distribución de frecuencias absolutas (Gómez, 2004). Por lo que mediante el uso de ARCMAP, se unieron las 19 coberturas de distribuciones potenciales aptas de las 19 especies representativas del BMM en México. La información espacial resultado de lo anterior, se trata de valores que van de 1 a 18 que representan el número de especies de las cuales confluyen las distribuciones potenciales en un área geográfica del territorio mexicano, con dichos datos se elaboró una serie de datos simple, ordenando los datos de valores del mínimo al máximo para observar la distribución de dichos valores, para poder agruparlos por clases.

De acuerdo con Gómez (2004) los límites de las clases se basaron en las interrupciones que fueron advertidas con los datos graficados, por la ausencia de puntos o la máxima inflexión a lo largo del eje x. Se identificaron tres clases de áreas potenciales, de acuerdo con el número de especies (1-18) de las cuales confluyeron sus áreas de distribución potencial, a dichas clases se les asignó un nivel (Alto, Medio o Bajo), de acuerdo a lo sugerido por Gómez (2004).

Posteriormente en ARCMAP se realizó la reclasificación en el mapa resultante y se disolvieron los polígonos en cada una de las clases para obtener una superficie más compacta y poder manejar con mayor facilidad el área de cada una de ellas.

Finalmente, el área potencial de la clase Alta se comparó con las áreas actuales de distribución del bosque mesófilo de montaña referidas por el Instituto Nacional de Geografía (INEGI, 2013) a través de la cobertura de uso de suelo y vegetación de la Serie V. Con lo que se obtuvo la superficie de áreas con alto valor potencial que ya se encuentran consideradas en los polígonos con BMM referido en el mapa de uso de suelo y vegetación de la serie V por INEGI (2013), así también se obtuvieron las áreas potenciales que de acuerdo con INEGI no se encuentran dentro del polígono que comprende este tipo de vegetación y las áreas que INEGI considera con bosque mesófilo de montaña actualmente y que de acuerdo con el estudio realizado no se encontraron en el área con alto valor potencial. De acuerdo con lo anterior se proponen áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México.

4.5 RESULTADOS

Se realizó la integración de los 19 mapas de distribución potencial de las 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México y como resultado se obtuvo una cobertura espacial integrada de 2797 polígonos con valores de 0 a 19 en cada polígono, dicho valor representa el número de especies de las cuales sus distribuciones potenciales confluyeron, donde un valor de 0 en un polígono se refiere a que ninguna de las 19 especies presentó áreas potenciales en dicha área geográfica y un valor de 19 se refiere a que las 19 especies confluyeron sus áreas potenciales. La serie de datos obtenida de acuerdo con la ordenación de estos valores de confluencia o integración del valor mínimo al máximo permitió observar el valor mínimo de confluencia, se presenta en la Figura 8, el valor mínimo fue 0 y el valor máximo 18.

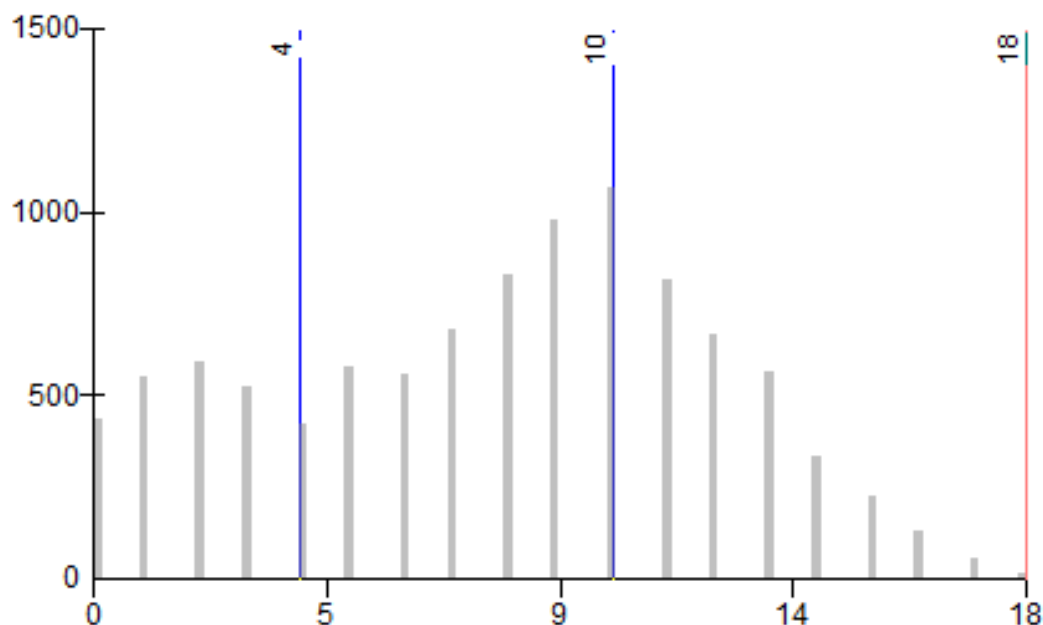


Figura 8. Histograma de frecuencias de aptitud ordenada del valor mínimo (0 especies) al máximo de confluencia (18 especies) en áreas potenciales.

Como resultado de la gráfica de valores de aptitud se identificaron 3 clases que se describen en el Cuadro 3, donde la clase 1 (aptitud baja) agrupa las áreas donde confluyeron áreas potenciales de 1 a 4 especies, la clase 2 (aptitud media) engloba las áreas donde confluyeron áreas potenciales de 5 a 10 especies y la clase 3 (aptitud alta) donde confluyeron áreas potenciales de 11 a 18 especies. Para una mejor comprensión se obtuvieron las superficies en hectáreas de las áreas que constituyen cada clase de aptitud potencial, resultado de la integración de las 19 coberturas de distribución potencial de las especies.

Cuadro 3. Clasificación por áreas de aptitud potencial y sus superficies

Clases de aptitud potencial	Número de especies de las que confluyeron sus áreas potenciales	Superficie en el territorio mexicano (ha)
Baja	1 a 4	4414329.39
Media	5 a 10	1315532.24

Como resultado de la identificación y clasificación de las 3 clases de aptitud potencial y después de disolver los polígonos en cada una de ellas, se obtuvieron áreas compactas en cada clase, las cuales se han presentado en la Figura 9.

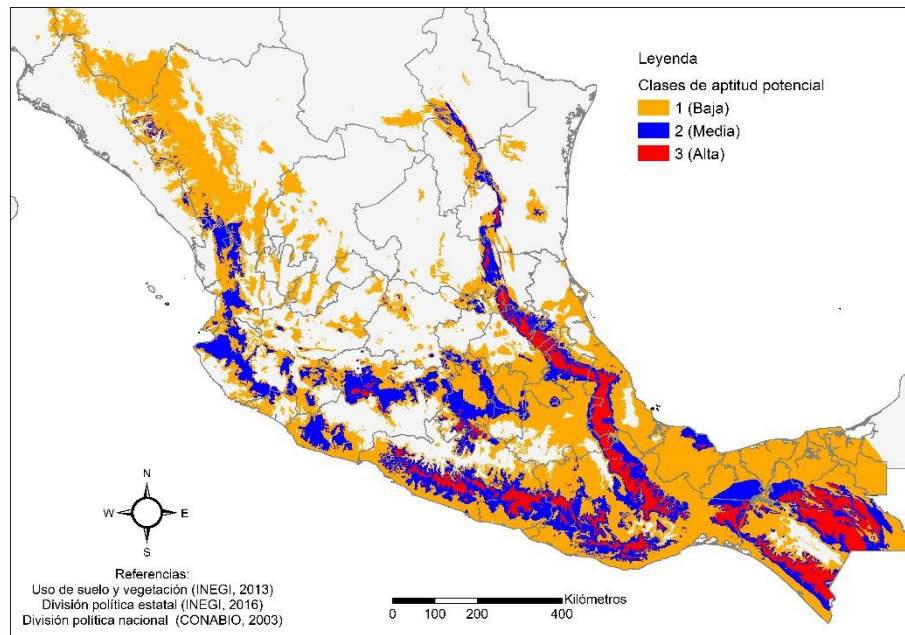


Figura 9. Clases de aptitud potencial derivado de la unión de 19 especies representativas del BMM en México.

Las áreas de la clase Alta con alta aptitud potencial fueron aquellas en las que confluyeron áreas potenciales de 11 a 18 especies de las 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña estudiadas, con una superficie de 5295161.16 ha. Una comparación se presenta en la Figura 10 de las áreas de aptitud potencial alta y las áreas actuales con bosque mesófilo de montaña en México, de acuerdo con lo referido por el Instituto Nacional de Geografía (INEGI, 2013).

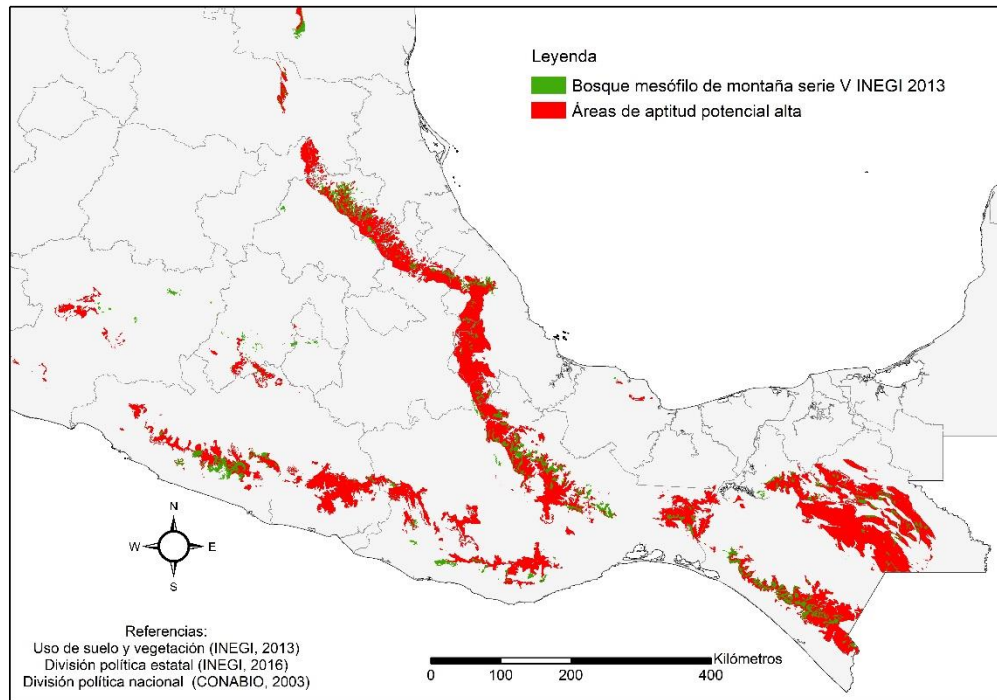


Figura 10. Comparación de las áreas con distribución potencial alta (este estudio) con áreas actuales de distribución del BMM referido por INEGI (2013).

Como resultado de la comparación de las áreas obtenidas con alta aptitud potencial del bosque mesófilo de montaña en México, se obtuvieron tres áreas diferentes: 1) aquellas áreas con alta aptitud potencial del bosque mesófilo de montaña que ya se encuentran consideradas en el polígono referido por INEGI, así también se obtuvieron las áreas de aptitud potencial alta que de acuerdo con INEGI no se encuentran dentro del polígono que comprende este tipo de vegetación y las áreas que INEGI considera actualmente con bosque mesófilo de montaña y que de acuerdo al estudio realizado no se encontraron clasificadas en áreas con alta aptitud potencial. Para ello se presenta un cuadro que resume estos datos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Áreas de alta aptitud potencial clasificadas en áreas prioritarias para la conservación del BMM, áreas potenciales para reforestación y áreas con BMM actuales no presentes en esta clasificación.

Propuesta derivada del estudio realizado	Superficie (ha)	Porcentaje respecto al territorio nacional mexicano	Porcentaje al respecto al BMM (INEGI, 2013)
Área prioritaria para la conservación del BMM en México	507405.11	0.26	59.57
Área potencial para reforestación actualmente sin BMM	4585548.39	2.34	N/A
Áreas con BMM (INEGI, 2013) no clasificadas en este estudio con alto potencial	202207.63	0.10	23.74

Derivado de lo anterior, se presenta el siguiente mapa (Figura 11) para visualizar las áreas prioritarias propuestas para la conservación del BMM en México, áreas que presentan alta aptitud potencial que podrían ser enfocadas a la reforestación y las áreas actualmente con BMM pero que no se encontraron dentro la clasificación de áreas de aptitud con alto potencial.

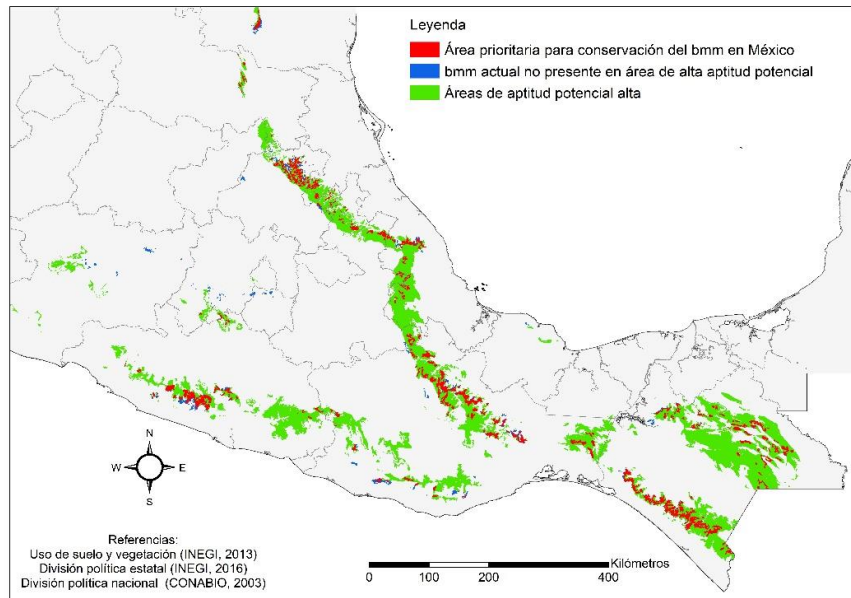


Figura 11. Áreas prioritarias para la conservación del BMM en México.

Las áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México tienen lugar principalmente en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, Veracruz, Puebla y San Luis Potosí, en el Cuadro 5 se presenta el porcentaje de superficie de área prioritaria que se propone sea enfocado a la conservación del bosque mesófilo de montaña en México.

Cuadro 5. Distribución de áreas prioritarias para la conservación del BMM en México.

Estado	Superficie actual con BMM (INEGI,2013)	Área prioritaria para la conservación	Porcentaje propuesto respecto al total en el estado
Chiapas	233072.71	206900.82	88.77
Oaxaca	221661.11	156042.31	70.40
Guerrero	105255.24	74312.26	70.60
Hidalgo	75042.02	44725.45	59.60
Veracruz	56365.48	42689.14	75.74
Puebla	32399.14	29171.53	90.04

San Luis	5999.34	4801.7	80.04
Potosí			

4.6 DISCUSIÓN

La zonificación de áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México en este estudio es coherente con lo observado y reportado. Se han realizado predicciones sobre su vulnerabilidad al cambio climático y demás fenómenos que amenazan su permanencia. Un estudio realizado por Ponce-Reyes (2012) asevera que en México las áreas climáticamente adecuadas para el bosque nuboso disminuirán en un 68% a alrededor de 5600 km² para el año 2080, sin embargo, calculó que las áreas protegidas tan solo cubren 12% de los actuales bosques nubosos y la superficie de áreas protegidas apenas se superpone menos de 1% con las áreas climáticamente aptas para el bosque nuboso en 2080.

Las áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México derivadas del presente estudio son localizadas principalmente en Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, Veracruz, Puebla y San Luis Potosí. Particularmente en el estado de Chiapas podría ser una alternativa para mitigar los posibles daños ocasionados por el cambio climático que se ha estudiado por Ponce-Reyes (2012), derivado de su estudio el estado de Chiapas resulta una de las regiones proporcionalmente más expuesta a las pérdidas de especies endémicas, mientras que en Oaxaca podrían conservarse las especies restringidas al bosque nublado, ya que en ese mismo estudio se advierte sobre la posible desaparición de entre el 15% y el 65% de 26 especies restringidas al bosque nublado, además, se estimó que del total de BMM que se encuentra en ese estado, solo 3% están protegidos en la actualidad.

Rojas-Soto, et al (2012) predicen la reducción del bosque nuboso en la parte norte de la Sierra Madre Oriental (San Luis Potosí y Tamaulipas) y la vertiente del Pacífico de Chiapas. El estudio realizado por CONABIO (2010) integra 13 regiones de priorización, en las que las acciones dirigidas a su conservación,

manejo sostenible y restauración deben ser implementadas de manera inmediata, dicha áreas fueron derivadas del estudio de factores y procesos que inciden en el deterioro, transformación y mantenimiento de estas áreas con BMM, dichas áreas coinciden parcialmente con las obtenidas en este estudio, se encuentra similitud en la región norte en el estado de Chiapas y el estado de Guerrero, así también en el norte de San Luis Potosí.

Ante la evidente amenaza que presentan estos bosques Williams-Linera (2002) menciona que los fragmentos con bosques perturbados y vegetación secundaria podrían ser de gran ayuda para conectar las áreas de bosques no perturbados, siempre que se tomen en cuenta programas de reforestación bien ejecutados y a escalas más grandes.

4.7 CONCLUSIONES

Se identificaron áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México, principalmente en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, Veracruz, Puebla y San Luis Potosí, como resultado de la integración de 19 coberturas de distribución potencial de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México, sin embargo, también se obtuvieron áreas de alta aptitud potencial que podría traer óptimos resultados en tareas de conservación del bosque mesófilo de montaña basadas en las 19 especies estudiadas.

4.8 BIBLIOGRAFIA

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). Conjunto Nacional de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1:250000, Serie V. DGG-INEGI. México. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas/>
- Körner, C. (2012). Functional ecology of the global high elevation tree limits. *Alpine treelines*. Doi: 10.1007/978-3-0348-0396-0.
- Martínez-Meléndez, J. Pérez-Farrera, M. A. y Farrera-Sarmiento, O. (2008). Inventario Florístico del Cerro El Cebú y zonas adyacentes en la Reserva de la Biósfera el Triunfo (Polígono V), Chiapas, México. *Sistemática y Florística*, (82), 21-40.

- Matías, L. (2012). Cambios en los límites de distribución de especies arbóreas como consecuencia de las variaciones climáticas. *Ecosistemas*, 3, (21), 91-96. Doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.12.
- Monterroso, R. A. I. (Ed). (2009). *El bosque mesófilo de montaña en el estado de Hidalgo: perspectiva ecológica frente al cambio climático*. Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Niembro, R. A., Vázquez, T. M. y Sánchez, S. O., (2010). *Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación ecológica*. Xalapa, Veracruz. México. Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución, Centro de Investigaciones Tropicales.
- Luna, V. I., Ocegueda, C. S y Alcántara, A. O. (1994). Florística y notas biogeográficas del bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología Serie Botánica*, 65, (1), 31-62.
- O'Donnell, M. and Ignizio, D. (2012). Bioclimatic Predictors for Supporting Ecological Applicatios in the Contermimnous United States. Geological Survey Data Series 691.
- Ortega, E. F y Castillo, C. G. (1996). El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias*, (43), 32-39.
- Pennington, T. D. y Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las especies*. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Peterson, A. T., Papes, M. and Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, (213), 63-72.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, (190), 231-259.
- Ponce-Vargas, A., Luna-Vega, I., Alcántara-Ayala, O. y Ruíz-Jiménez, C.A. (2006). Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla,

- Hidalgo., México. Revista mexicana de biodiversidad, (77), 177-190.
- Richardson, D M. and Whittaker, R. J. (2010). Conservation biogeography- foundations concepts and challenges. *Diversity and Distributions*, 16, (3), 313-320.
- Rojas-Soto, O. R., Sosa, V. and Ornelas, J. F. (2012). Forecasting cloud forest in Eastern and southern México: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodivers Conserv*, (21), 2671-2690. Doi: 10.1007/s10531-012-0327-x
- Romero R. S., Rojas Z. E. C. y Rubio L. L. E., 2015. *Encinos de México (Quercus fagaceae) 100 especies*. Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, CP04510, México, Distrito Federal. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rubio-Licon, L. E., Romero-Rangel, S. y Rojas-Zenteno, E. C. (2011). Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de Quercus (Fagaceae) en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 1, (17), 77-90.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña en México. *Acta Botánica Mexicana*, (35), 25-44.
- Soberón, J. and Peterson A. T. 2004. Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical transactions of The Royal Society of London Biological Sciences*, 359 (1444), 689-698.
- Valdez, T. V., Foroughbakhch, P. R y Alanís, F. G. (2003). *Ciencia UANL*, VI, (3). 360-365.
- Vázquez-G, J. A. (1994). Magnolia (Magnoliaceae) in Mexico and Central America: A Synopsis. *Brittonia*, 46, (1), 1-23.
- Williams-Linera, G. (2002). Tree species richness complementarity, disturbance and fragmentation in a Mexican tropical montane cloud forest. *Biodiversity and Conservation*, (11), 1825-1843.
- Williams-Linera, G., Manson, R. H. y Isunza, V. E. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y bosques*, 1, (8), 73-89.

Woodwar, F. I. (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge. UK. University Press.

CONCLUSIONES

Se realizó el modelado de distribución potencial actual de 19 especies representativas del bosque mesófilo de montaña y posteriormente la integración de los 19 mapas de distribución potencial, lo que permitió clasificar dicho mapa de integración en tres áreas de aptitud potencial (Alta, Media y Baja), las áreas con aptitud Alta se compararon con áreas de BMM incluidas en la cobertura de uso de suelo y vegetación de la Serie V referida por INEGI(2013) y como resultado se obtuvo una propuesta de áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México.

Las ocurrencias recopiladas para las 19 especies, en su mayoría se obtuvieron del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (577 ocurrencias), mientras que sólo 140 se encontraron en la Base Mundial de Información sobre Biodiversidad (GBIF, 2017), en total se recopilaron 717 ocurrencias geográficas, las cuales

fueron suficientes para realizar el modelado de la distribución potencial de las especies representativas del bosque mesófilo de montaña en México. De acuerdo con los resultados de la validación de los modelos mediante el cálculo del área bajo la curva (AUC) se obtuvieron valores mayores a 0.5, lo cual se coloca dentro del rango aceptable con buen desempeño.

Las áreas de distribución potencial predichas mediante la modelación de 19 especies, fueron superiores a la distribución actual planteada por INEGI (2013) para el BMM. Las especies *Clethra alcoceri*, *Quercus eugenifolia*, *Liquidambar styraciflua*, *Cyathea mexicana* y *Persea schiedeana* presentaron mayores superficies potenciales dentro de la distribución actual planteada por INEGI (2013).

Se identificaron áreas prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México mediante la integración espacial de las 19 coberturas de distribución potencial de 19 especies representativas del BMM en México, con lo cual se obtuvieron tres clases de aptitud potencial (alta, media y baja), las áreas con aptitud alta fueron comparadas con la cobertura de BMM (INEGI, 2013), de lo cual se desprendió la propuesta de una superficie de 567405.11 ha prioritarias para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México, se obtuvo también una superficie de 4727756.05 ha potenciales que no se consideran en las áreas con vegetación de BMM incluida en la cobertura de uso de suelo y vegetación de la Serie V referida por INEGI (2013) y que presentan una aptitud potencial alta de acuerdo al estudio, por lo que podrían ser consideradas en planes de reforestación que involucren las especies estudiadas.

LITERATURA CITADA

- 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(1):61-72.
- Austin, M. P. (2002). Spatial prediction of species distribution: An interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157(2-3), 101–118. [http://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00205-3](http://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00205-3)
- Alcántara, A.O. (2001). Análisis florístico de dos áreas con Bosque Mesófilo de Montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa.

Herbario FCME, Departamento de Biología Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F.

- Beniston, M., Diaz, H. F., and Bradley, R. S. (1997). Climatic change at high elevation sites: an overview. *Climatic Change*, 36, 233–251. <http://doi.org/10.3406/rga.2005.2342>
- CALLAWAY, D. J. (1994): Magnolias. London: BT Batsford Ltd.
- Campos-Hernández, N., Cruz-Castillo, JG., Hernández-Montes, A. y Rubio-Hernández, D. Aceite de Frutos de *Persea schiedeana* en sobremaduración y cosechados de árboles en estado silvestre. *Universidad y ciencia, trópico húmedo*, 27(2):179.
- Catalán, H. C., López, M. L. y Terrazas, T. (2003). Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero, México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 209-230.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México pasado, presente y futuro*. México. Comisión Nacional para Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Biología, Universidad nacional Autónoma de México y Agrupación Sierra Madre.
- Cicuzza, D., A. C. Newton and S. Oldfield (2007): The Red List of Magnoliaceae. Fauna and Flora International, Cambridge, UK.
- Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I. y Alcántara-Ayala, O. (2006). La familia Podocarpaceae en el estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77, 115-118.
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–151. <http://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Fortanelli, M.J., García, P. J. y Castillo, L. P. 2014. Estructura y composición de la vegetación del bosque de niebla de Copalillos, San Luis Potosí, México. *Acta botánica Mexicana*, 161-186.
- Feeley, K. J., & Silman, M. R. (2010). Modelling the responses of Andean and Amazonian plant species to climate change: the effects of georeferencing errors and the importance of data filtering. *Journal of Biogeography*, 37(4), 733–740. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02240.x>
- García, D. C. Y., Olivares, L.L.A., Ramos, y P. J. M. 2013. Estructura y composición arbórea de un fragmento de Bosque Mesófilo de Montaña en el Estado de Veracruz. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 3, 25.
- Gómez, D.J.D., Monterroso, R.A.I y Tinoco, R.J.A. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático. *Madera y Bosques*.2007. 13(2). 29-49.

- González-Espinosa, M, Meave, J. A, Loera-Hernández, F. G, Ibarra-Manríquez, G. and Newton, A. C. (2011). The Red List of Mexican Cloud Forest Trees. Cambridge, UK. Fauna & Flora International.
- Grinnell, J. 1917a. Field Tests of Theories Concerning Distributional Control. *The American Naturalist*, 52(602): 115-128.
- Grinnell, J. 1917b. The Niche-Relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 34(4): 427-433.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22: 415-427.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001: la base científica. Cambridge University Press. Cambridge. 94 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2002. Cambio Climático y biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. Cambridge University Press. Cambridge. 94 p.
- IPCC, 2013. Parte de la contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático T. F. Stocker et al., eds., Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jackson, S. T. y J.T. Overpeck. 2000. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology*, 26, 194-220.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., Hortal, J., 2010. The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling. *Ecography*, 33, 103–114.
- Lomelí-Sandoval, N. A., Muñoz-Orozco, A., Zúñiga-González, C. A., Hernandez, A. C., and Montenegro, R. J. V. (2015). Cambio climático a nivel de nicho y caña de azúcar. I Tamazula, Jalisco, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), 185–206. Retrieved from <http://revista.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/90>
- Luna-Vega, I., Alcántara-Ayala, O., Contreras-Medina, R. and Ríos-Muñoz, C. A. (2012). Ecological niche modelling on the effect of climatic change and Conservation of *Ternstroemia lineata* DC. (Ternstroemiaceae) in Mesoamerica. *Botany*, (90), 637-650.
- Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L., and Hannah, L. (2006). Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, 20(2), 538–548. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00364.x>
- Magaña, V., C. Conde, o. Sánchez y C. Gay. 2000. *Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. México; Una visión para el siglo XXI. El cambio climático en México.* Instituto Nacional

- de Ecología, Universidad nacional Autónoma de México, U.S. Country Studies Program, México. 18 p.
- By A.C. Newton, J. Gow, Robertson, G. Williams-Linera, N. Ramírez-marcial, M. González-Espinosa, T.R. Allnutt and R. Ennos. 2008. Genetic variation in two rare endemic mexican tres, *Magnolia sharpii* and *Magnolia schiedeana*. *Silvae genetica*, 57, 6 (2008).
- Niembro, R. A., Vázquez, T. M. y Sánchez, S. O., (2010). *Árboles de Veracruz. 100 especies para la reforestación ecológica*. Gobierno del estado de Veracruz, Secretaría de Educación del Estado de Veracruz, Comisión del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave para la conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución, Centro de Investigaciones Tropicales. Xalapa, Veracruz. México.
- Núñez-Colín, C. A., Escobedo-López, D., Hernández-Martínez, M. A. y Ortega-Rodríguez, C. (2012). Modelos de las zonas adecuadas de adaptación del tejocote (*Crataegus mexicana* DC.) por el efecto del cambio climático. *Agronomía Mesoamericana*, 23, (2), 241-246.
- Ortega, E. F y Castillo, C. G. (1996). El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias*, (43), 32-39.
- Palacios, R. A., Rodríguez, L. R., Hernández, F. M. de la L., Jiménez, M. E. y Tirado, T. D. (2016). Distribución potencial de *Prosopis laevigata* (Humb. Et Bonpl. Ex Wild) M. C. Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7, (34), 35-46.
- Pennington, T.D. y Sarukhán, J. 2005. *Árboles tropicales de Mexico*. Universidad Autónoma de México. México.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., and Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231–259. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pliscoff, P. & Fuentes-Castillo, T., 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de geografía Norte Grande*, 79(48), 61–79.
- Ponce, V.A., Luna, V. I., Alcántara, A. O. y Ruíz, J.C.A. (2006). Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Llotla, Hidalgo., México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 177-190.
- Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V.H., Watson, M. J. E., VanDerWal, J., Fuller, R. A., Pressey, R. L and Possingham, H. (2012). Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature climate change*, 2, 448-452.
- Rodríguez, V. J., Praxedis, S. C. y Jamangapé, G. G. (2009). *Frutos y semillas de árboles tropicales de México*. Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Delegación Tlalpan, México, D.F.

- Rojas-Soto, O. R., Sosa, V. and Ornelas, J. F. (2012). Forecasting cloud forest in Eastern and southern México: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodivers Conserv*, (21), 2671-2690. Doi: 10.1007/s10531-012-0327-x
- Romero R. S., Rojas Z. E. C. y Rubio L. L. E., 2015. *Encinos de México (Quercus fagaceae) 100 especies*. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, CP04510, México, Distrito Federal.
- Rubio, L. L. E., Romero. R. S., y Rojas. Z. E.C. (2011). Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 1, 77-90.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña en México. *Acta Botánica Mexicana*, (35), 25-44.
- Soberón, J., and M. Nakamura. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *PNAS*. 106: 19644-19650.
- Stockwell, D. R. B., and Peterson, a T. (2002). Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological Modelling*, 148(1), 1–13. <http://doi.org/citeulike-article-id:202047>
- Toledo-Aceves, T., Meave, J.A., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N. 2011. Tropical montane cloud forests: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 92:974-981.
- Yañez, E. L., (2004). *Las principales familias de árboles en México*. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Primera edición. Chapingo, Estado de México.