



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

Estructura poblacional y morfo-anatomía de *Magnolia schiedeana*

Schldl. en el estado de Hidalgo

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

Maestra en Ciencias en Biodiversidad y Conservación

PRESENTA:

Ángela Vite Castillo

Director: Dr. Arturo Sánchez González

Co-directora: Dra. Dorismilda Martínez Cabrera

Mineral de la Reforma, Hidalgo, diciembre de 2016



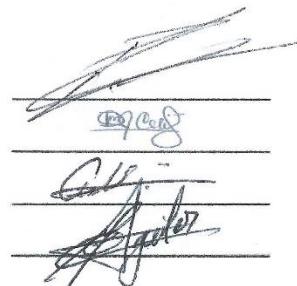
ICBI-D/1166/2016

M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
P R E S E N T E.

Por este conducto le comunico que después de revisar el trabajo titulado **“Estructura poblacional y morfo-anatomía de Magnolia schiedeana Schitdl. en el estado de Hidalgo”**, que presenta la alumna de la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación **Biól. Angela Vite Castillo**, el Comité Revisor de tesis ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Comité Revisor.

PRESIDENTE	Dr. Luis Fernando Rosas Pacheco
SECRETARIO	Dra. Dorismilda Martínez Cabrera
VOCAL	Dr. Arturo Sánchez González
SUPLENTE	Dr. Pablo Octavio Aguilar



Sin otro particular, reitero a Usted la seguridad de mi atenta consideración

ATENTAMENTE
 “Amor, Orden y Progreso”
 Mineral de la Reforma, Hgo., Noviembre 8 de 2016.

DR. ORLANDO ÁVILA POZOS
 DIRECTOR DEL ICBI



Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
 Tel. +52 771 7172000 exts 2231, Fax 2109
 direccion_icbi@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento y respeto al Dr. Arturo Sánchez González, por darme la oportunidad y sobre todo la confianza de trabajar bajo su tutela durante el transcurso de la presente investigación, por todas las enseñanzas académicas y personales que me ha transmitido a lo largo de ésta nueva etapa de mi vida. Gracias también por ese grado de exigencia que siempre nos lleva a dar más de lo que creemos que podemos lograr y por ese grado de compromiso que siempre ha demostrado para con sus estudiantes.

A la Dra. Dorismilda Martínez Cabrera, por quién siento una gran admiración por su alto grado de preparación. Gracias por todo el apoyo incondicional y los esfuerzos realizados a lo largo de mi estancia en el posgrado sin importar el momento, la distancia, ni las dificultades personales por las que estuviera atravesando.

A los miembros de mi Comité Tutorial: Dr. Fernando Rosas Pacheco y Dr. Pablo Octavio Aguilar por su comprensión, amabilidad, experiencia y sobre todo sus sabios comentarios siempre constructivos que permitieron de alguna manera estructurar de la mejor manera posible mi trabajo.

A la Dra. Ana Laura López Escamilla por todo el apoyo brindado en el manejo de técnicas de laboratorio y sobre todo por su gran amistad y calidad humana que siempre la caracteriza.

Debo infinitas gracias a la Dra. Teresa M. Terrazas Salgado y la Dra. Alicia Rojas Leal (Universidad Nacional Autónoma de México), quienes fueron parte fundamental en la sección anatómica de mi trabajo, sin quienes ésta parte no hubiera sido posible.

Al Dr. Numa Pompilio Pavón Hernández, al Dr. Gerardo Sánchez Rojas, a la Dra. Iriana L. Zuria Jordán y al Dr. Hublester Domínguez Vega a quienes estimo por sus enseñanzas, calidad académica, disposición y asesoría incondicional brindada.

Al M. en C. Jesús M. Castillo Cerón, por estar siempre al pendiente y la ayuda proporcionada durante mis estudios de posgrado.

A la M. en C. Magdalena Meza Sánchez por su calidez y el apoyo otorgado por medio de la información climatológica proporcionada.

A todos los investigadores y personal administrativo quienes de alguna manera contribuyeron en mi formación profesional, por todo el apoyo y asesoría proporcionada desde el inicio hasta el final de mi trayectoria en el posgrado.

A todos los curadores de los herbarios consultados, quienes me facilitaron el acceso a las colecciones botánicas, principalmente al Dr. David Sebastián Gernandt y M. en C. Alberto Javier Reyes García.

Me gustaría también dar las gracias a mis amigos y compañeros de posgrado: Marisol, Adriana, Yareli, Ro Linx, Oscar, Paulina, Sara, Eyenith, Karina, Rafael, Araceli, Pablo y Gustavo por todo el apoyo y los gratos momentos brindados.

A Fernando, Verónica, Guadalupe, Irene, Luis Alberto y Gerardo, quienes sin estar inmersos en el área de las ciencias biológicas estuvieron siempre dispuestos

a hacerme compañía en campo y me ayudaron al monitoreo de los individuos estudiados.

A la señora Esperanza y familiares por su gran amabilidad y estar al pendiente durante las salidas de campo en la localidad de Medio Monte.

En particular, me gustaría agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico parcial obtenido a través del proyecto, Ciencia Básica CB-2011/169141: "Estructura, diversidad de especies vegetales y distribución actual de los bosques de haya (*Fagus grandifolia* subsp. *mexicana*) en el estado de Hidalgo, México", así como también por otorgarme la beca para la realización de mis estudios de posgrado.

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo quien a través de presupuesto anual de investigación él apoyó económicamente al proyecto "Nivel de conservación de especies consideradas en riesgo de reducción poblacional en México" (clave ICBI-PAI-29).

DEDICATORIAS

A mis queridos y admirables padres y hermanos, por su ejemplo de lucha constante, por ser una fuente de motivación en mi vida y el cariño demostrado.

A mi suegrita, cuñados y sobrinos por los consejos recibidos y el apoyo incondicional siempre presente en todos los sentidos.

A Gildardo Medina Abrego, por ser el motivo de mi formación profesional y ser un ejemplo a seguir en el ámbito personal.

Principalmente a mí eternamente amado esposo Fernando Galván Medina, sin quien es imposible imaginar éste viaje, gracias por el soporte, la paciencia, comprensión y sobre todo el amor sin límites que día con día me has regalado.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	4
DEDICATORIAS.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. ANTECEDENTES	15
2.1 Magnoliaceae.....	15
2.2 Estructura poblacional	16
2.3 Estudios anatómicos y morfológicos	18
2.4 Distribución actual y potencial	19
3. OBJETIVOS	22
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	23
4.1 . Área de estudio.....	23
4.2 Estructura poblacional	27
4.2.1 Trabajo de campo.....	27
4.2.2 Análisis estadístico.....	27
4.3 Análisis de variación morfo-anatómica	29
4.3.1 Trabajo de campo.....	29
4.3.2 Trabajo de laboratorio.....	30
4.3.3 Análisis estadístico.....	32
4.4 Distribución actual y potencial	34
4.4.1 Análisis estadístico.....	35
5. RESULTADOS.....	37
5.1 Estructura poblacional	37
5.2 Análisis de variación morfológica y anatómica	42
5.2.1 Descripción morfo-anatómica de <i>M. schiedeana</i>	42
5.2.2 Estadísticos descriptivos	44
5.2.3 Análisis discriminante	49
5.2.4 Análisis de varianza	60
5.2.5 Árboles de regresión	66
5.2.6 Relación entre las matrices de distancia de anatomía de la madera, morfolología foliar y floral y de factores ambientales.....	72

5.3	Distribución actual y potencial de <i>Magnolia schiedeana</i>	74
5.3.1	Actual.....	74
5.3.2	Potencial	74
6.	DISCUSIÓN.....	77
7.	CONCLUSIONES.....	92
8.	LITERATURA CITADA	94
9.	ANEXOS	120
	Anexo 1. Flor de <i>Magnolia schiedeana</i> depredada por un coleóptero	120
	Anexo 2. Matriz de distancias Euclidianas (ambientales y geográficas) y de Mahalanobis (morfológicas y anatómicas)	121
	Anexo 3. Variables bioclimáticas y topográficas utilizadas para realizar el modelo de distribución potencial de <i>M. schiedeana</i>	122

RESUMEN

Las poblaciones de *Magnolia schiedeana* Schl. se distribuyen en 14 entidades de México, el impacto de las actividades humanas sobre su hábitat (el bosque mesófilo de montaña), son las principales causas de su declinación. La especie se considera en la categoría de “amenazada” dentro de la legislación mexicana. A pesar de ello, existen pocos estudios a nivel poblacional con *M. schiedeana*, por lo que el presente estudio tuvo como objetivos (1) conocer la estructura poblacional, (2) estimar la variación morfo-anatómica y (3) determinar la distribución geográfica real y potencial de las poblaciones de *M. schiedeana* en el BMM del estado de Hidalgo, con la finalidad de aportar información básica que permita definir aspectos taxonómicos, categorías de protección y elaboración de propuestas de manejo y conservación de la especie. El trabajo se realizó en cuatro localidades: Coatempa (C), La Mojonera “LM”, Medio Monte “MM” y Tlanchinol “TL”) dentro del BMM de estado de Hidalgo. Los resultados del análisis poblacional indicaron que la estructura de tamaños y diámetros fue similar entre CT, LM y MM, con un porcentaje alto de individuos de tamaño pequeño (>71.26: poblaciones dinámicas) que se desarrollaban en condiciones ambientales favorables (baja perturbación). En cambio, la distribución de alturas y diámetros en TL fue heterogénea, con un porcentaje alto de individuos altos (45.83%; población regresiva), con baja regeneración poblacional (alto grado de disturbio). El análisis de la variación morfo-anatómica se realizó con 480 hojas (12 individuos), 39 flores (39 individuos) y 15 trozas de madera (15 individuos). Los valores del ancho y largo de la lámina (hoja), largo del pedúnculo, largo de los pétalos internos, largo de los estambres y número de carpelos (flor), difirieron marcadamente de los conocidos para la especie. Las características de la anatomía

de la madera coinciden con los de estudios previos para la especie. En el análisis morfo-anatómico se evaluaron siete caracteres foliares, 14 florales y diez de la madera. Además, se obtuvieron datos de diez características ambientales por localidad. En la morfología foliar, los resultados del análisis discriminante (AD) indicaron que la variable AML fue la más útil para diferenciar entre sí a las localidades. Los árboles de regresión indicaron que la altitud y la temperatura media explicaron adecuadamente la variación en el AML, y la altitud y la pendiente en el DVM. En el AD de la flor las variables DPD y LEF permitieron diferenciar en forma significativa entre poblaciones. Los árboles de regresión señalaron que la latitud y la temperatura media explicaron la variación en el DPD. En el AD de la madera las variables que permitieron discriminar de la mejor manera entre las localidades analizadas fueron DDRD y GPFB. Los árboles de regresión mostraron que la altitud y la pendiente fueron las variables que mejor explicaron la variación en la DDRD, y la temperatura media y la latitud en el GPFB. Los resultados del análisis de varianza, tanto de las características morfológicas de la hoja y de la flor, como de la anatomía de la madera, fueron consistentes con los obtenidos en los AD. En la modelación de la distribución geográfica real y potencial se incluyeron 31 registros de presencia, 19 variables bioclimáticas y 4 topográficas. Los resultados indicaron que *M. schiedeana* se distribuye en 13 localidades de seis municipios del estado de Hidalgo; 12 de las 23 variables utilizadas en el modelo de distribución potencial contribuyeron de manera significativa en el ajuste del modelo final. La precipitación del trimestre más frío fue la variable con mayor porcentaje de contribución en la explicación de la distribución potencial de la especie.

1. INTRODUCCIÓN

El bosque mesófilo de montaña (BMM) de México es considerado un tipo de vegetación complejo respecto a su origen, composición y fisonomía, con características geográficas y ecológicas muy variadas (Luna *et al.*, 1994; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014). Entre los elementos relictuales y endémicos del estrato arbóreo medio de éste tipo de vegetación se encuentran las especies de Magnoliaceae, varias de las cuales se consideran en alguna categoría de riesgo en la Norma Oficial Mexicana: NOM-059-2010 (SEMARNAT, 2010).

La familia Magnoliaceae es una de las más primitivas dentro de las plantas con flor, se encontraba en el planeta desde hace 90-100 millones de años, en el periodo Cretácico (López-González, 2007). A pesar de constituir un grupo de plantas de origen muy antiguo, presenta grandes dificultades taxonómicas, por la alta variabilidad genética de las especies, e incluso a nivel poblacional (Kang y Ejder, 2011), por lo que ha llamado la atención desde que fue descrita por Jussieu en 1789. Se divide en dos subfamilias (Liriodendroidae y Magnolioideae) y consta de 13 géneros y 330 especies, de las cuáles casi la mitad se encuentran concentradas en América (Vázquez-García *et al.*, 2015).

En México, existen dos géneros silvestres: *Magnolia* L. y *Talauma* J., y uno introducido: *Michelia* L. (Hernández-Cerda, 1980). En el caso de *Magnolia*, se encuentra representado por árboles deciduos con características primitivas que le confieren interés evolutivo, taxonómico y ecológico (Miller, 1975; Gutiérrez, 1993). En el país se conocen 20 especies, dos de las cuáles se distribuyen en el estado de Hidalgo: *Magnolia schiedeana* y *M. rzedowskiana* (Vázquez-García *et al.*, 2015).

Magnolia schiedeana se distribuye en la porción central de la vertiente del Golfo de México (Jiménez-Ramírez *et al.*, 2007), está considerada en la categoría de “amenazada” en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-2010 (SEMARNAT, 2010) y “en peligro” de acuerdo a la Lista Roja de Magnoliaceae de la Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, Ciczuzza *et al.*, 2007), debido principalmente a la destrucción de su hábitat y a la baja tasa de germinación de sus semillas (Puig y Bracho, 1987).

En un trabajo reciente Vásquez-Morales *et al.* (2014), analizaron el efecto que tendrá el cambio climático (para los años 2040 y 2080), sobre la distribución potencial de *M. schiedeana* en los fragmentos del bosque mesófilo de montaña de México. Los autores concluyeron que se requieren realizar esfuerzos de conservación en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) hacia las que podrían desplazarse los individuos de la especie. Sin embargo, en el trabajo referido utilizaron sólo los registros de bases de datos de algunos herbarios nacionales (XALU, XAL y MEXU) y del extranjero (Missouri Botanical Garden y REMIB-CONABIO), sin corroborar en campo la presencia de la especie. Aunado a lo anterior, se ha encontrado que varias de las poblaciones identificadas como *M. schiedeana*, pertenecen en realidad de otras especies (Jiménez-Ramírez *et al.*, 2007).

La especie es considerada como la unidad básica de análisis en la mayoría de los estudios en Biología de la Conservación a nivel mundial. Sin embargo, no es una entidad uniforme, pues generalmente está compuesta por poblaciones localmente adaptadas, con diferente plasticidad (Valladares *et al.*, 2014). De acuerdo con los datos disponibles, en diferentes localidades del estado de Hidalgo

con bosque mesófilo de montaña, se distribuyen algunas poblaciones de *M. schiedeana*, principalmente en los municipios de Eloxochitlán, San Bartolo Tutotepec, Tenango de Doria, Tianguistengo, Tlanchinol y Zacualtipán de Ángeles (Alcántara y Luna, 1997, 2001; Luna *et al.*, 1994; Ortiz-Quijano *et al.*, 2016; Villavicencio-Nieto y Pérez-Escandón, 2006). Sin embargo, se carece de información cuantitativa sobre la estructura, la fenología y la variación en la morfología y anatomía de las poblaciones de esta especie. En relación a este último tema, existen algunos estudios descriptivos de las características de la madera y la flor de la citada especie (Aguilar-Alcántara *et al.*, 2014; López y Ortega, 1989; Dieringer y Espinosa, 1994).

En el presente estudio se consideró relevante evaluar el estado actual de las poblaciones de *M. schiedeana* (estructura poblacional), estimar su distribución real y potencial (mediante modelos de nicho ecológico) y aportar datos cualitativos y cuantitativos sobre aspectos biológicos fundamentales (plasticidad en la morfología floral y foliar y anatomía de la madera), con el fin de definir de forma más precisa, el grado de riesgo de esta especie en el estado de Hidalgo, en la actualidad.

En el presente estudio se plantearon como objetivos principales: (1) realizar un análisis de la estructura poblacional de *Magnolia schiedeana*, (2) estimar la variación morfo-anatómica entre individuos y entre poblaciones con respecto a las condiciones ambientales, y (3) determinar la distribución geográfica real y potencial de la especie dentro del BMM del estado de Hidalgo, para aportar información básica que en un futuro cercano sirva para definir aspectos taxonómicos, categorías de protección y la elaboración de propuestas de programas de manejo y conservación de la especie.

2. ANTECEDENTES

2.1 Magnoliaceae

La familia Magnoliaceae es una de las más primitivas de entre todas las plantas con flor (López-González, 2007), es quizás la reliquia más distintiva del antiguo bosque ártico del periodo Terciario, motivo por el cual fue estudiada por Jussieu desde 1789. Aparentemente la glaciación del Pleistoceno provocó la desaparición de las especies que alguna vez se extendieron en las zonas templadas del planeta, excepto las del este de Estados Unidos de América y las del arco que se extiende desde Sikkim y Nepal hasta las islas del Japón (Miller, 1975). De acuerdo con Niembro-Rocas y Velázquez-Rosas (2010), los elementos que conforman esta familia evolucionaron antes de que aparecieran las abejas, por lo que las flores desarrollaron estructuras para ser polinizadas por escarabajos.

Las magnolias son valoradas por las características de su madera, como productos medicinales, alimenticios y por ser ornamentales. También son de importancia en los estudios de evolución vegetal, análisis biogeográfico y han sido utilizadas como indicadores del grado de deterioro de los bosques en Asia y Norteamérica, por su susceptibilidad a los cambios en las condiciones ambientales; lo que es particularmente útil en la actualidad, por el impacto sin precedentes de las actividades humanas en los ecosistemas, que incluyen la pérdida del hábitat y el calentamiento global (Cicuzza *et al.*, 2007).

El género tipo de Magnoliaceae es *Magnolia* L., taxón vivo muy antiguo descrito por primera vez en 1680 por Carlos Linneo en honor a Pierre Magnol, un reconocido botánico de Francia. Las especies del género presentan características

primitivas: la polinización de las flores es normalmente realizada por escarabajos y presentan tépalos, una forma intermedia entre pétalos y sépalos (Kundu *et al.*, 1998; Niembro-Rocas y Velázquez-Rosas, 2010). La especiación en *Magnolia* ha sido alopátrica, lo que significa que las nuevas especies son el resultado de presiones de selección a causa del aislamiento geográfico (Sánchez-Velásquez *et al.*, 2016).

Magnolia schiedeana es una especie arbórea perenne, endémica de México; se distribuye principalmente en bosque mesófilo de montaña y en bosque caducifolio, en altitudes que van desde 1,200 a 2,100 m. De acuerdo con algunos autores, en el país existen alrededor de 14 poblaciones dispersas (Cicuzza *et al.*, 2007; Dieringer y Espinosa, 1994; Newton *et al.*, 2008; Ramírez-Reyes *et al.*, 2015; Vázquez-García, 1994).

La especie fue descrita por el botánico alemán Diederich Franz Leonhard von Schlechtendal en 1864 y el nombre se le asignó en honor a su descubridor (Niembro-Rocas y Velázquez-Rosas, 2010). La información sobre aspectos ecológicos de *M. schiedeana* es escasa, pero al parecer tiene un sistema de polinización más complejo que el de otras especies del género presentes en zonas templadas (IUCN, 2014).

2.2 Estructura poblacional

Uno de los elementos indispensables para la planeación de la conservación de especies silvestres amenazadas es el estudio poblacional, puesto que cada taxón es en esencia una unidad a conservar (Meffe y Carrol, 1997).

La caracterización de distintos atributos demográficos como la estructura y la densidad poblacional, ofrecen la oportunidad de evaluar y predecir la expansión o extinción de una especie en diferentes periodos de tiempo y bajo cualquier factor cambiante (antropogénico, biológico, climático, fisiográfico o topográfico), para establecer estrategias de manejo y conservación a corto, mediano y/o largo plazo (Agurajuja *et al.*, 2008; Godínez-Álvarez *et al.*, 2008; Guo *et al.*, 2005; Mehlreter, 2010; Schmitt y Windisch, 2006). La información acerca de estructura y tamaño poblacional permite, además, hacer inferencias sobre el pasado y futuro de una especie en particular (Martínez-Ramos y Álvarez-Buylla, 1995; Sánchez-Velásquez *et al.*, 2002).

Existen pocos estudios a nivel poblacional con especies de *Magnolia* (Weaver, 1997; Doyle, 1989; Gutiérrez, 1993; Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 2006; He *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2009), destacan los realizados con *M. dealbata* (considerada en la actualidad como *M. rzedowskiana* por Vázquez-García *et al.*, 2015) en Veracruz, donde evalúan la densidad de individuos, producción de semillas, producción de frutos, reclutamiento, mortalidad y crecimiento (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 2006, 2010).

En el caso particular de *M. schiedeana*, el conocimiento del estado actual de sus poblaciones dentro del BMM de México es parcial. En un trabajo reciente, Vázquez-Morales *et al.* (2015), realizaron un análisis a nivel local de la demografía de dos poblaciones contrastantes en términos de disturbio, en el que evaluaron la tasa de crecimiento poblacional por medio de matrices de sensibilidad y elasticidad. Existen otros estudios sobre ecología de la semilla, que incluyen tratamientos pre-

germinativos, la ecología reproductiva (fecundidad) y comparan la densidad de individuos de tres diferentes sitios en el estado de Veracruz (Vásquez-Morales y Sánchez-Velásquez, 2011; Dieringer y Espinosa, 1994).

2.3 Estudios anatómicos y morfológicos

Los gradientes ambientales o climáticos encontrados en las regiones montañosas del planeta, proporcionan una forma efectiva para analizar los efectos de los factores bióticos y abióticos, en combinación con patrones y procesos ecológicos, sobre las especies vegetales (Raich *et al.*, 1997; King *et al.*, 2013). La distribución de las especies de plantas a lo largo de gradientes ambientales como la altitud, se asocia directamente a cambios en las condiciones locales, que a su vez, provocan modificaciones en la anatomía y morfología de las poblaciones (Cavieres y Piper, 2004).

Los estudios morfológicos de las plantas intentan, por medio de técnicas rigurosas y observaciones meticulosas, dar a conocer aspectos macroscópicos, explorar y comparar características microscópicas de forma, estructura y reproducción, los cuáles en conjunto, constituyen la base para la interpretación de similitudes y diferencias entre individuos y poblaciones (Pérez-García y Mendoza, 2002). Los estudios anatómicos son también importantes, los datos sobre la anatomía de la madera en particular, tienen diversas aplicaciones, entre las que se incluyen la sistemática y evolución de las plantas (Herendeen y Miller, 2000).

Se han realizado pocos estudios anatómicos en especies de Magnoliaceae (Chen y Nootebum, 1993; Hardin, 1954; Nakagawa *et al.*, 2012; Xu y Rudall, 2006; Yoshizawa *et al.*, 2000); en el caso de *M. schiedeana* sólo se han publicado datos generales sobre sus características anatómicas (Aguilar-Alcántara, *et al.*, 2014; López y Ortega, 1989; Metcalfe y Chalk, 1950).

Con respecto a los estudios morfológicos, la mayoría se ha centrado en la morfología floral. En una investigación reciente sobre la variación fenotípica foliar y floral de *Magnolia sprengeri* Pamp. en dos poblaciones nativas de la parte norte y sur de China, los autores encontraron que la variación a nivel foliar fue más estable que la floral, y que fue mayor dentro que entre poblaciones (Yang *et al.*, 2015). En *M. schiedeana* en particular, se encontró en la literatura sólo un trabajo realizado por Dieringer y Espinosa (1994), en el que analizaron la variación en algunos caracteres reproductivos de la flor, tales como: esperanza de vida, duración de las fases sexuales, fenología de la floración, duración de la floración, número de flores producidas por árbol y número de frutos en la floración, en tres localidades del estado de Veracruz.

2.4 Distribución actual y potencial

El análisis de los patrones de distribución de las especies de plantas constituye la base para el establecimiento de estrategias de manejo y conservación, dado que no es posible proteger una especie sin saber dónde está presente. Los modelos de distribución potencial tienen como objetivo principal predecir las áreas

que mejor describan las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de una especie (Anderson *et al.*, 2002; Guisan y Thuiller, 2005).

El modelado de nicho ecológico es una técnica que se usa para identificar áreas de distribución potencial con base en variables ambientales, información de presencia de las especies y algoritmos que estiman el nicho climático usando información ambiental (Guisan y Zimmermann, 2000; Graham *et al.*, 2004).

Uno de los algoritmos más utilizados es el de MaxEnt, en el que por medio de puntos de pseudoausencias se divide la base de datos de registro de presencia en dos grupos: el primero es empleado para la construcción del modelo mediante los datos de entrenamiento, mientras que el segundo es utilizado para evaluar el modelo al utilizar los datos de prueba (Phillips *et al.*, 2006).

El área de distribución actual de *M. schiedeana* no está bien definida, algunos de los inventarios florísticos en donde se menciona su presencia en los estados de Hidalgo (Luna *et al.*, 1994; Alcántara y Luna, 1997, 2001), Oaxaca (Acosta, 2002), San Luis Potosí (Fortanelli-Martínez *et al.*, 2014) y Veracruz (Vargas, 1982), han sido cuestionados recientemente, pues en algunos casos los individuos o poblaciones de referencia se han redefinido como especies nuevas, diferentes de *M. schiedeana* (Jiménez-Ramírez *et al.*, 2007). En cuanto a la distribución de la especie, existe un estudio en el que se estimó la distribución actual y su posible distribución en el futuro en México a través de modelos de nicho ecológico (Vásquez-Morales *et al.*, 2014). Como parte de las conclusiones los autores sugieren que es importante realizar esfuerzos de conservación en las ANP's hacia las que podrían desplazarse las poblaciones de la especie.

En los párrafos previos se resaltó la necesidad de generar información sobre diversos aspectos biológicos de *M. schiedeana*, especie considerada en la categoría de protección especial dentro de la NOM-069-2010 (SEMARNAT, 2010), con un patrón de distribución restringido al BMM de la Sierra Madre Oriental, por lo que en el presente estudio se consideró relevante contribuir con los siguientes objetivos.

3. OBJETIVOS

General

- Analizar la variación morfológica (foliar y floral), anatómica (madera) y la estructura y la distribución (actual y potencial) de las poblaciones de *Magnolia schiedeana* en el BMM del estado de Hidalgo.

Específicos

- Conocer la estructura poblacional de *M. schiedeana* en algunas localidades con BMM en el estado de Hidalgo.
- Describir y analizar la variación en la anatomía de la madera y la variación en la morfología foliar y floral, con respecto a las condiciones ambientales.
- Estimar la distribución real y potencial de *M. schiedeana* en el BMM del estado de Hidalgo.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 . Área de estudio

El estudio comprende el BMM ubicado al oriente del estado de Hidalgo, México, entre los paralelos 20°19' de latitud Norte y 98°36' de longitud Oeste; el bosque se encuentra inmerso dentro de la región de la Sierra Madre Oriental, perteneciente a la Región Neotropical (Morrone, 2001), ocupa el 2.84% del territorio nacional y se localiza al noreste de México. En el estado de Hidalgo, esta provincia alcanza un intervalo altitudinal que va de los 500 a los 2,000 m (Luna *et al.*, 2000).

La temperatura media anual en el BMM del estado es de 15°C, el bosque está compuesto por elementos tanto de flora templada (componente arbóreo) como tropical (herbáceas y arbustos). El clima dominante es Cf (templado húmedo con lluvias todo el año), pero también son comunes climas de tipo Af (cálido húmedo sin temporada seca), Am (caliente húmedo con corta temporada seca), Aw (caliente húmedo con larga temporada seca) y Cw (templado húmedo con temporada lluviosa en época caliente del año), en sitios con elevada humedad (Rzedowski, 1978; Pavón y Meza-Sánchez, 2009).

Las localidades analizadas fueron: Coatempa (municipio de Tianguistengo), La Mojonera (Zacualtipán de Ángeles), Medio Monte (San Bartolo Tutotepec) y Tlanchinol (Tlanchinol; Figura 1). El intervalo altitudinal en el que se desarrollaban las poblaciones estudiadas fluctuó entre 1,448 y 1,884 m (Cuadro 1).

Cuadro 1. Información geográfica y climatológica de las localidades estudiadas. Latitud (LA), longitud (LO), altitud (ALTD), pendiente (PE), temperatura media (TM) y precipitación pluvial (PP)

LOCALIDAD	LA	LO	ALTD (m)	PE (°)	TM (°C)	PP
Coatempa	20°42'7.26"	-98°38'38.38"	1734	40	22.67	1342
La Mojonera	20°38'9.89"	-98°37'20.67"	1883	55	14.16	563
Medio Monte	20°24'46.47"	-98°14'43.77"	1794	28.75	24.27	1329
Tlanchinol	20°59'4.35"	-98°42'49.44"	1448	24.5	17.37	2265

La selección de las localidades de muestreo se definió mediante: (1) la búsqueda de las poblaciones de *M. schiedeana* en campo, en distintos municipios con BMM del estado de Hidalgo y, (2) con base en la revisión de la información de las etiquetas de los ejemplares de la especie depositados en los herbarios MEXU (Universidad Nacional Autónoma de México), FCME (Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México), ENCB (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional), UAM-I (Universidad Autónoma Metropolitana), CHAP (Universidad Autónoma de Chapingo) y CHAPA (Colegio de Posgraduados, Montecillo, Estado de México).

Se eligieron sólo las cuatro localidades (en diferentes municipios) con mayor densidad poblacional de *M. schiedeana* para realizar el estudio, dos ubicadas en los extremos y dos en la parte media de la distribución actual conocida para la especie en la entidad. En la selección de las poblaciones en las localidades, se consideró la

definición propuesta por Hanski y Simberloff (1997), según la cual una población, subpoblación, o también denominada población local, es un conjunto de individuos que viven en el mismo hábitat, comparten un entorno, y por lo tanto interactúan entre sí (Figura 1).

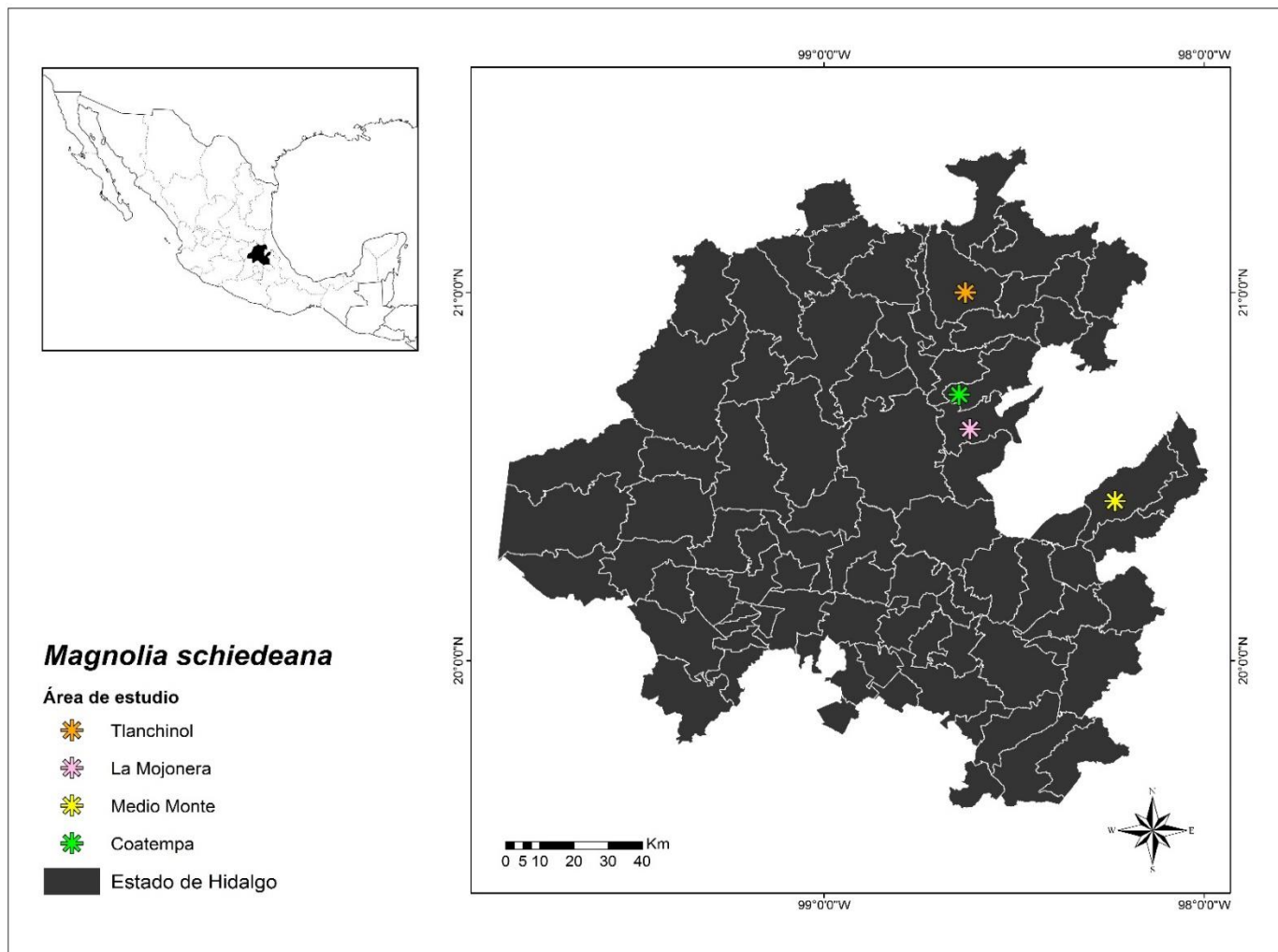


Figura 1. Área de estudio: localidades con poblaciones de *M. schiedeana* del BMM del estado de Hidalgo

4.2 Estructura poblacional

4.2.1 Trabajo de campo

La estructura poblacional de *M. schiedeana* en cada localidad se estimó estableciendo cuatro parcelas de muestreo de 400 m² cada una, colocadas al azar y separadas entre sí al menos por una distancia de 40 m (SEMARNAT, 2012; Pérez-Paredes *et al.*, 2014). Es importante mencionar que en un estudio previo con *Magnolia dealbata* en Veracruz se utilizó un área de muestreo más pequeña (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 2006).

Dentro de cada parcela se estimó la altura (ALT), el diámetro normal del tallo (DNT, a una altura de 120 cm) y la densidad de individuos (DI) de *M. schiedeana*. La altura de los árboles fue estimada ocularmente con la mayor precisión posible (Pardé y Bouchon, 1994; SAyDS, 2005).

4.2.2 Análisis estadístico

Para el análisis de la estructura poblacional, se definieron intervalos de clase para la altura y diámetro por medio de la regla de Sturges: $k=1+3.322 (\log_{10} n)$, donde k = número de intervalos y n = número de individuos (Schmidt *et al.*, 2009). En el análisis comparativo de la estructura poblacional entre las cuatro localidades muestreadas (LM, MM, CT y TL), se eligió como referencia del número de intervalos de clase de altura y de diámetro a la localidad con mayor número de individuos (Pérez-Paredes *et al.*, 2014). La amplitud de los intervalos de clase (AI) se estimó con la formula $AI=R/k$, donde R =rango (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2003).

Para estimar la relación entre la altura y el diámetro de los individuos dentro y entre localidades, se utilizaron técnicas de análisis de regresión lineal (con

transformación logarítmica) y no lineal (modelo potencial). El modelo que presentó el coeficiente de determinación (r^2) más elevado, se consideró como el más adecuado (Urban *et al.*, 2010). Los análisis se realizaron con el programa de cálculo *Statistical Package for Social Sciences software* versión 20.0.0 (IBM SPSS Inc, 1989).

Con base en las variables ALT, DAP y considerando los criterios establecidos por Aguraiuja *et al.* (2008), las poblaciones se definieron como: dinámicas, normales o regresivas. En el presente estudio se estableció arbitraria y cualitativamente que una población dinámica es la que contiene un elevado número de individuos de talla pequeña (más del 65% de los organismos con altura menor a 8.08 m) y un número menor de individuos de tamaño intermedio (altura entre 8.09 y 15.08 m) y alto (más de 15.09 m); una población normal o estándar se caracterizó por presentar individuos de todas las clases de tamaños, predominando los de altura intermedia (35-65% de los individuos); y una población regresiva, por contener un elevado número de individuos altos (más del 65%), y un escaso número de estatura baja y/o intermedia.

4.3 Análisis de variación morfo-anatómica

4.3.1 Trabajo de campo

Para el análisis morfológico, en cada localidad en la que se analizó la estructura poblacional, se seleccionaron al azar 12 individuos de *M. schiedeana*, para extraer diez hojas maduras de la parte media de las ramas y una flor al inicio de la antesis (sin daño físico aparente), de cada uno de ellos. En total se obtuvieron 480 hojas (120 por localidad); para el caso de las flores se seleccionaron 39 individuos, para remover una flor por cada uno, se recolectaron 24 en dos localidades (La Mojonera y Medio Monte) y 15 en los dos restantes (siete en Tlanchinol y ocho en Coatempa), debido a que la cantidad de individuos encontrados en etapa de floración fue insuficiente para obtener la cantidad planeada y a que la mayoría de las flores fueron devoradas por escarabajos antes de la antesis (Anexo 1).

Después de la recolección, las flores se colocaron en agua corriente para mantenerlas hidratadas, para el posterior análisis morfométrico. Al finalizar las mediciones de las características morfológicas, las plantas fueron herborizadas.

En el análisis anatómico, se eligieron al azar 15 individuos en total de todas las localidades, con el fin de extraer una troza de madera por planta, de un tamaño aproximado de 5 x 8 cm, la troza fue obtenida a 1.30 m de altura del tronco, empleando un machete y un martillo. Para la localidad de Coatempa (municipio de Tianguistengo) sólo se removieron tres trozas y en el resto de las localidades cuatro. Adicionalmente, se recolectaron tres ejemplares de cada población (flor y hojas), para herborizarlos y depositarlos en el herbario nacional MEXU, de la Universidad

Nacional Autónoma de México y en el herbario HGOM, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Las secciones de madera removidas del tallo de los árboles se fijaron en GAA= glicerina, etanol 96°, agua en una proporción 1:1:1, por 24 horas.

Con respecto a las características ambientales, en cada parcela se determinó la altitud (ALTD), pendiente (PE), latitud (LA) y longitud (LO). Además, se obtuvieron datos promedio de precipitación (PP), evaporación (EVP), temperatura máxima (TPX), mínima (TPN), media (TPM) y heladas (HDS) por localidad de estudio, a partir de los registros de diferentes estaciones meteorológicas cercanas a las localidades (Sistema de Información Climatológica, Sistema Meteorológico Nacional). El grado de perturbación se midió indirectamente, a través del cálculo del porcentaje de entrada de luz, con la aplicación para móviles CanopyApp versión 0.0.2 (University of New Hampshire, 2015), como una medida de la cobertura del dosel (CBD).

4.3.2 Trabajo de laboratorio

En el análisis de la morfología foliar, a las 480 muestras de hojas se les determinaron las siguientes características: largo total de la lámina (LTL), largo de la lámina (LL), ancho máximo de la lámina (AML), longitud del peciolo (LP), diámetro del peciolo (DP), diámetro de la vena media (DVM) y número de venas secundarias (NVS), con base en la técnica establecida por Xin-Hua y Nian-He (2007) para otra especie de *Magnolia* de Asia.

Con respecto a la morfología floral, se midieron los siguientes caracteres en las 39 flores recolectadas (con base en la descripción de Jiménez-Ramírez *et al.*, 2007): ancho de los carpelos (ACR), ancho de los sépalos (ASP), ancho de los

pétalos externos (APEX), ancho de los pétalos internos (APIN), diámetro del pedúnculo (DPD), largo de los carpelos (LCR), largo del pedúnculo (LPD), largo de los sépalos (LSP), largo de los pétalos externos (LPEX), largo de los pétalos internos (LPIN), longitud del eje floral (LEF), número de estambres (NEST), largo de los estambres (LEST) y número de carpelos (NCR). Para la estimación del ACR y LCR se consideraron cinco mediciones por carácter y para el LEST, 30 por flor.

Todas las mediciones fueron digitalizadas y referenciadas (con escala métrica) inmediatamente después de la extracción de las muestras, para evitar la distorsión de las medidas reales, debido a la deshidratación de los ejemplares vivos, utilizando el programa TPSdig (Rohlf, 2004).

Para el análisis anatómico de la madera se realizaron cortes transversales, radiales y tangenciales de 20 a 35 μm de espesor, con un micrótopo de deslizamiento. Los cortes se tiñeron en safranina "O" y verde rápido y se montaron en resina sintética (Ruzin, 1999). Los elementos de la madera valorados fueron: densidad de vasos (DDVS), densidad de radios (DDRD), longitud de vasos (LGVS), diámetro de vasos (DMVS), longitud de radios (LGRD), ancho de radios (ARAD), longitud de fibras (LGFB), diámetro de fibras (DMFB), grosor de la pared de las fibras (GPFB) y diámetro del lumen de las fibras (DLFB).

En la cuantificación de la longitud de las fibras y de los elementos de vaso, se preparó material disociado colocando astillas de madera adyacente al cambium vascular en frascos con solución Jeffrey (Berlyn y Miksche, 1976). Los frascos se introdujeron en un horno a 50 °C por 24 o 48 horas. La descripción de la madera y la determinación de las características cuantitativas se realizaron con base en las

recomendaciones de la asociación internacional de anatomistas de la madera (IAWA Committee, 1989). Para obtener el largo, ancho y diámetro de las células se efectuaron de 20 a 25 mediciones de cada variable por muestra. La estimación de la densidad fue en mm². Todas las medidas de las características mencionadas fueron digitalizadas con una cámara Hitachi KP-D51 y un microscopio Olympus IBX 51. Posteriormente las imágenes fueron procesadas (medidas) con el programa TPSdig (Rohlf, 2004), para obtener las medidas de las características.

En la descripción de la madera se incluyeron los siguientes caracteres: anillos de crecimiento, porosidad, placas de perforación, punteaduras intervasculares, parénquima y fibras (Metcalf y Chalk, 1957; IAWA Committee, 1989).

4.3.3 Análisis estadístico

En la evaluación de la variación morfológica (flor y hoja) y anatómica (madera) entre las poblaciones de *M. schiedeana*, se utilizaron medidas de tendencia central (media aritmética), dispersión (desviación estándar, rango), análisis de varianza (ANOVA), correlación (rho de Spearman “ ρ ”) y análisis multivariado: análisis discriminante, árboles de regresión, distancia de Mahalanobis “ d_m ”, Euclideana “ d_E ” y geográfica “ d_g ”. Para comprobar la normalidad de la distribución de los valores de las características morfológicas, se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Shapiro-Wilks (Canavos, 1988). Las variables que no presentaron distribución normal fueron transformadas con la función Box-Cox (Box y Cox, 1964).

La aplicación de técnicas de análisis multivariado en distintos grupos de plantas (Swartz y Brunfeld, 2002; De Luna y Gómez-Velasco, 2008) ha sido de

gran utilidad no sólo en la delimitación de especies o poblaciones, sino también para la identificación de caracteres que contribuyen a la diferenciación entre especies (Paris y Windham, 1988).

El análisis discriminante (AD) se utilizó para identificar patrones de variación en los datos y para definir las características morfológicas y anatómicas más relacionadas con la explicación de dicha variación (McCune y Grace, 2002).

La técnica de árboles de regresión (regression tree) fue empleada para evaluar la interacción entre las características morfológicas (foliares, florales), anatómicas (madera) y las condiciones ambientales. Esta técnica de análisis de datos no hace suposiciones a priori sobre algún tipo de relación entre las variables estudiadas y facilita la interpretación de sus posibles relaciones, lo que no se logra si se emplean modelos estadísticos lineales (Iverson y Prasad 1998; McCune y Grace, 2002). Los árboles de regresión son útiles para capturar relaciones no lineales y exponen relaciones entre las variables. El modelo resultante está estructurado desde un nodo inicial (raíz), a través de una serie de divisiones binarias de las variables explicativas (tallos), hasta los nodos terminales (hojas). La estimación para todas las observaciones que siguen la misma vía desde la raíz hasta una determinada hoja es el valor promedio de la variable dependiente para ese subconjunto de observaciones (Moody y Meentemeyer, 2001; McCune y Grace, 2002).

Otra alternativa de análisis del grado de relación entre la variación de los caracteres morfológicos (floral, foliar) y anatómicos (madera) de los individuos, con respecto a las variables ambientales (clima y distancia geográfica), fue a través de la estimación de las matrices de distancias Euclidianas y de distancias de

Mahalanobis entre localidades (Anexo 2). El grado de asociación entre las variables en la matriz de distancias fue valorado por medio del análisis de correlación de Spearman. Todos los análisis fueron realizados con los programas de cálculo STATISTICA versión 7.0 (StatSoft, 2004) y *Statistical Package for Social Sciences software* versión 20.0.0 (IBM SPSS Inc, 1989).

4.4 Distribución actual y potencial

El mapa de distribución real de la especie se realizó utilizando datos de localización geográfica (coordenadas) compilados durante la revisión de herbarios y en la exploración en campo. Para éste fin, los datos obtenidos de coordenadas DMS (grados, minutos, segundos), se convirtieron a grados decimales (DD) para su representación gráfica dentro del BMM del estado de Hidalgo. El número total de registros fue de 31. La representación de la distribución real fue realizada con el programa ArcView versión 3.3 (ESRI, 2002).

En la modelación de la distribución potencial de la especie, se utilizaron las capas de 19 variables climáticas disponibles en la página web de *Worldclim* (<http://www.worldclim.org/>) y de cuatro variables topográficas provenientes del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<https://lta.cr.usgs.gov/HYDRO1K>), todas a una resolución espacial aproximada de 1 km² por pixel (Soria-Auza *et al.*, 2010; López-Mata *et al.*, 2012; Anexo 3). La modelación de la distribución potencial de la especie en el estado de Hidalgo, se realizó con el programa de cálculo MaxEnt v3.3.3k (Phillips *et al.*, 2006), de acuerdo con el procedimiento seguido por Pérez (2013), que se detalla a continuación.

Para el análisis se construyeron dos modelos, en los cuales se empleó la opción de 20 réplicas debido a que MaxEnt genera resultados diferentes de una corrida a la siguiente, por la asignación aleatoria de la misma entrada de datos durante el proceso de modelación (Elith *et al.*, 2011). Se seleccionó el 25 % de los registros para generar la fase de entrenamiento y el 75 % restante se utilizó para la validación del mismo (Pearson *et al.*, 2007). El primer modelo fue exploratorio, y el segundo el definitivo.

4.4.1 Análisis estadístico

De acuerdo con los resultados obtenidos en el primer modelo se excluyeron las variables que presentaban una contribución mínima, cuyo decrecimiento no fue mayor a 0.01 en la ganancia de entrenamiento, dada su baja o nula contribución relativa al ajuste del modelo, lo anterior de acuerdo a la prueba de Jackknife, obtenida en MaxEnt (Pearson *et al.*, 2007; Torres y Jayat, 2010). La ganancia es una medida en la cual se expresan los resultados obtenidos del modelo, su importancia radica en que evidencia los requerimientos ecológicos de la especie (Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez, 2014).

Subsecuentemente, mediante un análisis de correlación de rho de Spearman (ρ), se inspeccionaron las variables que proporcionaron mayor contribución al ajuste del modelo. Los valores de cada una de ellas en cada punto de ocurrencia se extrajeron de las capas, utilizando el programa ArcView (ESRI, 2002). La correlación fue realizada a partir de la matriz de datos obtenida con el programa SAM (Spatial Analysis in Macroecology; Rangel *et al.*, 2010), aquellas que presentaron valores altos ($\rho \geq 0.8$; $P \leq 0.01$) fueron examinadas consultando los resultados de MaxEnt,

del primer modelo y se eliminaron las que mostraron menor contribución en la ganancia general del modelo al ser omitidas.

Con el subconjunto de variables elegidas (menos correlacionadas), se modeló nuevamente la distribución potencial de la especie, empleándose 20 réplicas. El mapa con el valor de probabilidad promedio de la especie fue exportado al programa ArcView 3.3 (ESRI, 2002), para obtener la representación final donde se muestran los valores de baja (0) y alta (1) probabilidad de ocurrencia de la especie. Se empleó como umbral de corte el valor de 10 percentil (Liu *et al.*, 2005; Jiménez-Valverde y Lobo, 2007).

La curva AUC (Area Under the Curve) evalúa la habilidad predictiva del modelo de distribución generado, el valor del área bajo la curva representa la distribución de la especie (Baldwin, 2009). Según Siles *et al.* (2004) y Torres y Jayat (2010), la capacidad de predicción de un modelo en función de los valores de AUC es: 0.5-0.6= mala; 0.6-0.7= pobre; 0.7-0.8= satisfactoria; 0.8-0.9= buena y 0.9-1.0= excelente.

5. RESULTADOS

5.1 Estructura poblacional

La localidad con mayor densidad fue La Mojonera (544 individuos/ha), seguida de Coatempa (325 ind/ha) y Medio Monte (319 ind/ha). Las dos últimas localidades fueron semejantes en cuanto a la densidad de árboles y en las tres localidades los árboles de *M. schiedeana* formaron parte del subdosel de los bosques de haya de la entidad, dominados por *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana*. En contraste, en la localidad que se encuentra en el municipio de Tlanchinol, sólo se estimaron 150 individuos/ha, que coexistían con especies, como: *Clethra mexicana*, *Cyathea fulva*, *Liquidambar* sp. y *Quercus* sp., principalmente (Figura 2).

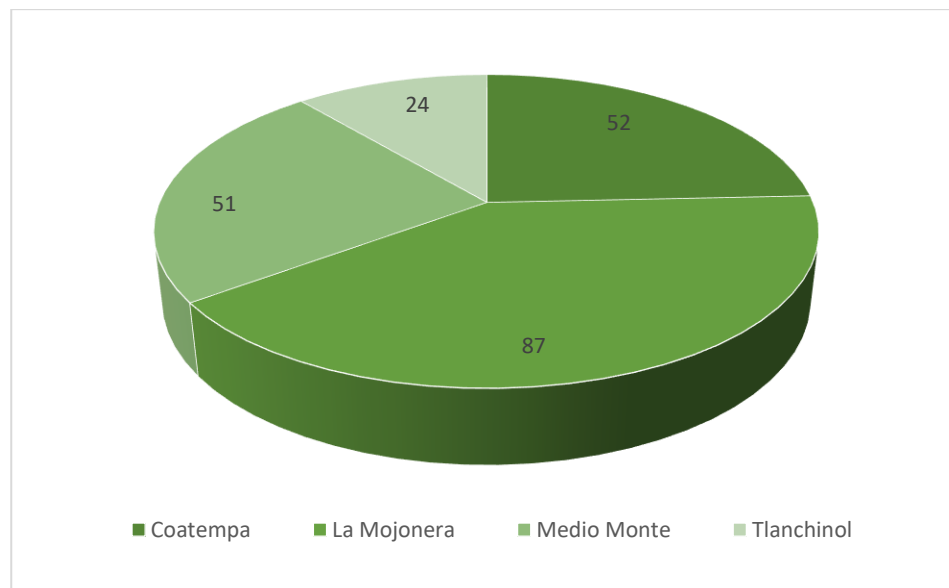
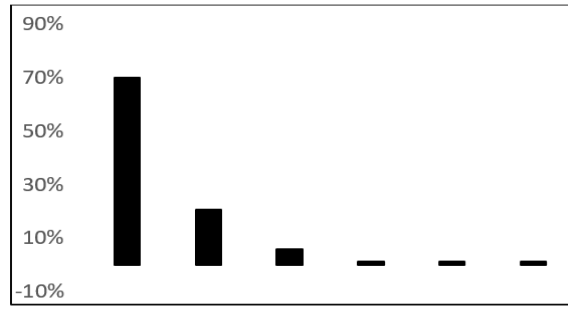
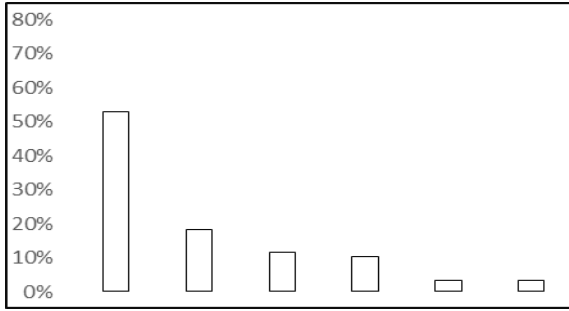


Figura 2. Densidad de individuos de *M. schiedeana*, por localidad de muestreo (cuatro parcelas que constituyen un área de 0.16 ha/localidad)

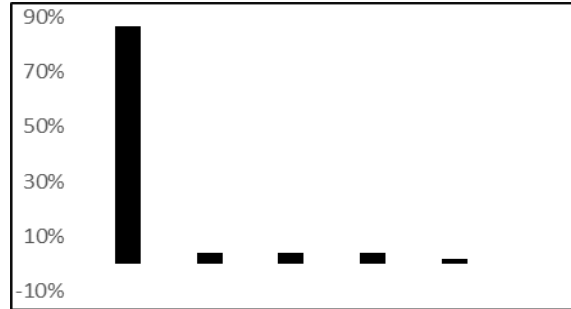
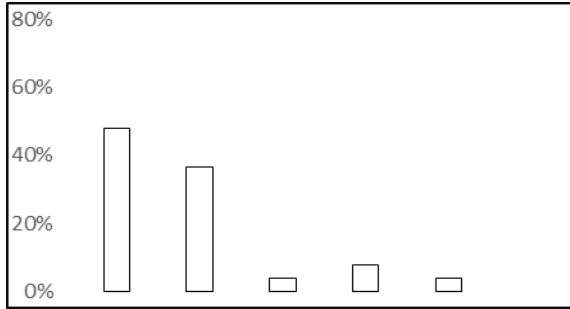
La estructura de alturas fue similar entre las poblaciones de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte; la mayoría de los individuos pertenecían a clases de tamaño pequeñas (71.26-88.24%), lo que incluyó plántulas y arbolitos de menos de 8.08 m; un número menor (3.92-21.84%) fueron de altura intermedia (entre 8.09 y 15.08 m) y pocos de talla grande (3.85-7.84%), con alturas de 15.09 a 22 m. En cambio, la distribución de alturas en la población de Tlanchinol fue heterogénea, el porcentaje de individuos con tamaños menores a 8.09 m fue bajo comparado con el de las otras localidades (37.5%); el 16.67% fueron individuos de talla media y un porcentaje elevado (45.83%), fueron individuos de talla grande. Los resultados indican que las localidades de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte son dinámicas, porque más del 70% de los individuos fueron jóvenes o de talla pequeña. Por el contrario, Tlanchinol podría considerarse como una población regresiva, puesto que la mayor cantidad de individuos (45.83%) son de talla grande.

Con respecto a la distribución de las clases diamétricas, en las poblaciones de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte se observó un patrón similar: el 90.80-92.16% de los individuos fueron de diámetro pequeño, de menos de 14.47 cm; el 1.96-7.7% presentaron diámetros intermedios (14.48-28.75 cm) y el 1.92-5.88%, fueron de diámetros amplios (28.76-43.03 cm). En la localidad de Tlanchinol se observó un comportamiento diferente: el 41.67% de los individuos pertenecieron a clases diamétricas pequeñas, el mismo porcentaje fue de diámetros intermedios y 16.67% fueron de diámetros de talla grande, lo cual es un resultado preocupante, pues sugiere que la regeneración de la población es baja en esta localidad (Figura 3).

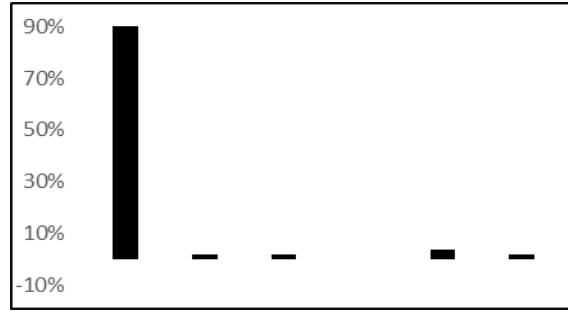
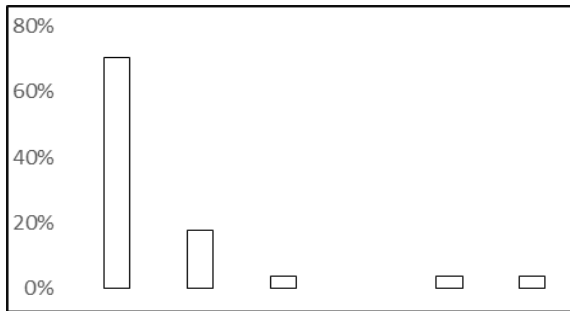
Coatempa (n = 52)



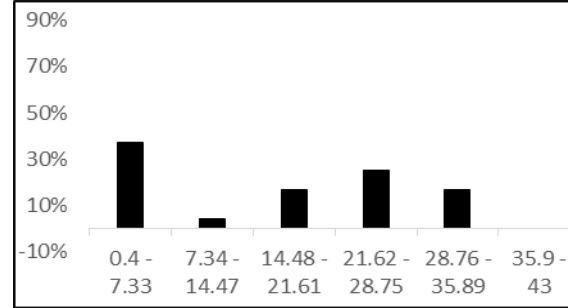
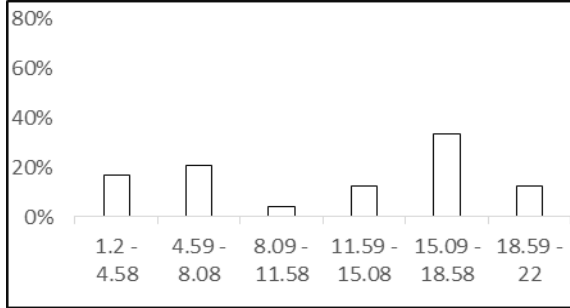
La Mojonera (n = 87)



Medio Monte (n = 51)



Tlanchinol (n = 24)



Intervalos de altura (m)

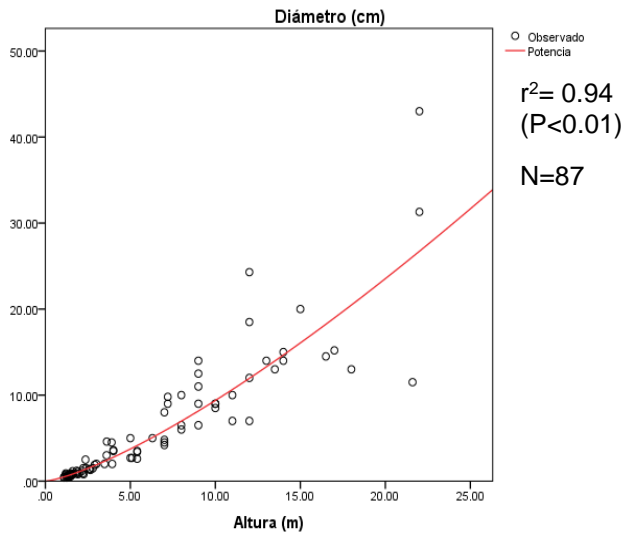
Intervalos de diámetro (cm)

Figura 3. Porcentaje de individuos de *M. schiedeana* por clase de altura y diámetro en las cuatro localidades analizadas

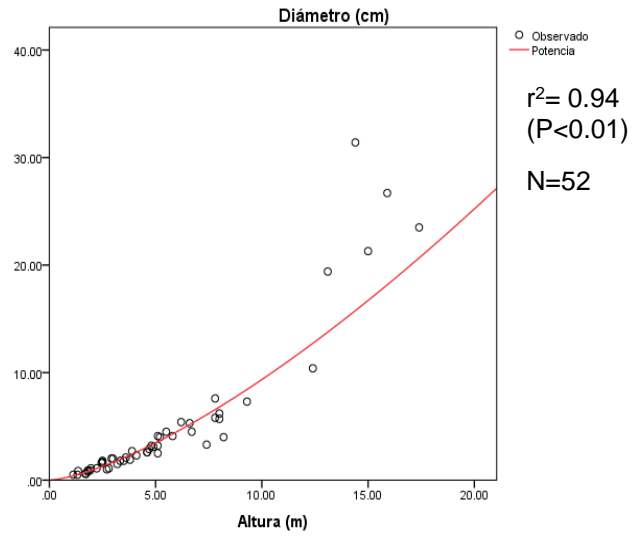
Los valores de correlación de Pearson indican que existe una asociación positiva altamente significativa ($P < 0.01$) entre el diámetro y la altura de los individuos en cada una de las localidades: Coatempa ($r = 0.919$), La Mojonera ($r = 0.886$), Medio Monte ($r = 0.803$) y Tlanchinol ($r = 0.926$).

La correlación entre la altura y el diámetro de los individuos en cada localidad fue similar, todas las relaciones pueden ser descritas por medio de modelos alométricos no lineales y lineales, con transformación logarítmica. Los valores de los coeficientes de determinación (r^2) en ambos tipos de modelos de regresión oscilaron entre 0.90 y 0.98, por lo que fueron altamente significativos. En el presente estudio se eligió el modelo no lineal potencial para representar los resultados, los diagramas de dispersión indican que en todas las localidades los individuos tienen una tasa de crecimiento proporcional en altura y diámetro (Figura 4).

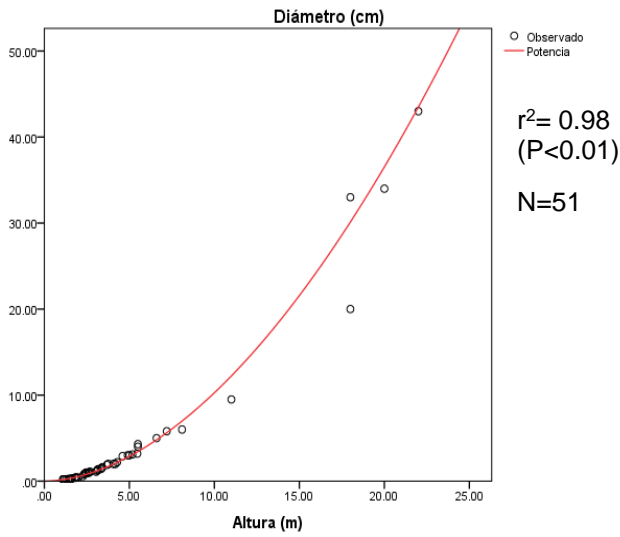
La Mojonera



Coatempa



Medio Monte



Tlanchinol

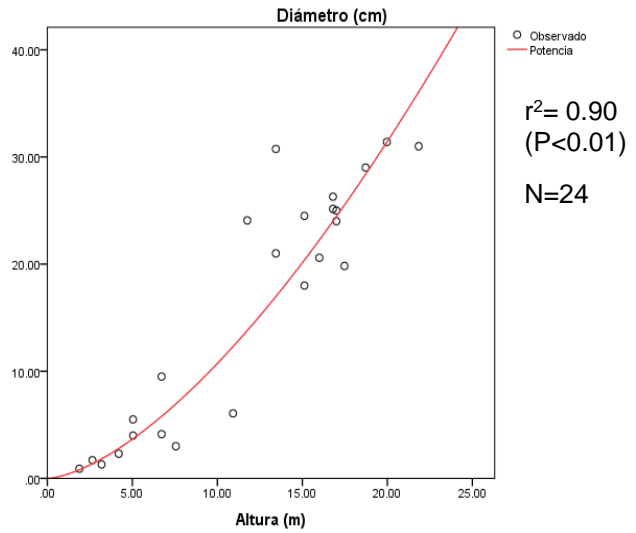


Figura 4. Correlación (modelo de regresión potencial) entre la altura y el diámetro de los individuos de *M. schiedeana* en cada localidad

5.2 Análisis de variación morfológica y anatómica

5.2.1 Descripción morfo-anatómica de *M. schiedeana*

Morfología

Hojas glabras elípticas u obovadas coriáceas, color verde claro cuando son jóvenes y verde oscuro cuando están maduras con venación reticulada. Lámina de 22.56 (\pm 2.11) cm de longitud x 8.61 (\pm 1.30) cm de ancho; peciolo de 2.60 (\pm 0.31) cm de longitud x 0.23 (\pm 0.03) cm de diámetro; diámetro de la vena media de 0.12 (\pm 0.01) cm. **Flores** solitarias terminales, carnosas, hermafroditas, de color blancas cuando son jóvenes, color crema-amarillento cuando están maduras; pedúnculo de 3.15 (\pm 0.58) cm de longitud x 0.45 (\pm 0.07) cm de diámetro; tres sépalos de 5.39 (\pm 0.58) cm de largo x 1.99 (\pm 0.37) cm de ancho; tres pétalos externos de 5.94 (\pm 0.76) cm de largo x 2.34 (\pm 0.42) cm de ancho; tres pétalos internos de 5.04 (\pm 0.5740) cm de largo x 1.58 (\pm 0.28) cm de ancho; eje floral de 2.83 (\pm 0.25) cm de longitud; 52 (\pm 5.45) estambres dispuestos en forma de espiral con una longitud de 1.14 (\pm 0.11) cm de largo; 19 (\pm 3.52) carpelos (\pm 3.52) de 1.37 (\pm 0.12) cm de longitud x 0.18 (\pm 0.02) cm de ancho (Figura 5).



Figura 5. Flor y hojas *Magnolia schiedeana*

Anillos de crecimiento conspicuos, definidos por bandas de parénquima axial marginal (3 a 7 hileras). **Porosidad** difusa. **Vasos** de forma redonda a oval con paredes angulosas y engrosamientos helicoidales, con una longitud de $748.94 \pm 60.45 \mu\text{m}$ y diámetro de $60.69 \pm 5.52 \mu\text{m}$, arreglados en hileras de 2-5 (6), solitarios y escasos en grupos de 3 a 4 vasos. Placas de perforación oblicua de tipo escalariformes con 4-15 barras y punteaduras intervasculares escalariformes. Tíldes escasas en los elementos de vaso. **Parénquima axial** apotraqueal marginal y escaso parénquima paratraqueal, series de de 4-5 células por segmento, con contenidos de almidón. **Fibras** no septadas, de $1357.09 \pm 143.24 \mu\text{m}$ de longitud, $20.24 \pm 1.98 \mu\text{m}$ de diámetro y la pared con un espesor de $3.50 \pm 0.33 \mu\text{m}$, con punteaduras areoladas pequeñas. **Radios** heterogéneos tipo IIB, con 7-15 (20) hileras de células procumbentes formando el cuerpo y una hilera de células cuadas en los márgenes. Predominan los radios multiseriados de 2-4 (5) células de ancho y son escasos los uniseriados de 3 a 6 células de alto. Los multiseriados con una altura de $471.67 \pm 52.70 \mu\text{m}$ y $42.48 \pm 5.24 \mu\text{m}$ de ancho. Los radios presentan células de aceite (Figura 6).

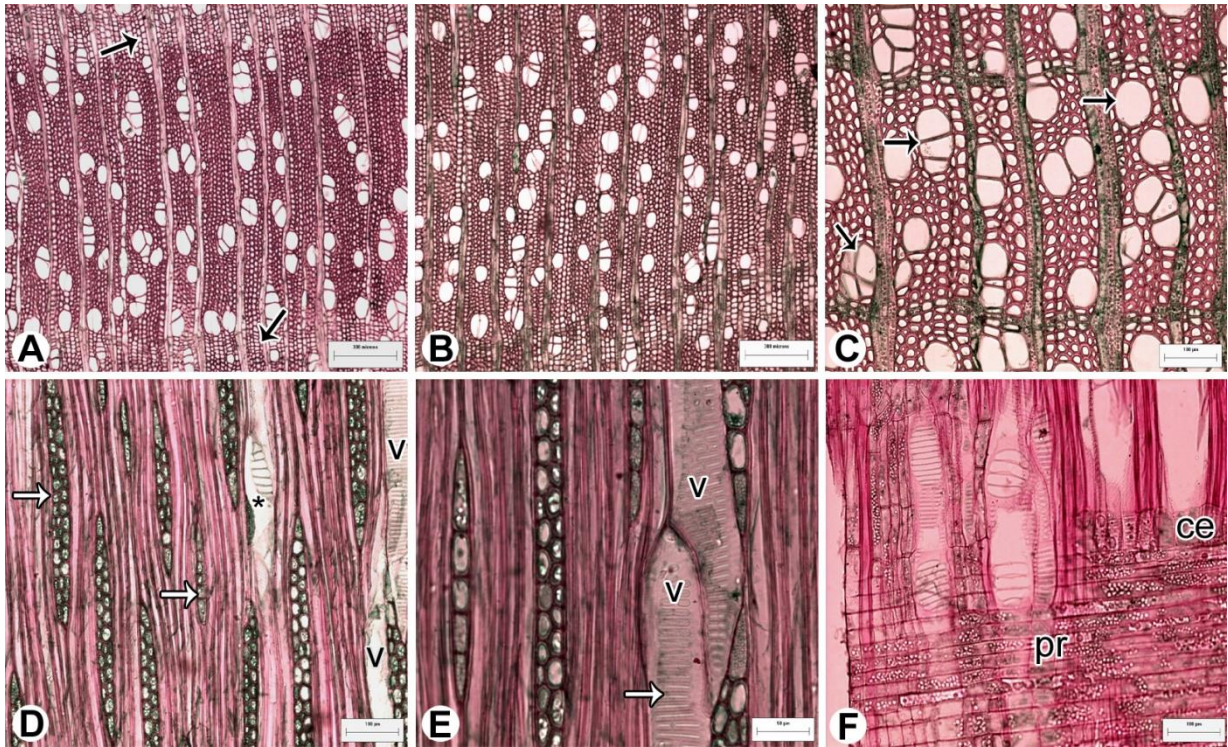


Figura 6. Características anatómicas de la madera de *Magnolia schiedeana*. **A.** Anillos de crecimiento. **B.** Porosidad difusa. **C.** Vasos arreglados en hileras radiales, solitarios y en grupos. **D.** Radios uni y multiseriados y vasos con placas perforadas escalariformes. **E.** Vasos con punteaduras intervasculares escalariformes. **F.** Radios tipo IIB. A-B=300 μ m; C-D. F=100 μ m; E=50 μ m. ce=células erectas; pr=procumbentes; v=vaso; *=placa de perforación

5.2.2 Estadísticos descriptivos

Acorde al análisis exploratorio de las medidas de tendencia central (media) y de dispersión (rango, desviación estándar), tanto para las características morfológicas (foliares, florales) como anatómicas (madera), los valores que mostraron diferencias entre poblaciones (localidades) fueron: ancho máximo de la

lámina (AML), diámetro de la vena media (DVM), largo de la lámina (LL), largo total de la lámina (LTL), diámetro del pedúnculo (DPD), longitud del eje floral (LEF), número de carpelos (NCR), número de estambres (NEST), ancho de los radios (ARAD), densidad de radios (DDRD), densidad de vasos (DDVS), diámetro del lumen de las fibras (DLFB), diámetro de los vasos (DMVS; Cuadro 2-4).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables morfológicas foliares de las poblaciones de *M. schiedeana*. Localidades de muestreo, CT: Coatempa, LM: La Mojonera, MM: Medio Monte, TL: Tlanchinol. Todas las medidas son en cm

Variable	Individuos	Rango				Media aritmética				Desviación estándar			
	n	CT	LM	MM	TL	CT	LM	MM	TL	CT	LM	MM	TL
AML	12	1.64	2.72	2.46	3.83	8.68	8.27	7.28	10.19	0.48	0.76	0.70	1.04
DP	12	0.02	0.06	0.07	0.07	0.20	0.20	0.23	0.25	0.008	0.016	0.022	0.021
DVM	12	0.03	0.04	0.01	0.03	0.12	0.12	0.11	0.14	0.007	0.012	0.005	0.010
LL	12	5.73	4.86	5.30	7.56	22.33	22.11	21.17	24.64	1.80	1.67	1.54	1.85
LP	12	1.21	0.98	0.99	0.98	2.59	2.64	2.65	2.50	0.38	0.27	0.28	0.29
LTL	12	5.76	4.79	5.23	7.42	24.92	24.76	23.83	27.14	1.80	1.66	1.59	1.81
NVS	12	2.30	2.90	1.60	3.60	12.63	13.60	12.85	13.26	0.60	0.97	0.44	0.90

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos de las variables morfológicas florales de las poblaciones de *M. schiedeana*. Todos los valores de las variables en cm, n: número de individuos analizados por localidad

Variable/localidad	Rango				Media aritmética				Desviación estándar			
	CT	LM	MM	TL	CT	LM	MM	TL	CT	LM	MM	TL
ACR	0.07	0.05	0.10	0.06	0.17	0.20	0.19	0.17	0.02	0.02	0.03	0.02
APEX	1.23	1.01	1.26	1.39	2.27	2.36	2.19	2.70	0.45	0.30	0.34	0.52
APIN	0.40	0.68	0.75	1.18	1.42	1.66	1.53	1.78	0.15	0.21	0.23	0.45
ASP	0.79	0.74	1.22	1.65	1.85	1.98	1.91	2.32	0.28	0.25	0.37	0.49
DPD	0.15	0.13	0.22	0.06	0.44	0.41	0.43	0.55	0.05	0.04	0.06	0.02
LCR	0.24	0.21	0.27	0.43	1.32	1.48	1.35	1.27	0.08	0.05	0.09	0.17
LEF	0.61	0.83	0.96	0.68	2.87	2.96	2.78	2.69	0.20	0.22	0.25	0.27
LEST	0.27	0.43	0.35	0.28	1.07	1.19	1.17	1.10	0.08	0.13	0.09	0.09
LPD	2.08	2.08	2.23	0.68	2.94	3.46	3.10	2.97	0.65	0.57	0.60	0.29
LPEX	1.82	2.29	3.18	1.32	5.61	5.90	6.24	5.90	0.61	0.73	0.92	0.60
LPIN	1.66	1.73	1.85	1.50	4.80	5.09	5.17	5.01	0.59	0.51	0.64	0.58
LSP	1.23	1.71	2.08	1.91	5.21	5.34	5.57	5.42	0.48	0.51	0.70	0.63
NCR	6.00	9.00	16.00	8.00	18.50	17.92	20.17	21.71	1.85	2.31	4.78	3.15
NEST	9.00	25.00	15.00	14.00	55.75	50.17	50.50	52.71	3.41	6.95	4.27	4.72
n	8	12	12	7	8	12	12	7	8	12	12	7

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de las variables de la anatomía de la madera de las poblaciones de *M.schiedeana*. n: número de individuos analizados por localidad

Variable/Localidad	Rango				Media aritmética				Desviación estándar			
	CT	LM	MM	TL	CT	LM	MM	TL	CT	LM	MM	TL
ARAD	10.82	14.20	5.96	11.59	43.41	40.47	45.37	40.93	5.41	7.28	2.49	5.40
DDRD	4.39	5.56	1.27	4.57	12.17	9.48	11.82	15.25	2.26	2.45	.56	2.23
DDVS	54.69	18.82	34.70	17.50	62.91	92.08	46.79	53.21	28.91	9.31	14.69	7.32
DLFB	1.07	3.32	2.25	5.31	14.93	17.65	17.46	16.64	.61	1.57	1.05	2.59
DMFB	0.82	3.77	2.86	5.13	18.24	21.58	20.75	19.90	.44	1.71	1.35	2.57
DMVS	5.70	6.29	14.85	5.53	61.14	51.84	62.06	56.50	3.12	2.78	7.02	2.52
GPFB	0.30	0.51	0.60	0.23	3.33	3.93	3.46	3.26	0.16	0.23	0.31	0.11
LGFB	195.6	239.4	323.5	299.6	1356.5	1252.6	1323.3	1495.9	103.23	109.9	133.6	130.2
LGRD	96.3	113.5	66.33	89.17	459.4	526.99	444.4	452.9	50.76	54.37	30.58	40.75
LGVS	74.7	167.9	164.1	50.46	708.7	779.98	717.81	779.3	37.75	73.16	69.34	22.94
n	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4

5.2.3 Análisis discriminante

La prueba de análisis discriminante (AD) se realizó en tres ocasiones diferentes: la primera para las variables morfológicas foliares, la segunda para las variables morfológicas florales y la última para las variables de anatomía de la madera. De acuerdo con los tres modelos generados del total de las 31 variables iniciales contempladas sólo se consideraron 23. En el análisis foliar se emplearon cinco: ancho máximo de la lámina (AML), diámetro de la vena media (DVM), largo de la lámina (LL), largo total de la lámina (LTL) y el número de venas secundarias (NVS). En la morfología floral se utilizaron las 14 variables contempladas inicialmente: ancho de los carpelos (ACR), ancho de los sépalos (ASP), ancho de los pétalos externos (APEX), ancho de los pétalos internos (APIN), diámetro del pedúnculo (DPD), largo de los carpelos (LCR), largo del pedúnculo (LPD), largo de los sépalos (LSP), largo de los pétalos externos (LPEX), largo de los pétalos internos (LPIN), longitud del eje floral (LEF), número de estambres (NEST), largo de los estambres (LEST) y número de carpelos (NCR). Con respecto a la anatomía de la madera, se consideraron en el modelo cuatro variables: grosor de la pared de las fibras (GPFB), diámetro de los vasos (DMVS), densidad de vasos (DDVS) y densidad de radios (DDRD). Las variables seleccionadas para realizar los análisis, fueron las que contribuyeron de manera estadísticamente significativa en la explicación de la variación en los datos.

Análisis de la morfología foliar

Los resultados obtenidos por medio del AD indican que hay diferencias significativas entre los caracteres foliares de las cuatro localidades analizadas

($P < 0.01$). La primer función discriminante explicó 79.8% de la variación en los datos y, en conjunto las dos primeras funciones explicaron 90.5% de la variación (Cuadro 5). En la mitad derecha de la nube de puntos del diagrama de dispersión, se puede observar un grupo de puntos bien definido, conformado por los individuos de la localidad de Tlanchinol, mientras que en la mitad izquierda se encuentran entremezclados los individuos de las otras tres localidades: Coatempa, La Mojonera y Medio Monte (Figura 7). La variable ancho máximo de la lámina (AML) presentó el mayor grado de relación con respecto a la primera función discriminante, por lo que puede ser considerada como la más útil para diferenciar entre sí a las localidades por su morfología foliar.

Cuadro 5. Resultados del análisis discriminante de la variación morfológica foliar entre poblaciones de *M. schiedeana* en el estado de Hidalgo (** $P < 0.01$)

Característica	Función		Lambda de Wilk
	1	2	
AML	0.913	-0.881	0.1912**
DVM	0.374	1.056	0.3179**
LL	-0.580	-0.442	0.1908
LTL	0.362	0.672	0.2540
NVS	0.047	-0.041	0.2379
Autovalor	2.231	0.298	
% de varianza explicada	79.8	10.7	
Varianza acumulada (%)	79.8	90.5	
Correlación canónica	0.831	0.479	

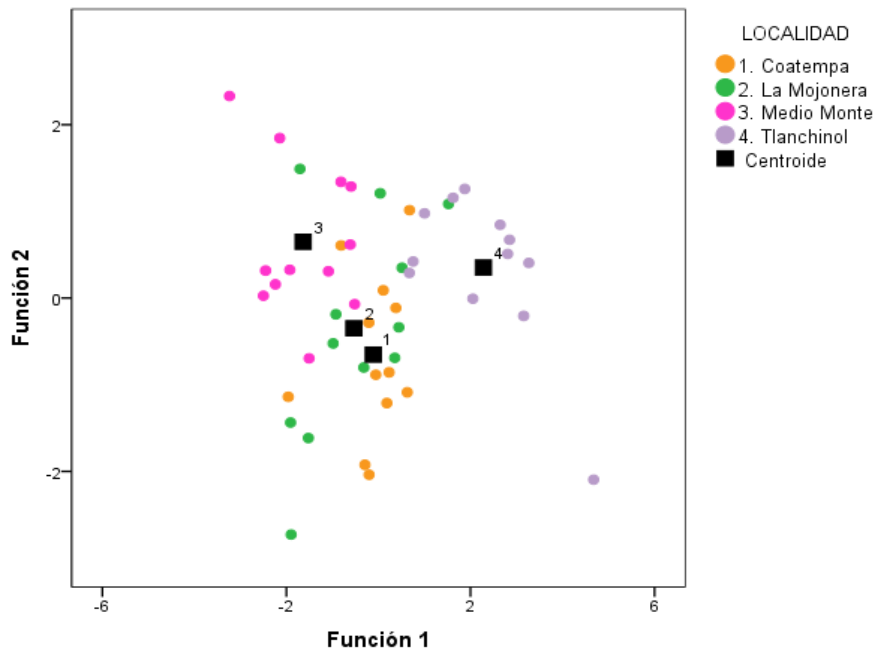


Figura 7. Diagrama de ordenación para las dos primeras funciones canónicas discriminantes de las variables morfológicas foliares de las cuatro poblaciones de *M. schiedeana* analizadas

Los valores de las distancias de Mahalanobis corroboran que existen diferencias estadísticamente significativas en la morfología foliar ($P < 0.01$) entre las localidades analizadas (excepto entre Coatempa y La Mojonera). La población de la localidad de Tlanchinol difirió de manera evidente en morfología foliar con respecto a las poblaciones de las otras localidades analizadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de distancias de Mahalanobis entre las poblaciones de *M. schiedeana* analizadas, con caracteres morfológicos de la hoja (**P<0.01)

	La Mojonera	Medio Monte	Tlanchinol
Coatempa	2.12	4.18**	7.10**
La Mojonera	-	3.13**	8.98**
Medio Monte	-	-	15.48**
Tlanchinol	-	-	-

La matriz de clasificación generada por medio del AD indica que el 79.2% de los individuos analizados fueron asignados a la localidad correctamente: ocho de los 12 individuos de la localidad Coatempa y de La Mojonera, fueron clasificados en la población que les correspondía. En la localidad de Medio Monte y en la de Tlanchinol, 11 de los individuos (91.7%) de cada una de ellas, se asignó en forma correcta (Cuadro 7).

Cuadro 7. Porcentaje de asignaciones correctas de los individuos de cada localidad analizada, con base en la morfología foliar

		Localidad	Grupo de pertenencia pronosticado				Total	
Recuento			CT	LM	MM	TL	N	
Original	CT	CT	8	1	2	1	12	
	LM	LM	1	8	1	2	12	
	MM	MM	0	1	11	0	12	
	TL	TL	0	1	0	11	12	
	Porcentaje	CT	CT	66.7	8.3	16.7	8.3	100
		LM	LM	8.3	66.7	8.3	16.7	100
		MM	MM	0	8.3	91.7	0	100
		TL	TL	0	8.3	0	91.7	100

Análisis de la morfología de la flor

Los resultados del AD indican que existen diferencias estadísticamente significativas en las características de la flor entre las localidades analizadas ($P < 0.01$). La primera función discriminante explicó 67.8 % de la variación en los datos y la suma de las dos primeras funciones el 84.7% de la variación total. En el extremo izquierdo del diagrama de ordenación se puede observar una nube de puntos que corresponden a los individuos de la localidad de Tlanchinol, claramente separados de las demás. Los otros puntos en el diagrama, que representan las características morfológicas de la flor de los individuos de las localidades de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte, aparecen traslapados; lo que sugiere una escasa diferenciación en la morfología floral entre estas tres poblaciones de *M. schiedeana* (Figura 8).

Las características morfológicas diámetro del pedúnculo (DPD) y longitud del eje floral (LEF), fueron las que presentaron el más alto grado de asociación con la primera función discriminante, por lo que se consideraron como las más adecuadas para diferenciar entre sí a las poblaciones analizadas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados del análisis discriminante para la variación morfológica de la flor entre poblaciones de *M. schiedeana* del estado de Hidalgo (**P<0.01)

	Función		Lambda de Wilk
	1	2	
DPD	-1.121	0.030	0.115426**
APIN	-0.617	1.110	0.072679
LEF	0.817	-0.697	0.089687**
LPD	0.230	0.263	0.071942
LSP	0.389	-0.659	0.063409
ASP	-0.511	0.466	0.068828
LPEX	-0.650	0.770	0.069851
APEX	0.547	-0.942	0.067924
LPIN	0.447	-0.710	0.064432
NEST	0.103	-0.577	0.068942
LEST	-0.265	0.659	0.071515
NCR	0.222	0.199	0.064976
LCR	0.455	-0.165	0.066685
ACR	0.161	0.599	0.064402
Autovalor	3.699	0.922	
% de varianza	67.8	16.9	
Varianza acumulada (%)	67.8	84.7	
Correlación canónica	0.887	0.693	

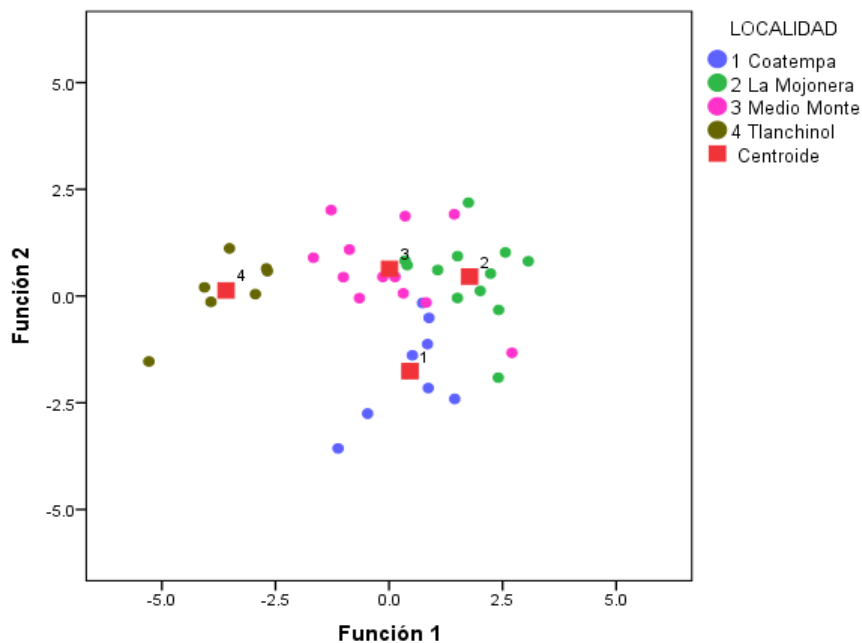


Figura 8. Diagrama de ordenación para las dos primeras funciones canónicas discriminantes, de las variables morfológicas de la flor de las cuatro localidades analizadas

Los valores de las distancias de Mahalanobis confirman que existen diferencias estadísticamente significativas en la morfología de la flor ($P < 0.01$) entre la localidad de Tlanchinol *versus* las otras tres localidades: Coatempa, La Mojonera y Medio Monte (Cuadro 9).

Cuadro 9. Matriz de distancias de Mahalanobis entre las poblaciones de *M. schiedeana* analizadas, con caracteres morfológicos de la flor (**P<0.01)

	La Mojonera	Medio Monte	Tlanchinol
Coatempa	7.88	6.78	20.85**
La Mojonera	-	7.26	28.85**
Medio Monte		-	16.65**
Tlanchinol			-

La clasificación de casos para la morfología floral fue más certera que en la morfología de la hoja, el 97.4% de los individuos muestreados fueron clasificados correctamente y sólo un individuo de la localidad de La Mojonera, fue asignado a una localidad diferente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentaje de asignaciones correctas de los individuos de cada localidad analizada, con base en la morfología de la flor

		Localidad	Grupo de pertenencia pronosticado				Total
Recuento			CT	LM	MM	TL	N
Original	CT		8	0	0	0	8
	LM		0	11	1	0	12
	MM		0	0	12	0	12
	TL		0	0	0	7	7
Porcentaje	CT		100	0	0	0	100
	LM		0	91.7	8.3	0	100
	MM		0	0	100	0	100
	TL		0	0	0	100	100

Análisis de la anatomía de la madera

El AD indica que existen diferencias estadísticamente significativas en los caracteres anatómicos de la madera entre los individuos en algunas de las localidades analizadas ($P < 0.01$). La primera función discriminante explicó el 87.6% de la variación en los datos y la suma de las dos primeras funciones discriminantes explicó el 98.6% de la variación total. En el diagrama de ordenación se puede observar que, con base en la anatomía de la madera, La Mojonera está claramente separada de las demás localidades, las cuales muestran entre sí una menor diferenciación (Figura 9). Las variables que permitieron discriminar de la mejor manera entre las localidades analizadas fueron la densidad de radios (DDRD) y el grosor de la pared de las fibras (GPFB, Cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados del análisis discriminante para la variación anatómica de la madera entre poblaciones de *M. schiedeana* del estado de Hidalgo (** $P < 0.01$)

	Función		Lambda de Wilk
	1	2	
GPFB	-0.95	0.27	0.16**
DDRD	-0.89	-0.56	0.17**
DDVS	0.10	-0.65	0.07
DMVS	-0.07	0.50	0.07
Autovalor	6.51	0.81	-
Varianza explicada (%)	87.6	9.0	-
Varianza acumulada (%)	86.6	98.6	-
Correlación canónica	0.93	0.67	-

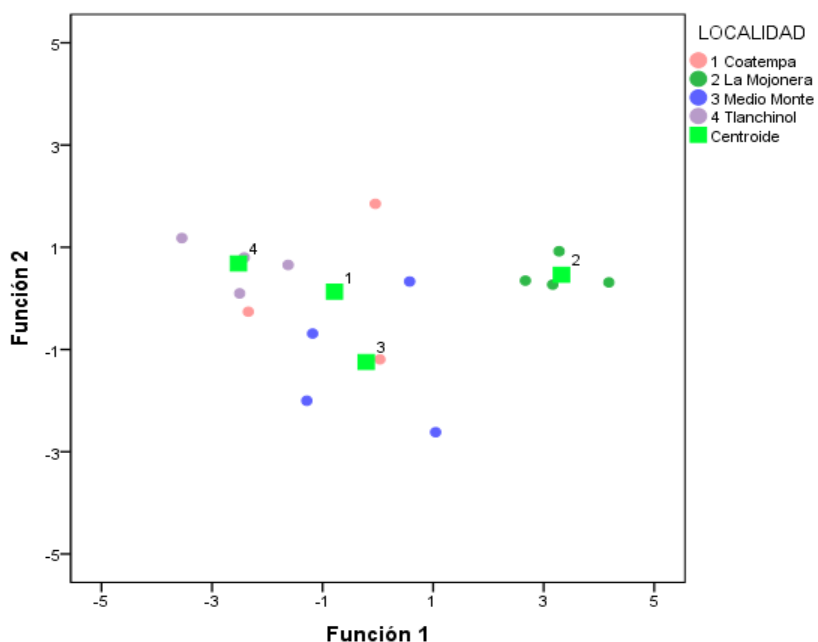


Figura 9. Diagrama de ordenación de las localidades con base en variables anatómicas de la madera, para las dos primeras funciones discriminantes

Los valores de las distancias de Mahalanobis indican que los individuos de la localidad La Mojonera difieren significativamente ($P < 0.05$) en la anatomía de la madera, de los árboles de las otras localidades (Cuadro 12).

Cuadro 12. Matriz de distancias de Mahalanobis entre las poblaciones de *M. schiedeana* analizadas, con caracteres anatómicos de la madera (** $P < 0.05$)

	La Mojonera	Medio Monte	Tlanchinol
Coatempa	17.36**	2.64	3.89
La Mojonera	-	15.40**	34.22**
Medio Monte		-	9.06
Tlanchinol			-

La asignación correcta de los individuos muestreados con base en las características de anatomía de la madera fue del 100% (Cuadro 13).

Cuadro 13. Porcentaje de asignaciones correctas de los individuos de cada localidad analizada, con base en la anatomía de la madera

		Localidad	Grupo de pertenencia pronosticado				Total
Original	Recuento	CT	3	0	0	0	3
		LM	0	4	0	0	4
		MM	0	0	4	0	4
		TL	0	0	0	4	4
	Porcentaje	CT	100	0	0	0	100
		LM	0	100	0	0	100
		MM	0	0	100	0	100
		TL	0	0	0	100	100

5.2.4 Análisis de varianza

Se realizaron seis pruebas de análisis de varianza (ANOVA) con las variables morfológicas y anatómicas que explicaron el mayor porcentaje de variación en los análisis discriminantes previos. En el análisis de la morfología foliar fueron seleccionadas las variables ancho máximo de la lámina (AML) y diámetro de la vena media (DVM); en la morfología floral se utilizaron las variables diámetro del pedúnculo (DPD) y longitud del eje floral (LEF). En cuanto a la madera se emplearon las variables grosor de la pared de las fibras (GPFB) y densidad de radios (DDRD).

Análisis de varianza foliar

Los resultados obtenidos indican que existen diferencias altamente significativas en la morfología foliar entre localidades, con base en las variables analizadas: AML ($F_{(3,44)}=29.26$, $P=0.000$) y DVM ($F_{(3,44)}=25.57$, $P=0.000$). La prueba de diferencias honestamente significativas de Tukey (HSD de Tukey) corrobora que la localidad con mayor diferenciación con respecto a las dos variables analizadas fue la de Tlanchinol (Cuadro 14-15, Figura 10).

Cuadro 14. Análisis de varianza de AML. Fuente de variación (F.V.), suma de cuadrados (S.C.), grados de libertad (g.l.), cuadrados medios (C.M.), estadístico de contraste (F, ** P<0.05)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F
Entre grupos	52.91	3	17.63	29.26**
Dentro de los grupos	26.51	44	0.60	
Total	79.43	47		

Cuadro 15. Análisis de varianza de DVM. Significado de las abreviaturas: fuente de variación (F.V.), suma de cuadrados (S.C.), grados de libertad (g.l.), cuadrados medios (C.M.), estadístico de contraste (F, ** P<0.05)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F
Entre grupos	0.006	3	0.002	25.57**
Dentro de los grupos	0.004	44	0.000	
Total	0.010	47		

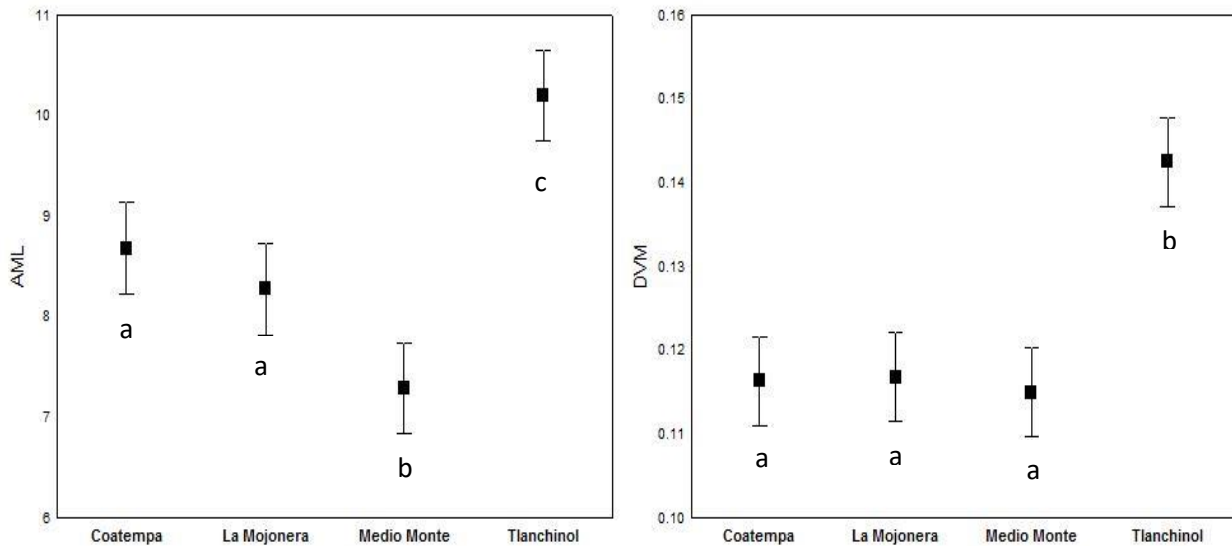


Figura 10. Valor promedio (cuadros) y error estándar (barras) de las variables morfológicas foliares AML y DVM. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre localidades/poblaciones con respecto a cada uno de los caracteres representados, con un nivel de confianza de 95%

Análisis de varianza de la morfología floral

Los resultados del ANOVA y del análisis discriminante, indican que existen diferencias estadísticas altamente significativas entre localidades ($F_{(3,35)} = 13.52$, $P = 0.000$) con respecto a la variable DPD. En cambio, en el análisis de varianza, el carácter LEF ($F_{(3,35)} = 2.19$, $P = 0.106$) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre las localidades, por lo que fue omitido en análisis posteriores. La prueba de Tukey de diferencias honestamente significativas (HSD de Tukey)

corroboró que la localidad que presentó mayor diferenciación con respecto a la variable DPD fue Tlanchinol (Cuadro 16-17, Figura 11).

Cuadro 16. Análisis de varianza de la característica morfológica DPD. Significado de las abreviaturas: fuente de variación (F.V.), suma de cuadrados (S.C.), grados de libertad (g.l.), cuadrados medios (C.M.), estadístico de contraste (F, ** P<0.05)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M	F
Entre grupos	0.90	3	0.03	13.52**
Dentro de los grupos	0.78	35	0.00	
Total	0.16	38		

Cuadro 17. Análisis de varianza de la característica morfológica LEF. Significado de las abreviaturas: fuente de variación (F.V.), suma de cuadrados (S.C.), grados de libertad (g.l.), cuadrados medios (C.M.), estadístico de contraste (F, ** P<0.05)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M	F
Entre grupos	0.36	3	0.12	2.19**
Dentro de los grupos	1.94	35	0.05	
Total	2.31	38		

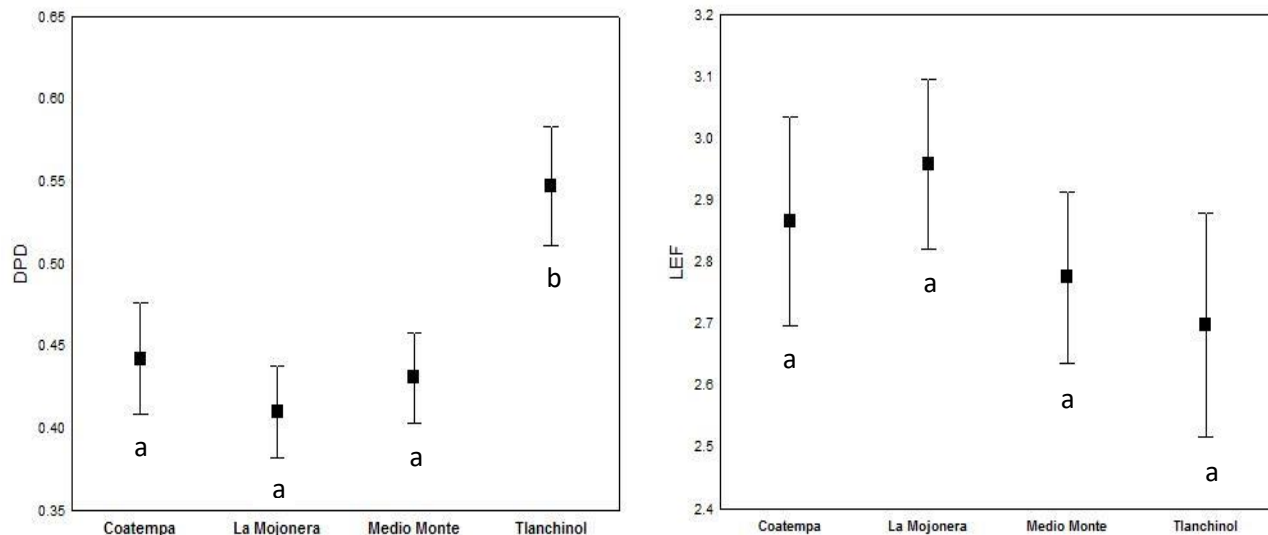


Figura 11. Valor promedio (cuadros) y error estándar (barras) de las variables morfológicas florales DPD y LEF. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre localidades/poblaciones de acuerdo con los caracteres representados, con un nivel de confianza de 95%

Análisis de varianza de la anatomía de la madera

Los resultados del análisis de varianza en el que se utilizaron las características anatómicas de mayor importancia en el análisis discriminante, indican que las variables GPFB ($F_{(3,11)} = 7.34$, $P = 0.006$) y DDRD ($F_{(3,11)} = 5.61$, $P = 0.014$) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre localidades. La prueba de diferencias honestamente significativas de Tukey (HSD de Tukey) así como el análisis discriminante, corroboran que la localidad con mayor grado de diferenciación fue La Mojonera (Cuadro 18-19, Figura 12).

Cuadro 18. Análisis de varianza de la característica GPFB. Significado de las abreviaturas: fuente de variación (F.V.), suma de cuadrados (S.C.), grados de libertad (g.l.), cuadrados medios (C.M.), estadístico de contraste (F, ** P<0.05)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M	F
Entre grupos	1.06	3	0.35	7.34**
Dentro de los grupos	0.53	11	0.04	
Total	1.59	14		

Cuadro 19. Análisis de varianza de la característica DDRD. Significado de las abreviaturas: fuente de variación (F.V.), suma de cuadrados (S.C.), grados de libertad (g.l.), cuadrados medios (C.M.), estadístico de contraste (F, ** P<0.05)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M	F
Entre grupos	67.54	3	22.51	5.61**
Dentro de los grupos	44.13	11	4.01	
Total	111.67	14		

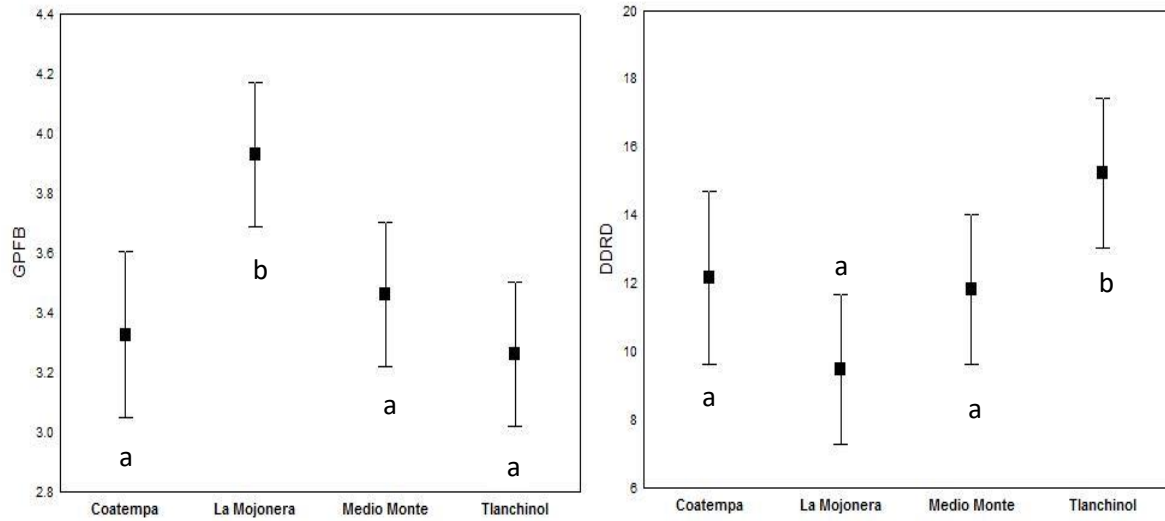


Figura 12. Valor promedio (cuadros) y error estándar (barras) de las variables anatómicas de la madera (GPFB y DDRD). Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre localidades/poblaciones de acuerdo a los caracteres representados, con un nivel de confianza de 95%

5.2.5 Árboles de regresión

El análisis de árboles de regresión se utilizó en cinco ocasiones distintas, una vez para cada variable que presentó diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre localidades en el análisis de varianza: dos fueron con características morfológicas de la hoja (AML, DVM), una con la variable morfológica de la flor (DPD) y dos con características anatómicas de la madera (DDRD y GPFB).

Variación morfológica foliar con respecto a variables ambientales

El primer árbol de regresión indicó que la altitud (ALTD) y la temperatura media (TPM) fueron las variables que mejor explicaron la variación en los valores del ancho máximo de la lámina (AML). La estructura del árbol señaló dos opciones correlacionadas con valores mayores o menores del AML, la primera sugiere que el AML es mayor en altitudes menores o iguales a 1591 m como en Tlanchinol; mientras que la segunda opción indica que los valores más bajos del AML ocurren en altitudes mayores a 1591 m, lo que incluye a las localidades de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte. Por otra parte, el árbol indica que los valores más altos de AML se presentan a temperaturas medias menores o iguales a 23.47° (Coatempa y La Mojonera), y los más bajos a temperaturas promedio más altas (Medio Monte; Figura 13).

El segundo árbol de regresión señala que la altitud (ALTD) y la pendiente (PND) son las que mejor explican la variación en los valores del diámetro de la vena media (DVM). En el diagrama se observó que el DVM es mayor cuando la ALTD es menor o igual a 1591 m (localidad de Tlanchinol); en contraste, el valor de DVM es más bajo en ALTD de más de 1591 m (Coatempa, La Mojonera y Medio Monte). Por otra parte, el análisis también indica que el DVM es mayor cuando los individuos se encuentran en sitios con pendientes menores o iguales a 47.5°, como en el caso de Coatempa y Medio Monte; y que en sitios con PND mayores, el DVM tiende a disminuir como en el caso de La Mojonera (Figura 14).

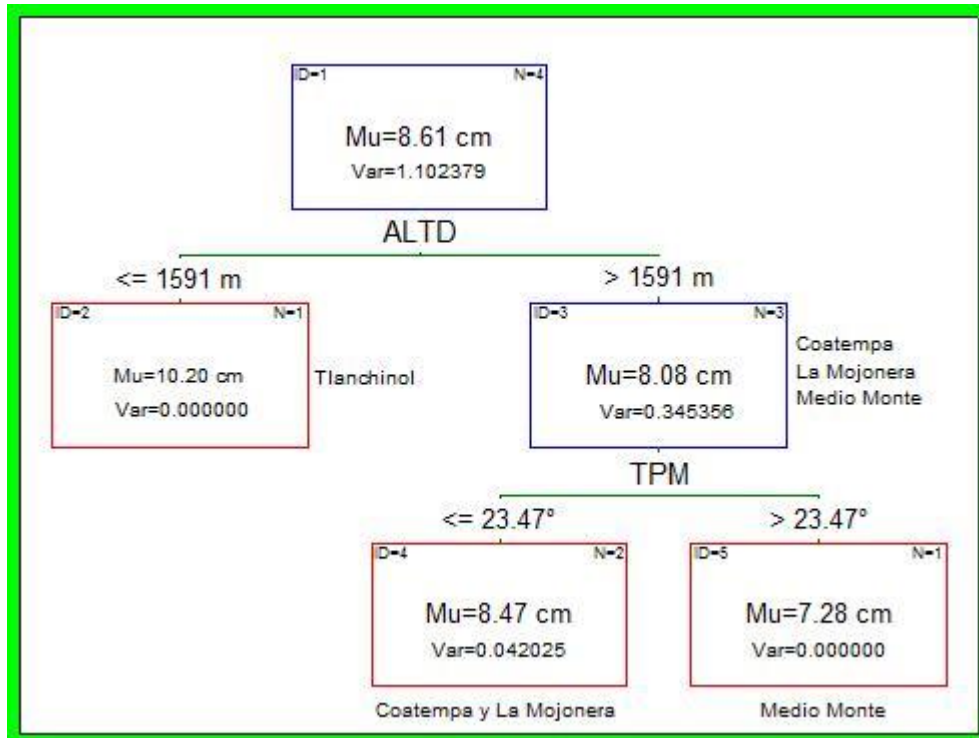


Figura 13. Árbol de regresión del AML y las variables ambientales analizadas

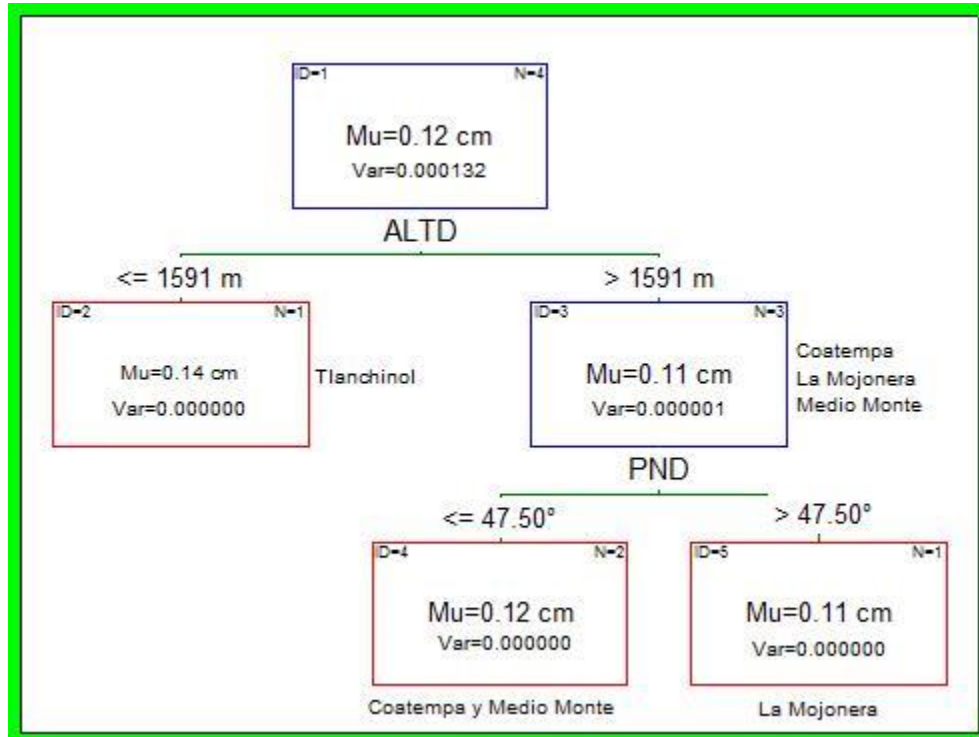


Figura 14. Árbol de regresión del DVM y las variables ambientales analizadas

En las figuras 12 y 13 se observa que las diferencias en las condiciones ambientales están relacionadas con los cambios en los valores del AML y el DVM entre localidades. La localidad de Tlanchinol presenta condiciones ambientales diferentes de las otras tres localidades, por lo que los valores de ambas características morfológicas de la hoja contrastan con los estimados en las otras localidades.

Variación morfológica floral con respecto a variables ambientales

El árbol de regresión indica que las variables ambientales latitud (LTD) y temperatura media (TPM) están relacionadas con el aumento o disminución en el diámetro del pedúnculo (DPD). En latitudes mayores de 20.84° (Tlanchinol), el DPD, es más grande, mientras que a latitudes menores tiende a ser menor (Coatempa, La Mojonera y Medio Monte). La variable TPM también está asociada con el diámetro del pedúnculo de las flores: cuando es de menos de 18.41°C (La Mojonera) el DPD es pequeño y cuando es mayor de dicho valor (Coatempa y Medio Monte), el DPD incrementa (Figura 15).

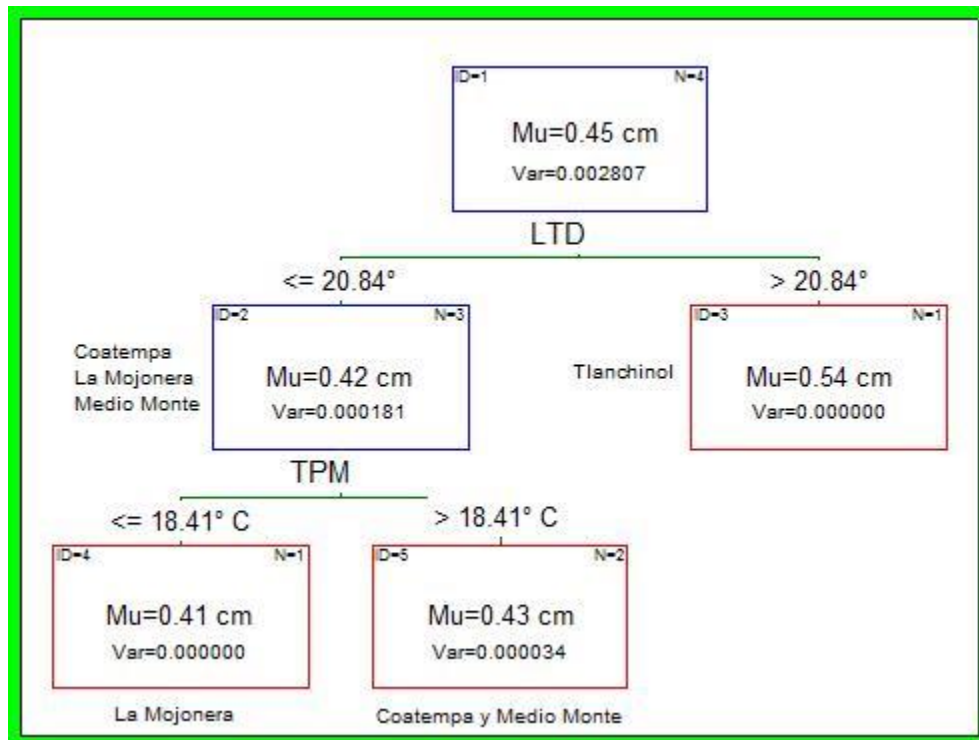


Figura 15. Árbol de regresión del DPD y las variables ambientales analizadas

Variación anatómica de la madera respecto a las variables ambientales

En el árbol de regresión se observa que la altitud (ALTD) y la pendiente del terreno (PND), fueron las variables ambientales más relacionadas con la variación en la densidad de radios (DDRD). En altitudes superiores a 1591 m la DDRD por milímetro cuadrado es baja (Coatempa, La Mojonera y Medio Monte) y en altitudes menores la densidad es más alta (Tlanchinol). Lo mismo ocurre con la PND, cuando es mayor a 47.5° (La Mojonera), el DDRD por milímetro cuadrado es pequeño; y cuando la pendiente es menor o igual a 47.5° la DDRD incrementa, como en Coatempa y Medio Monte (Figura 16).

Las variables ambientales que mejor explican la variación del grosor de la pared de las fibras (GPFB) de la madera fueron la temperatura media (TPM) y la

latitud (LTD). De acuerdo con los resultados del árbol de regresión. En temperaturas promedio iguales o inferiores a 15.76° C, el GPFB es elevado (La Mojonera) y cuando la temperatura es superior a dicho valor (Coatempa, Medio Monte y Tlanchinol), el GPFB es menor. Con respecto a la latitud se observó un resultado similar: en latitudes mayores de 20.55° (Coatempa y Tlanchinol) el GPFB fue pequeño, mientras que en LTD menores (Medio Monte) se incrementó (Figura 17).

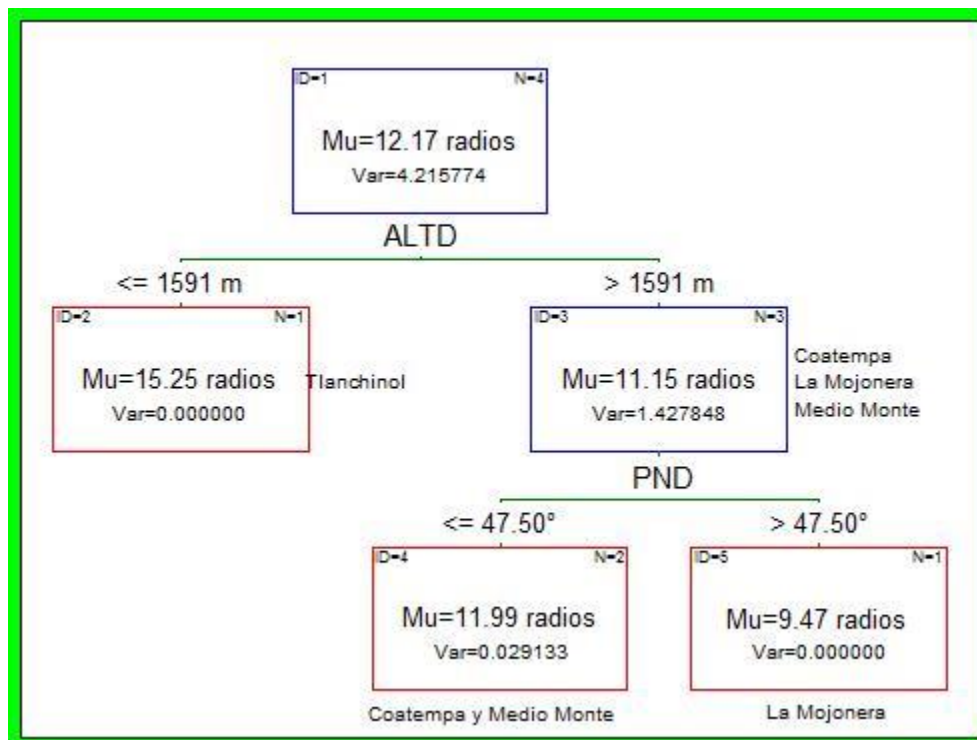


Figura 16. Árbol de regresión de DDRD y las variables ambientales analizadas

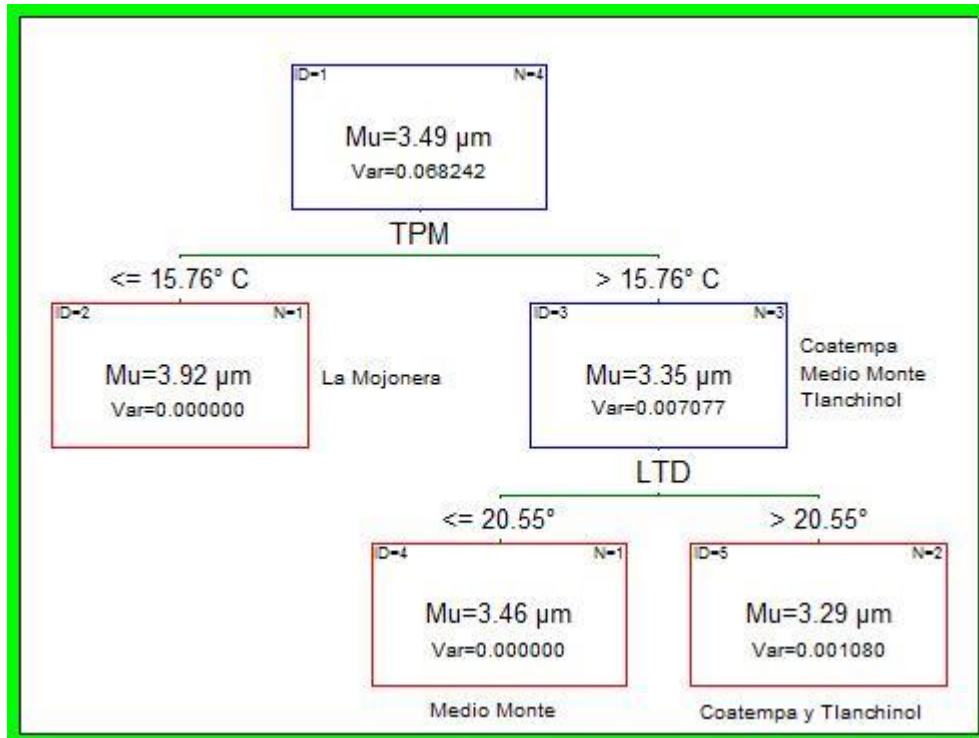


Figura 17. Árbol de regresión de GPFB y las variables ambientales analizadas

5.2.6 Relación entre las matrices de distancia de anatomía de la madera, morfología foliar y floral y de factores ambientales

De acuerdo con los valores de los coeficientes de correlación (Spearman) obtenidos, sólo se encontró asociación estadísticamente significativa ($P \leq 0.01$) entre la matriz de distancia de la morfología foliar y la matriz de distancia de los factores ambientales (Cuadro 20).

Cuadro 20. Coeficientes de correlación de Spearman entre de las matrices de distancias anatómicas, morfológicas y ambientales (**P≤0.01). Significado de las abreviaturas: distancia Euclideana (dE), distancia geográfica (Dg), distancia de Mahalanobis (dm)

	D _g	d _m . foliar	d _m . floral	d _m . madera
dE. Ambiental	0.54	1.0**	0.60	-0.08
D _g	-	0.54	-0.31	-0.42
d _m . foliar		-	0.60	-0.08
d _m . floral			-	0.48

5.3 Distribución actual y potencial de *Magnolia schiedeana*

5.3.1 Actual

De acuerdo con los registros obtenidos a partir de la revisión de los herbarios, referencias bibliográficas y exploración en campo, *M. schiedeana* se distribuye en 13 localidades pertenecientes a seis municipios del estado de Hidalgo: Eloxochitlán (Eloxochitlán); San Bartolo Tutotepec (Medio Monte, Tutotepec); Tenango de Doria (Agua Fría, El Cirio, El Damo, Tenango de Doria); Tianguistengo (Coatempa); Tlanchinol (Tlanchinol) y Zacualtipán (El Reparó, La Mojonera y Tlahuelompa) (Alcántara y Luna, 1997, 2001; Luna *et al.*, 1994; Villavicencio-Nieto y Pérez-Escandón, 2006; Ortiz-Quijano *et al.*, 2016; Figura 18) .

5.3.2 Potencial

La capacidad de predicción del modelo en función de los valores de AUC fue excelente ($AUC=0.98 \pm 0.006$), de acuerdo con los valores propuestos por Siles *et al.* (2004) y Torres y Jayat (2010). El mapa de distribución potencial generado indica que es altamente probable que existan poblaciones de *M. schiedeana* en otros municipios de la entidad, lo que incrementaría su área de distribución a un total de 10: Acaxochitlán, Agua Blanca, Eloxochitlán, Lolotla, Molango de Escamilla, San Bartolo Tutotepec, Tenango de Doria, Tianguistengo, Tlanchinol y Zacualtipán (Figura 18).

12 de las 23 variables contempladas en el modelo de distribución potencial inicial contribuyeron de manera significativa en el ajuste del modelo final. La precipitación del trimestre más frío (Bio 19), fue la variable que presentó el mayor porcentaje de contribución en la explicación de la distribución potencial de la

especie, es decir, en la predicción de la presencia de los individuos de *M. schiedeana* (Cuadro 21).

Cuadro 21. Porcentaje de contribución de las variables incluidas en el modelo de distribución potencial de *M. schiedeana*

Variables	Porcentaje de contribución
Bio 19. Precipitación del trimestre más frío	56.2
Bio 8. Temperatura media del trimestre más húmedo	19.1
Bio 7. Rango anual de temperatura	11.1
Bio 1. Temperatura media anual	3.4
Bio 5. Temperatura máxima del mes más cálido	3.2
Bio 18. Precipitación del trimestre más cálido	1.9
Orientación	1.4
Bio 3. Isotermalidad	1.1
Pendiente	1
Índice topográfico	0.8
Modelo digital de elevación	0.7
Bio 15. Estacionalidad de la precipitación	0.2
Valor de AUC	0.98

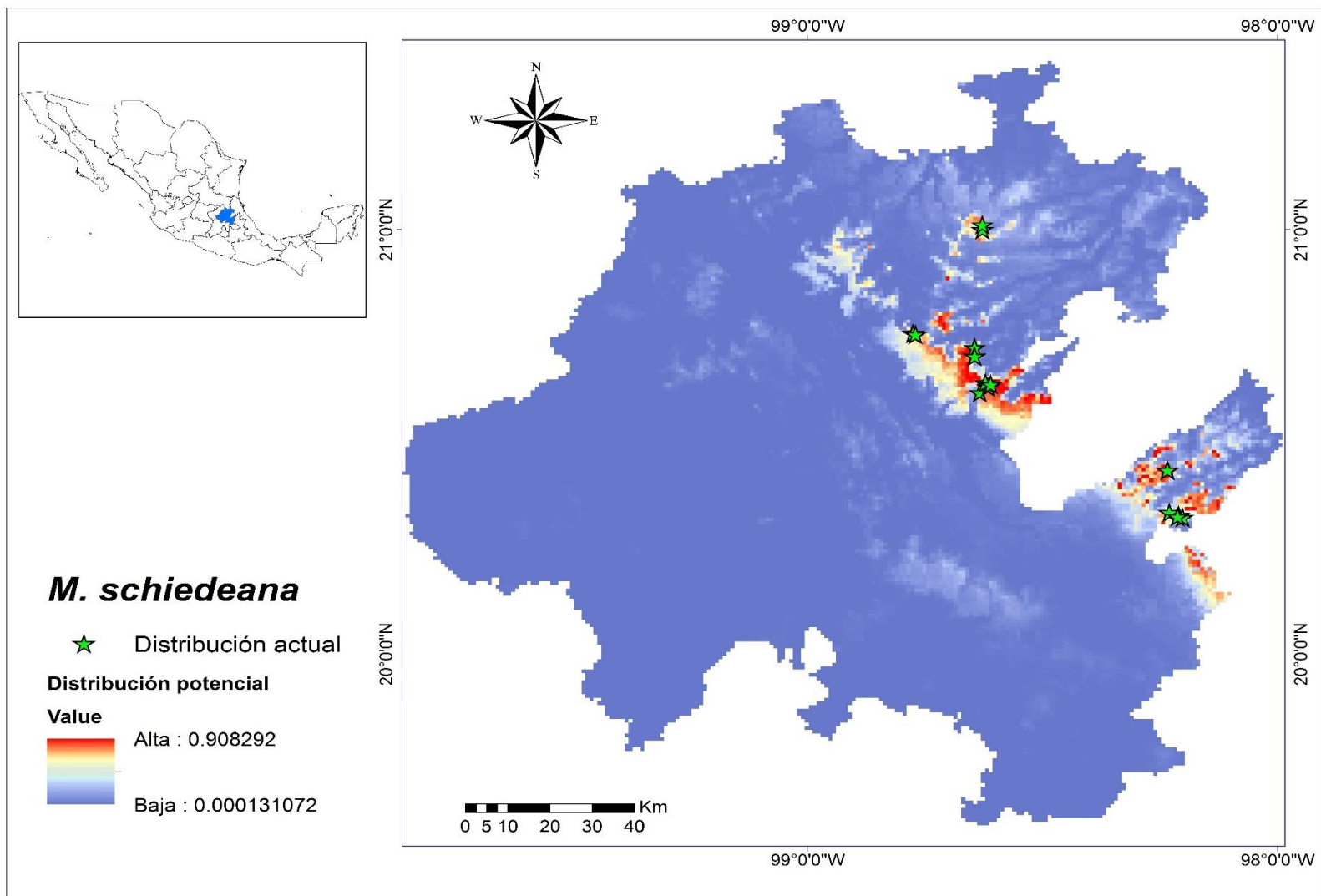


Figura 18. Mapa de distribución actual y potencial de *Magnolia schiedeana*

6. DISCUSIÓN

Los estudios ecológicos a nivel poblacional son una herramienta importante para la implementación de programas de conservación de especies raras y en peligro de extinción (Harvey, 1985). *Magnolia schiedeana* está incluida en la categoría de “amenazada” en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-2010 (SEMARNAT, 2010) y se considera “en peligro de extinción” de acuerdo con la Lista Roja de Magnoliaceae de la Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza, debido a la fragmentación del hábitat como resultado de cambios en el uso del suelo y la expansión del área urbana (Cicuzza *et al.*, 2007; Puig y Bracho, 1987). La destrucción, fragmentación y degradación de hábitats naturales, son la principal causa de la pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Tilman *et al.*, 2001; WWF, 2004), la fragmentación puede afectar directamente la continuidad de un hábitat, la distribución y abundancia de las especies de plantas (Hill y Curran, 2003; Arroyo-Rodríguez y Mandujano, 2006; Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2007; Fahrig, 2003).

Las poblaciones de las distintas especies de *Magnolia* han sido severamente impactadas por el rápido crecimiento poblacional, la subsecuente expansión gradual de la agricultura de montaña a sitios más marginados y a la demanda por madera (Kang y Ejder, 2011). De acuerdo con Muñiz-Castro *et al.* (2015), la destrucción y fragmentación de los relictos del BMM en el occidente de México, ha ocasionado la reducción en el número y tamaño de las poblaciones en *Magnolia pugana*, lo cual coincide con los resultados del presente estudio: la baja densidad de individuos (150 ind/ha) y la menor tasa de regeneración observada en la localidad de Tlanchinol, comparada con las otras localidades analizadas, puede estar relacionada con el alto

grado de disturbio a causa de las actividades humanas (numerosos claros en el bosque de distintos tamaños, destrucción y fragmentación del hábitat) y la fragmentación del hábitat en la mayor parte del municipio de Tlanchinol (Álvarez-Zúñiga *et al.*, 2012).

Las consecuencias ecológicas de los disturbios impactan directamente en el éxito reproductivo de las especies de plantas, reduciendo su desempeño en cuanto a la actividad de los polinizadores, en la deposición del polen y en el conjunto de semillas para la regeneración de las poblaciones (Benítez-Malvido, 1998; Isagi *et al.*, 2007). Además, afectan el comportamiento y las interacciones ecológicas de las plantas con el vector animal (mamíferos, aves e insectos) cuya función es la dispersión de las semillas, así como a los que se encargan de la escarificación de las mismas para una germinación eficaz (hormigas y hongos; Fenner y Thompson, 2005; Grünewald *et al.*, 2010; Herrera y García, 2010; Levey *et al.*, 2005; Pellissier *et al.*, 2012; Vásquez-Morales y Sánchez-Velásquez, 2011).

En el bosque mesófilo del municipio de Tlanchinol, la destrucción del hábitat y por ende, la apertura de grandes claros en el dosel, podrían ser la causa principal de la baja densidad de algunas especies de plantas como *M. schiedeana*, que es tolerante a la sombra y se distingue por su tasa baja de germinación, latencia, producción de semillas y flores. Por otro lado, el disturbio podría estar favoreciendo el surgimiento de especies pioneras o de sucesión temprana, con crecimiento rápido y alta capacidad de colonización, como algunas especies de Melastomatacea, que se caracterizan por ser organismos que tienen alta producción de semillas, eficiente dispersión de propágulos y altas tasas de germinación (Albuquerque *et al.*, 2013; Dieringer y Espinosa, 1994; Vásquez-Morales y Sánchez-Velásquez, 2011).

El predominio de individuos de talla grande (en altura y diámetro) en *M. schiedeana*, indica que esta población es regresiva o se encuentra en declinación (Agurauja *et al.*, 2008). Su baja tasa de regeneración indica que tiene menor capacidad competitiva que otras especies típicas de la sucesión temprana en el BMM de Tlanchinol. La menor cobertura del dosel y la abundancia de malezas (competencia inter-específica) después de un disturbio afectan también la estructura poblacional en otras especies del género, como *Magnolia macrophylla* (Tompkins, 2004).

De acuerdo con Vázquez-García *et al.* (2012), las poblaciones de *M. schiedeana* requieren, para establecerse, de las condiciones ambientales que prevalecen en los bosques maduros. En algunos estudios se ha observado que la distribución de *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana* coincide con la de algunas especies de *Magnolia* (Ortiz-Quijano *et al.*, 2016; Peters y Platt, 1996; Tompkins, 2004; Vázquez-Morales y Sánchez-Velásquez, 2011), entre las que destaca *M. schiedeana*. Los bosques de haya de mayor extensión territorial del estado de Hidalgo, cuyo dosel está dominado por *Fagus*, se caracterizan por encontrarse en una fase de sucesión tardía o madura (Busby *et al.*, 2008; Lorimer, 1980; Williams-Linera *et al.*, 2000), lo que es al parecer benéfico para *M. schiedeana*, de acuerdo con su elevada densidad dentro de éste tipo de asociación vegetal.

Las poblaciones de *M. schiedeana* del estado de Hidalgo que se desarrollan en los bosques de haya, son hasta el momento las de mayor densidad en México, resalta la localidad de La Mojonera que alberga alrededor de 544 individuos/ha. En el presente estudio, se encontró una alta densidad de árboles de *M. schiedeana* en

Coatempa (325 ind/ha), La Mojonera (544 ind/ha) y Medio Monte (319 ind/ha), localidades con bosque maduro de haya, con una elevada cobertura del dosel y escaso grado de perturbación (Ortiz-Quijano *et al.*, 2015, 2016); los individuos de talla grande ocupan el estrato medio en el dosel del bosque, por lo que crecen a la sombra de árboles de encino y de haya, principalmente. Un resultado semejante se observó en *Magnolia macrophylla*, es decir, una alta densidad de individuos jóvenes y un número escaso de árboles de diámetro grande bajo el dosel del bosque haya (*Fagus grandifolia*), con respecto a otras asociaciones vegetales en Estados Unidos de América. Estos resultados sugieren que las especies de *Magnolia* son aptas para establecerse bajo el dosel de los bosques de haya maduros porque son altamente tolerantes a la sombra, aunque es probable que su crecimiento pueda verse seriamente limitado si las condiciones bajo el dosel permanecen sin cambios durante periodos largos de tiempo (Dieringer y Espinosa, 1994; Doyle, 1989; Tompkins, 2004).

En un estudio reciente Vásquez-Morales *et al.* (2015) compararon la estructura poblacional de *M. schiedeana* en dos sitios contrastantes con BMM, uno con disturbio escaso y otro con disturbio elevado. A diferencia de los resultados obtenidos en la presente investigación, ellos no encontraron cambios apreciables en la densidad de individuos, pero si en la estructura de tamaños.

La estructura de diámetros y altura de las poblaciones de *M. schiedeana* fue similar en las localidades de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte (en forma de “J” invertida), por lo que se pueden considerar como “dinámicas”, y se desarrollan en condiciones de baja perturbación. El mismo patrón, poblacional, en forma de “J”

invertida, se ha encontrado en *Magnolia dealbata* (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 2006, 2010), *M. splendens* (Weaver, 1997), *M. macropylla* (Doyle, 1989), *M. sharpii* (Ramírez-Marcial *et al.*, 2001) y *M. obovata* (Hoshino *et al.*, 2002), cuando se desarrollan en condiciones ambientales homogéneas.

La formación de claros en los bosques juega un papel crucial en el crecimiento vertical de las plantas, estimula su regeneración y es la única opción para que las especies de árboles juveniles alcancen el dosel (Takahashi *et al.*, 2002; Poorter *et al.*, 2005). La escasa cobertura del dosel en el BMM de la localidad de Tlanchinol, puede estar relacionada con la estructura de diámetros y alturas observada en la población de *M. schiedeana*, que difirió marcadamente de las otras tres localidades y se clasificó como una población regresiva, conformada principalmente por individuos de talla grande.

Es probable que los individuos de *M. schiedeana* de la localidad de Tlanchinol sean una población remanente; su baja densidad y escasa regeneración podría ser resultado de la competencia asimétrica por la luz, de la distribución poco uniforme de otros recursos (Cole y Ewel, 2006; Delgado *et al.*, 2005; Gratani y Crescente, 1997; Dorn *et al.*, 2000) y/o de condiciones ambientales desfavorables (Ough y Murphy, 2004) a causa de los disturbios antropogénicos. Los factores antes mencionados podrían constituir una barrera para la recuperación natural de la especie, como ha ocurrido con *Magnolia sargentiana* y *M. sinica* (Wang *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2016).

Las plantas han sido objeto de un gran número de estudios morfológicos y anatómicos, con el fin de conocer su grado de variación intra e interespecifica y de

entender sus relaciones filogenéticas (Kaplan, 2001; Schönenberger y Von Balthazar, 2012).

En el presente trabajo, se encontró que las características morfológicas cualitativas y cuantitativas de *M. schiedeana* tales como color, textura y forma de la hoja, pétalos externos, largo del peciolo, diámetro del pedúnculo y el largo del eje floral; concuerdan con descripciones previas (Dieringer y Espinosa, 1994; Hernández-Cerda, 1980; Hiroshi *et al.*, 1999; Jiménez-Ramírez *et al.*, 2007; Vásquez-Morales, 2015). Sin embargo, varios caracteres difirieron marcadamente de los valores que mencionan los autores antes citados, tanto de la hoja (ancho y largo de la lámina) como de la flor (largo del pedúnculo, largo de los pétalos internos, largo de los estambres y número de carpelos). Las diferencias morfológicas entre los estudios antes mencionados con respecto al presente, pueden estar relacionadas con variaciones en las condiciones ambientales, o bien, con cuestiones técnicas o de la representatividad de los individuos analizados en cada estudio. Otros caracteres como el diámetro del peciolo y diámetro de la vena media de la hoja; número de estambres y largo de los carpelos de la flor, no se habían evaluado anteriormente, por lo que representan una aportación del presente estudio.

El clima determina la distribución de las especies, éste varía a lo largo de gradientes altitudinales (Cavieres y Piper, 2004). La radiación, temperatura del aire y del suelo, aunado al déficit hídrico, son factores que inducen a variaciones morfo-anatómicas en las plantas (Molina-Montenegro, 2008; Molina-Montenegro y Cavieres, 2010). La plasticidad fenotípica es un término general que cubre todos los tipos de variación fenotípica (Stearns, 1989), se le define como la variación o la

capacidad que posee un genotipo particular de expresar diferentes fenotipos, mediante la alteración de su morfología y fisiología, frente a la variación ambiental (Pigliucci, 2001; González y Gianoli, 2004; Freeman y Herron, 2007) como respuesta a las presiones de selección (Gratani, 2014).

Los análisis multivariados y de varianza utilizados en la morfología de la hoja y la flor de *M. schiedeana*, indican una disyunción evidente de la población de la localidad de Tlanchinol, con respecto a las demás localidades consideradas en el presente trabajo. Los resultados del análisis discriminante muestran que algunos atributos tanto de la hoja (ancho máximo de la lámina y diámetro de la vena media), como de la flor (diámetro del pedúnculo y longitud del eje floral) difieren entre localidades. En el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas en los mismos caracteres morfológicos foliares; lo que podría estar asociado con cambios importantes en las condiciones ambientales (por ejemplo, en altitud, temperatura y humedad) entre las localidades estudiadas. En estudios previos, realizados con encinos (*Quercus* sp.) se ha encontrado una alta variabilidad morfológica foliar en características similares (Zúñiga *et al.*, 2009). Con respecto a la flor, el único carácter que presentó diferencias significativas en el análisis de varianza fue el diámetro del pedúnculo, lo que podría estar relacionado positivamente con la altitud, pero éste tipo de respuesta todavía no ha sido documentada en otras investigaciones.

La relación entre altitud (o temperatura) y reducción en el área foliar es bien conocida, se le considera como una adaptación a los cambios en las condiciones ambientales: la alteración en la disponibilidad hídrica limita la tasa fotosintética y por

tanto el crecimiento de las plantas, esto debido a que en las zonas de alta-montaña la radiación es más elevada y la temperatura es baja (Halloy y Mark, 1996; Lawlor y Cornic, 2002; Lawlor y Tezara, 2009; Molina-Montenegro y Cavieres, 2010; Passioura, 1994), ambos factores podrían estar influyendo en la reducción del AML y probablemente también en el DPD floral en los individuos de las localidades de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte.

Es bien conocido que las plantas responden frente a la variabilidad en disponibilidad de recursos como luz, dióxido de carbono, agua y nutrimentos, con la asignación de biomasa hacia el órgano involucrado en la captura del recurso deficiente (v. gr. plasticidad foliar), maximizando así la tasa de crecimiento (Bloom *et al.*, 1985; Dewar, 1993), pero las diferencias climáticas entre localidades son sutiles, por lo que es probable que otros factores a nivel local, o una combinación de ellos, estén desempeñando un papel relevante en la explicación de los cambios en el AML y el DPD en la localidad de Tlanchinol. La amplia variación en algunas de las características morfológicas analizadas indican “a priori”, que esta población podría ser propuesta o considerada como una variedad o incluso como una subespecie de *M. schiedeana*.

El DVM es un componente importante de la hoja, pues representa la continuación de la estructura vascular del tallo, por lo que puede influir en la determinación del balance hídrico de la planta, en el intercambio gaseoso y en el soporte de la hoja (Bidwell, 1979). Por ende, la variación en el tamaño de éste carácter entre las poblaciones estudiadas, podría ser un indicio de diferencias importantes en las condiciones ambientales de cada localidad, como se ha

propuesto en algunas especies de árboles, como *Quercus laeta* (Zúñiga *et al.*, 2009).

Las hojas representan uno de los órganos vegetativos que mejor responden a las fluctuaciones climáticas, poseen características morfológicas eficaces para realizar la fotosíntesis de acuerdo con el ambiente en que se desarrollan (Nobel *et al.*, 1986; Spicer, 1981; Wing y Sues, 1992). La variación en la morfología foliar es una respuesta de las plantas para contrarrestar los cambios en factores tales como la altitud (temperatura, humedad) a escala regional; o a la disponibilidad de agua, pH, conductividad, salinidad, entre otros, a escala local (Zhongqiang, 2009; Hernández-Nicolás *et al.*, 2016).

En cuanto a la variación en las características morfológicas de la flor, tradicionalmente se ha considerado que tienden a permanecer relativamente constantes, debido a que fluctuaciones morfológicas fuertes pueden limitar la función reproductiva (Berg, 1960; Brock y Weinig, 2007). A pesar de ello, se han encontrado numerosos casos de variación floral entre poblaciones de diferentes especies de distintas familias (Baghalian *et al.*, 2010; Cresswell, 1998; Kang y Ejder, 2011; Schlumpberger *et al.*, 2009; Hernández-Nicolás *et al.*, 2016). En el caso particular de las magnolias, Yang *et al.* (2015) encontraron que la diferenciación fenotípica floral fue mayor que la foliar en dos poblaciones de *Magnolia sprengeri* en China, por lo que concluyen que los órganos vegetativos (hojas) fueron más estables que los reproductivos (florales). La variación en la morfología floral entre las localidades analizadas en el presente estudio, refuerza la hipótesis de que la población de *M. schiedeana* de Tlanchinol podría ser considerada como una variedad o una subespecie.

La madera de *M. schiedeana*, presenta anillos de crecimiento definidos por parénquima marginal, porosidad difusa, distribución de los vasos (hileras radiales cortas, solitarios y grupos), placas de perforación escalariformes, punteaduras intervasculares escalariformes y células de aceite en los radios como se describe en trabajos previos con la especie (Aguilar-Alcántara *et al.* 2014). Los atributos antes mencionados también se encuentran presentes en otras especies de *Magnolia* (Chen *et al.*, 1993; Wróblewska, 2015). *M. schiedeana* posee elementos de vaso con engrosamientos helicoidales, esto coincide con lo observado por Chen *et al.* (1993), quienes señalan que las especies perennes de *Magnolia* muestran diferentes grados de engrosamientos helicoidales y células de aceite. Dickison (2000) menciona que los engrosamientos helicoidales en los elementos de vaso son característicos de las especies leñosas de clima templado o hábito de montaña. La presencia de engrosamientos helicoidales y las placas de perforación escalariforme son considerados atributos de la madera de especies primitivas que son recurrentes en las especies del BMM de México (Aguilar-Rodríguez y Barajas, 2005). Hasta el momento sólo se había abordado la parte descriptiva de la madera en *M. schiedeana*, por lo que el presente estudio representa una contribución al entendimiento de la variación de los atributos de la madera con respecto a las condiciones ambientales en las que se distribuye la especie.

Las características anatómicas de la madera, difieren entre localidades y no concuerdan con la variación morfológica de la hoja y de la flor detectadas; los individuos de *M. schiedeana* de la localidad de La Mojonera presentaron valores diferentes a los observados en las otras poblaciones. El grosor de la pared de las

fibras y la densidad de radios fueron los caracteres más divergentes y la variación se asoció con cambios en la temperatura, altitud y latitud entre localidades. El patrón de disminución en la longitud y diámetro de fibras conforme se incrementa la altitud se ha detectado también en *Quercus obtusata* (Chávez-Romero *et al.*, 2010).

El estudio de la variación en las características anatómicas de la madera en distintas familias de plantas indica también que existe correlación entre altitud, latitud y algunos caracteres del xilema secundario (Chalk, 1983; Noshiro y Baas, 2000). En algunas especies de plantas leñosas es común encontrar que la longitud de las fibras disminuye a mayor latitud (Baas, 1973; Noshiro y Baas, 1998; Van der Graaff y Baas, 1974), lo que se compensa con el aumento en el grosor de la pared de la fibra (Arias y Terrazas, 2001). En este sentido, la latitud se correlaciona de manera positiva con el grosor de la pared de la fibra (GPFB). Sin embargo, el patrón observado en *M. schiedeana* fue inverso, ya que en las localidades que se encuentran en altitudes mayores (Coatempa y Tlanchinol) el GPFB fue menor, tal como ocurre en algunas especies de Symplocaceae (Van den Oever *et al.*, 1981).

Los radios xilemáticos participan en el movimiento del agua como tejido radial de almacenamiento y presentan cambios a través de gradientes de altitud (Arias y Terrazas, 2001). La técnica de árboles de regresión indica que la DDRD en *M. schiedeana* es afectada principalmente por la altitud, por lo que, en las localidades de menor altitud, la frecuencia tiende a incrementar, como en Tlanchinol. En otras investigaciones se ha observado que la edad también influye en la variación anatómica del leño de los árboles. En algunas especies se ha detectado que la frecuencia de radios tiende a aumentar con la edad (Bonavía de Guth y Ragonese

1980; Matyás y Peszlen 1997; DeBell *et al.* 2002), como podría estar ocurriendo en Tlanchinol. Sin embargo, no todas las especies tienen el mismo comportamiento, pues se ha encontrado que en algunas la frecuencia de radios tiende a disminuir o mantenerse constante con la edad (Moya *et al.*, 2009), como producto de una baja concentración de auxinas (reguladoras de la división celular del cambium) la cual decrece al aumentar la edad y produce una baja frecuencia de radios (Alone y Zimmermann, 1983). Es importante que en futuras investigaciones se tome en cuenta la edad de los árboles, para poder aceptar o refutar la teoría de que en Tlanchinol se albergan individuos de mayor edad con respecto a los de las otras tres poblaciones.

Entre los atributos de la madera que no resultaron estadísticamente significativos, pero que muestran ciertas tendencias, están el diámetro y la densidad de los vasos. La población de La Mojonera fue la que presentó los vasos más estrechos y con mayor densidad, en comparación con las demás poblaciones. Es probable que las condiciones climáticas locales, en particular la precipitación esté relacionada con esta variación: en La Mojonera la precipitación pluvial anual es menor de 600 mm y en las otras poblaciones la precipitación total es ≥ 1300 mm. Chen *et al.* (1993), señalan que la variación en la densidad de vasos en las especies de *Magnolia* y *Michelia* que se distribuyen en Asia está relacionada con las condiciones ambientales, el diámetro del tallo y el hábito. La asociación negativa entre diámetro y densidad de vasos, se ha detectado también en especies de las familias Buddlejaceae y Cactaceae (Terrazas y Loza-Cornejo, 2003; Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006).

A pesar de que se reconocen tendencias ecológicas claras en la variación anatómica de la madera, también existe una señal filogenética, por lo que es recomendable evaluar ambas: la variación intra-específica de la madera y las estrategias de adaptación de las especies con respecto a las condiciones ambientales. En general, los caracteres cuantitativos evaluados en *M. schiedeana* indican que existe variación a nivel morfológico (foliar y floral) y en la anatomía de la madera entre poblaciones, lo cual puede estar relacionado con diferencias en las condiciones ambientales locales, dado que cada población se enfrenta a diferentes presiones de selección (Yang *et al.*, 2015), como se ha observado también en las poblaciones de *M. macrophylla*, en donde el micro-hábitat influye en el desarrollo de las especies (Doyle, 1989).

En el presente estudio no se encontró una relación evidente entre la variación anatómica de la madera y la morfológica de la flor, con respecto a la distancia geográfica entre poblaciones. La influencia de las condiciones ambientales sobre la variación en la morfología foliar, calculada a partir de las matrices de distancia fue significativa, lo que podría interpretarse como un resultado de la plasticidad fenotípica de la especie, tal como lo propone Vázquez-García *et al.* (2002) para *Magnolia pugana*; y podría también ser un reflejo de la variación genotípica, como sugieren Kang y Ejder (2011) para las poblaciones de *M. sprengeri*.

La evaluación de la plasticidad es importante por el conocimiento ecológico que aporta y es necesaria para el desarrollo de modelos que permitan predecir la respuesta de las especies frente al cambio climático global (Valladares *et al.*, 2006). Para obtener mayor información sobre la respuesta de *M. schiedeana* a la variación

ambiental, es necesario realizar estudios de mayor duración, a nivel fisiológico, ecológico y genético, con datos a escala local de variables ambientales (microambiente), tales como temperatura, humedad, características edáficas (materia orgánica, micro y macronutrientes, pH, capacidad de intercambio catiónico, entre otros) y topográficas (Newton *et al.*, 2008; Kang y Ejder, 2011; Kawahara y Yoshimaru, 1995; Setsuko, 2007; Takami *et al.*, 2008; Ueno *et al.*, 2005). Es recomendable también incluir en análisis morfológicos futuros, otros caracteres relevantes tales como la forma de la hoja y el diámetro de la flor, empleados para discriminar entre variedades en *Magnolia sprengeri* (Kang y Ejder, 2011).

En algunas investigaciones se ha encontrado que las especies de plantas endémicas, con distribución restringida o con un patrón de distribución semejante a *M. schiedeana*, son capaces de mantener una alta variabilidad genética dentro y entre poblaciones (Newton *et al.*, 2008; Kang y Ejder, 2011; Kawahara y Yoshimaru, 1995; Setsuko, 2007; Takami *et al.*, 2008; Ueno *et al.*, 2005). En el caso particular de *M. schiedeana* se ha estimado que existe un alto grado de diferenciación genética entre poblaciones (Newton *et al.*, 2008), lo cual podría estar relacionado con la variación anatómica y morfológica observada en el presente estudio. Aunado a lo anterior, la fragmentación del hábitat y alto grado de perturbación del BMM debe estar influyendo en la reducción en el tamaño y en el grado de conectividad de las poblaciones locales (Frankham *et al.*, 2002; Mayer *et al.*, 2009; Hernández-Nicolás *et al.*, 2016).

Los modelos predictivos de distribución potencial generados a partir de 19 variables bioclimáticas y cuatro topográficas, muestran que la distribución de *M. schiedeana* dentro del BMM del estado de Hidalgo está condicionada

principalmente por la precipitación del trimestre más frío; lo anterior coincide con otras investigaciones en donde se ha demostrado que variables climáticas y topográficas como la precipitación, temperatura y topografía afectan tanto la selección del hábitat como la tasa de crecimiento y la demografía de las poblaciones (Davies *et al.*, 2007; Green, 2010). Los resultados del presente estudio difieren de los obtenidos por Vásquez-Morales *et al.* (2014), con respecto a las variables que contribuyeron más a la explicación de la distribución de *M. schiedeana*. Es probable que la escala espacial contrastante utilizada en ambos análisis (nacional *versus* estatal), sea la causa de las diferencias encontradas (Naoki *et al.*, 2006), debido a que los modelos de distribución potencial reflejan la idoneidad de presencia de la especie en función de valores locales (Mateo, *et al.*, 2011).

El mapa de distribución potencial obtenido en la presente investigación indica que las poblaciones de *M. schiedeana* mantienen un alto grado de fidelidad al bosque mesófilo de montaña, un tipo de vegetación que se encuentra actualmente sometida a una fuerte presión por las actividades antropogénicas (Jardel-Peláez *et al.*, 2014). Las poblaciones de *M. schiedeana* analizadas son muy pequeñas y se encuentran en sitios poco accesibles (aunque en algunos casos, como en la localidad de Tlanchinol, presentan un elevado grado de perturbación), por lo que si no son capaces de adaptarse a los cambios que están ocurriendo en su hábitat, el BMM, están condenadas a la extinción en el corto plazo (Hernández-Nicolás *et al.*, 2016).

7. CONCLUSIONES

- La estructura de las poblaciones de *Magnolia schiedeana* difirió entre localidades, lo que probablemente se relacione con el grado de disturbio y el tipo de asociación vegetal en el que se desarrollan. En las localidades de Coatempa, La Mojonera y Medio Monte las poblaciones fueron dinámicas y se desarrollan en bosques maduros de haya, que se caracterizan por presentar escaso grado de disturbio, en contraste con la población de Tlanchinol, que es regresiva y se desarrolla en BMM (*Liquidambar-Quercus*), con alto grado de disturbio.
- Los caracteres morfológicos de la hoja y de la flor, y de la anatomía del tallo que presentaron variación como respuesta a la altitud, latitud, temperatura y pendiente, fueron: AML, DVM, DPD, DDRD y GPFB. El alto grado de diferenciación en algunas de las características analizadas, principalmente morfológicas, sugieren que la población de Tlanchinol podría ser considerada como una variedad o incluso como una subespecie de *M. schiedeana*.
- El modelo de distribución potencial indica que las poblaciones de *M. schiedeana* están restringidas al BMM, y que la variable que más contribuye con su patrón de distribución es la precipitación del trimestre más frío. Las poblaciones de *M. schiedeana* analizadas son pequeñas y se encuentran en sitios poco accesibles, sin embargo, algunas se desarrollan en condiciones de elevado grado de disturbio antrópico (v. gr. localidad Tlanchinol), lo que podría ser la causa de su escasa densidad. Si la especie no es capaz de

adaptarse rápidamente a los cambios ambientales que están ocurriendo en su hábitat, podría estar condenada a la extinción en el corto plazo.

8. LITERATURA CITADA

- Acosta, C. 2002. Plantas vasculares raras, amenazadas, o en peligro de extinción del estado de Oaxaca, un panorama preliminar. *Polibotánica* 13: 47-82.
- Aguilar-Alcántara, M., Aguilar-Rodríguez, S. y Terrazas, T. 2014. Anatomía de la madera de doce especies de un bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas, México. *Madera y Bosques* 20(3): 69-86.
- Aguilar-Rodríguez, S. y Barajas-Morales, J. 2005. Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 77:51-58.
- Aguilar-Rodríguez, S. Terrazas, T. y López-Mata, L. 2006. Anatomical wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in México. *Trees* 20:253-261
- Aguraujuja, R., Zobel, M., Zobel, K. y Moora, M. 2008. Conservation of the endemic fern lineage *Diellia* (Aspleniaceae) on the Hawaiian Islands: can population structure indicate regional dynamics and endangering factors?. *Folia Geobotanica* 43:3-18.
- Albuquerque, L.B., Aquino, F.G., Costa, L.C., Miranda, Z.J.G. y Sousa, S.R. 2013. Espécies de Melastomataceae Juss. com potencial para restauração ecológica em área em regeneração natural para uso potencial na restauração ecológica de mata ripária no bioma Cerrado. *Polibotánica* 35: 1-19.
- Alcántara, O. y Luna 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* 68(2): 57-106.

- Alcántara, O. y Luna I. 2001. Análisis florístico de dos áreas con bosque mesófilo de montaña del estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa. *Acta Botánica Mexicana* 54: 51-87.
- Alone, R. y Zimmermann, M. 1983. The control of vessel size and density along the planta axis-A new hypothesis. *Differentiation* 24: 203-208.
- Álvarez, Z.E., Sánchez-González, A., López-Mata, L. y Tejero-Díez, J.D. 2012. Composición y abundancia de las pteridofitas en el bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 90 (2): 163-177.
- Anderson, R. P., Peterson, A. T. y Gómez-Laverde, M. 2002. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos* 98:3-6.
- Arias, S. y Terrazas, T. 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). *Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.* 72: 157-169.
- Arroyo-Rodríguez, V. y Mandujano, S. 2006. The importance of tropical rain forest fragments to the conservation of plant species diversity in Los Tuxtlas, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 4159–4179.
- Arroyo-Rodríguez, V., Aguirre, A., Benítez-Malvido, J. y Mandujano, S. 2007. Impact of rain forest fragmentation on the population size of a structurally important palm species: *Astrocaryum mexicanum* at Los Tuxtlas. *Biological Conservation* 138: 198–206.

- Baas, P. 1973. The wood anatomical range in *Ilex* (Aquifoliaceae) and its ecological and phylogenetic significance. *Blumea* 21: 193-258.
- Baghalian, K., Shabani-Sheshtam, M. y Jamshidi, A. H. 2010. Genetic variation and heritability of agro-morphological and phytochemical traits in Irian saffron (*Crocus sativus* L.) populations. *Industrial Crops and Products* 31: 401-406.
- Baldwin, R. A. 2009. Use of Maximun Entropy Modeling in wildlife research. *Entropy* 11: 854-866.
- Benítez-Malvido, J. 1998. Impact of forest fragmentation on seedling abundance in a tropical rain forest. *Conservation Biology* 12: 380–389.
- Berg, R.L. 1960. The ecological significance of correlation pleiades. *Evolution* 14: 171–180.
- Berlyn, G.P. y Miksche, J.P. 1976. Botanical microtechnique and cytochemistry. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, 326 p.
- Bidwell, R. G. S. 1979. Fisiología Vegetal. Primera edición. A.G.T. Editor. México, D. F., 784 pp.
- Bloom, A.J., Chapin, F.S. y Mooney, H.A. 1985. Resource limitation in plants-an economic analogy. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 363-392.
- Bonavía de Guth, E. y Ragonese, A. 1980. Evaluación de las características del leño en relación a la calidad del papel de algunos híbridos de sauces obtenidos en Castelar (INTA). *IDIA (393-394)*: 25-30.
- Box, G. E. P. y Cox, D. R. 1964. An analysis transformation. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 26: 211-252.

- Brock, M. y Weinig, C. 2007. Plasticity and environment-specific covariances: an investigation of floral-vegetative and within flower correlations. *Evolution* 61: 2913–2924.
- Busby, P. E., Motzkin G. y Foster D. R. 2008. Multiple and interacting disturbances lead to *Fagus grandifolia* dominance in coastal New England. *Journal of the Torrey Botanical Society* 135: 346-359.
- Canavos, G. C. 1988. Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F, 592 pp.
- Canright, J. E. 1952. The comparative morphology and relationships of the Magnoliaceae I. Trends of specialization in the stamens. *American Journal Botany* 39: 484–497.
- Cavieres, A. L. y Piper, L.F. 2004. Determinantes ecofisiológicos del límite altitudinal de los árboles. En: Cabrera H. M. Ed. *Fisiología Ecológica en Plantas. Mecanismos y respuestas a estrés en los ecosistemas*, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, p. 221-234
- Chalk, K. 1983. The effects of ecological conditions on wood anatomy. En: Metcalfe, C.R. y Chalk, L. (eds.) *Anatomy of the dicotyledons*, volumen 2. Oxford University Press, Oxford.
- Chávez-Romero, D. M., Aguilar-Rodríguez, S. y Terrazas, T. 2010. Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). *Madera y Bosques* 16(2): 69-87.
- Chen, B. L. y Nooteboom, H. P. 1993. Notes on Magnoliaceae III: the Magnoliaceae of China. *Annals of Missouri Botanical Garden* 80: 999-1104.

- Chen, B. L., Baas, P., Wheeler, A. E. y Shuming, W. 1993. Wood anatomy of trees and shrubs from China. VI. Magnoliaceae. IAWA Journal 14(4):391-412
- Cicuzza, D., Newton, A. y Oldfield, S. 2007. The red list of magnoliaceae, Botanic Gardens Conservation International (BGCI) and Fauna and Flora International (FFI), p. 22, 52.
- Cole, T. G. y Ewel, J. J. 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species Forest Ecology and Management 229: 351-360.
- Cresswell, J. 1998. Stabilizing selection and the structural variability of flowers within species. Annals of Botany 81: 463-473.
- Davies, R. G., Orme, C. D. L., Storch, D., Olson, V. A., Thomas, G. H., Ross, S. G., Ding, T. S., Rasmussen, P. C., Bennett, P. M., Owens, I. P. F., Blackburn, T. M. & Gaston, K. J. 2007. Topography, energy and the global distribution of bird species richness. Proceedings of the Royal Society B 274: 1189-1197.
- DeBell, D.S., Singleton, R., Harrington, C.A. y Gartner, B.L. 2002. Wood density and fiber length in young Populus stem: relation to clone, age, growth rate, and pruning. Wood and Fiber Science 34: 529-539.
- De Luna, E. y Gómez-Velasco, G. 2008. Morphometrics and the Identification of *Braunia andrieuxii* and *B. secunda* (Hedwigiaceae, Bryopsida). Systematic Botany 33: 219-228.
- Delgado, A. L., Acevedo, F. M., Castellanos, H., Ramírez, H. y Serrano J. 2005. Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. Interciencia 30:275-283.
- Dewar, R.C. 1993. A root: shoot partitioning model based on carbon-nitrogen-water

- interactions and Münch phloem flow. *Functional Ecology* 7: 356-368.
- Dieringer, G. y Espinosa, E. 1994. Reproductive ecology of *Magnolia schiedeana* (Magnoliaceae), a threatened cloud forest tree species in Veracruz, Mexico. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 121(2): 154-159.
- Dickison, C. W. 2000. Integrative plant anatomy. Academic Press. San Diego, California. 533 pp.
- Dorn, L. A., Pyle, E. H. y Schmitt, J. 2000. Plasticity to light cues and resources in *Arabidopsis thaliana*: testing for adaptive value and costs. *Evolution* 54(6): 1982–1994.
- Doyle, A. M. 1989. *Magnolia macrophylla*: population structure reproductive strategies and the disturbance regime of Mill Creek Forest. Bachelor Thesis, Tulane University, Louisiana, USA.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M. Chee Y.E. y Yates C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- ESRI. 2002. ArcView 3.3. ESRI (Environmental Scientific Research Institute). Redlands, California, USA.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34: 487–515.
- Fenner, M. y Thompson, K. 2005. *The Ecology of Seeds*. Cambridge University Press.
- 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.

- Frankham, R., Ballou, J. D. y Briscoe, D.A. 2002. Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Freeman, S. y Herron, J. C. 2007. Evolutionary Analysis. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Godínez-Álvarez H., Jiménez M., Mendoza M., Pérez F., Roldán P., Ríos-Casanova L. y Lira R. 2008. Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 393-403.
- González, A.V. y Gianoli, E. 2004. Morphological plasticity in response to shading in three *Convolvulus* species of different ecological breadth. *Acta Oecologica* 26: 185-190.
- Graham, C. H., S. Ferrier, F. Huettman, C. Moritz y A. T. Peterson. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 497-503.
- Gratani, L. 2014. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances in Botany* 2014:1–17.
- Gratani, L. y Crescente, M.F. 1997. Phenology and leaf adaptative strategies of Mediterranean maquis plants. *Ecological Modelling* 23: 11-19,
- Green, R. 2010. An overview of the effects of climate change on birds. BOU Proceedings – Climate Change and Birds. <http://www.bou.org.uk/bouproc-net/ccb/green.pdf> Fecha de consulta: 20-0816.
- Gual-Díaz, M. y Rendón-Correa, A. 2014. Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Mexico. 352 pp.

- Grünwald, C., Breitbach, N. y Böhning-Gaese, K. 2010. Tree visitation and seed dispersal of wild cherries by terrestrial mammals along a human landuse gradient. *Basic and Applied Ecology* 11: 532–541.
- Guisan, A. y Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Guisan, A. y Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Guo, Q., Taper, M., Schoenberger, M., Brandle, J. 2005. Spatial-temporal population dynamics across species range: from center to margin. *Oikos* 108: 47–57.
- Gutiérrez, L. 1993. Estudio biológico de una especie forestal endémica (*Magnolia dealbata* Zucc.). Tesis de maestría en ciencias, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- Halloy, S. R. P. y Mark, A. F. 1996. Comparative leaf morphology spectra of plant communities in New Zealand, the Andes and the European Alps. *Journal of the Royal Society of New Zealand* 26:41-78.
- Hanski, I. y Simberloff, D. 1997. The metapopulation approach, its history, conceptual domain, and application to conservation. En: Hanski, I., Gilpin, M. E. Eds. *Metapopulation biology*, Academic Press, San Diego, p. 5-26.
- Hardin, J. W. 1954. An analysis of variation within *Magnolia acuminata* L. *Journal of The Elisha Mitchell Scientific Society* 70: 298-312.
- Harvey, H.J. 1985. Population biology and the conservation of rare species. *Studies on Plant Demography* (ed. J. White), Academic Press, London, p. 111-123.

- He, J., Chen, L., Si, Y., Huang, B., Ban, X. y Wang, Y. 2009. Population structure and genetic diversity in wild and cultivated populations of the traditional Chinese medicinal plant *Magnolia officinalis* subsp. *biloba* (Magnoliaceae). *Genetica* 135: 233-243.
- Herendeen, P.S y Miller, R.B. 2000. Utility of wood anatomical characters in cladistical analyses. *IAWA Journal* 21(3): 247-276.
- Hernández-Nicolás, N.Y., Córdova-Téllez, L., Luna-Cavazos, M. Romero-Manzanares, A., Jiménez-Ramírez, J. 2016. Morphological variation related with environmental factors in endemic and threatened *Jatropha* species of Tehuacan-Cuicatlan, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*: 1-12. doi:10.1007/s10722-016-0383-2
- Herrera, J.M. y García, D. 2010. Effects of forest fragmentation on seed rain and seedling establishment in *ornithochorous* plants. *Conservation Biology* 24: 1089–1098.
- Hill, J.L. y Curran, P.J. 2003. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation. *Journal of Biogeography* 30: 1391–1403.
- Hiroshi, A., Leonard, B.T. y Shoichi, K. 1999. Floral Scents, Leaf Volatiles and Thermogenic Flowers in Magnoliáceae. *Plant Species Biology* 14: 121-127.
- Hernández-Cerda, M. E. 1980. Magnoliaceae. En: *Flora de Veracruz*, Fascículo 14. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Veracruz, p. 1-2.

- Hoshino, D., Nishimura, N. y Yamamoto, S. 2002. Dynamics of major conifer and deciduous broad-leaved tree species in an old-growth *Chamaecyparis obtusa* forest, central Japan. *Forest Ecology and Management* 159: 133-144.
- IAWA (International Associations of the Wood Anatomists) Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* n.s. 10: 219-332.
- IBM SPSS Inc. 1989. SYSTAT Version, 20.0.0 for Windows [cd-rom].
- Isagi, Y., Tateno, R., Matsuki, Y., Hirao, A., Watanabe, S. y Shibata, M. 2007. Genetic and reproductive consequences of forest fragmentation for populations of *Magnolia obovata*. *Ecological Research* 22: 382-389.
- IUCN. 2014. The IUCN Red List of Threatened Species, versión 2014-2. <http://www.iucnredlist.org/details/30758/0> Fecha de consulta: 07-11-14.
- Iverson, L. R. y Prasad, A.M. 1998. Predicting abundance of 80 trees species following climate change in the Eastern United States. *Ecological Monographs* 68(4): 465-485.
- Jardel-Peláez, J.E., Cuevas-Guzmán, R., Santiago-Pérez, A.L. y Rodríguez-Gómez, J.M. 2014. Ecología y manejo de los bosques mesófilos de montaña en México. En: Gual-Díaz M. y Rendón-Correa A. Comp. Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo, pp. 141-187. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F.
- Jiménez-Ramírez, J., Vega-Flores, K., Cruz-Durán, R. y Vázquez-García, J.A. 2007. *Magnolia guerrensis* (Magnoliaceae), una especie nueva del bosque

- mesófilo de montaña del estado de Guerrero, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 80: 73-76.
- Jiménez-Valverde, A. y Lobo, J.M. 2007. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. Acta Oecologica 31: 361-369.
- Kang, Y. y Ejder, E. 2011. *Magnolia sprengeri* Pamp.: Morphological variation and geographical distribution. Plant Biosystems 145(4): 906-923.
- Kaplan, D.R. 2001. The science of plant morphology: definition, history, and role in modern Biology. American Journal of Botany 88(10): 1711-1741.
- Kawahara, T. y Yoshimaru, H. 1995. *Magnolia tomentosa* and its genetic variation. Puranta 39: 9–13.
- King, G. M., Fonti, P., Nievergelt, D., Büntgen, U. y Frank, D. C. 2013. Climatic drivers of hourly to yearly tree radius variations along a 6 ° C natural warming gradient. Agricultural and Forest Meteorology 168: 36 – 46.
- Kundu, S. R., Pal, M. y Chakraverty, R. K. 1998. Water-Hawthorn (Aponogeton L.f.) of Indian subcontinent-an appraisal. Bangladesh J. Plant Taxon 5: 1-11.
- Lawlor, D.W. y Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ 25: 275-294.
- Lawlor, D.W. y Tezara, W. 2009. Causes of Decreased Photosynthetic Rate and Metabolic Capacity in Water-deficient Leaf Cells: A Critical Evaluation and Integration of Mechanisms and Processes. Annals of Botany 103: 561-579.

- Levey, D.J., Bolker, B.M., Tewksbury, J.J., Sargent, S. y Haddad, N.M. 2005. Effects of landscape corridors on seed dispersal by birds. *Science* 309: 146–148.
- Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P. y Pearson, R.G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28: 385–393.
- López, C.H y Ortega, F. E. 1989. Angiospermas arbóreas de México No. 2. Anatomía de la madera de once especies. Instituto de Ecología, A.C. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Boletín Técnico La Madera y su Uso No. 23, Xalapa, 128 pp.
- López-González, G. A. 2007. Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares (Especies silvestres y las cultivadas más comunes) 3ª ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 894 pp.
- López-Mata, L., Villaseñor, J.L., Cruz-Cárdenas, G., Ortiz, E. y Ortiz-Solorio, C. 2012. Predictores ambientales de la riqueza de especies de plantas del bosque húmedo de montaña de México. *Botanical Sciences* 90: 1-10.
- Lorimer, C. G. 1980. Age structure and disturbance history of a southern Appalachian virgin forest. *Ecology* 61: 1169-1184.
- Luna, I., Ocegueda, S. y Alcántara, O. 1994. Florística y notas biogeográficas del bosque mesófilo de montaña del municipio de Tlanchinol, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México* 65(1):31-62.
- Luna, I., Alcántara, O., Morrone, J. y Espinosa, D. 2000. Track analysis and conservation priorities in the cloud forests of Hidalgo, Mexico. *Diversity and Distributions* 6: 137-143.

- Martínez-Ramos M. y Álvarez-Buylla E.R. 1995. Ecología de poblaciones de plantas en una selva húmeda de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56: 121-153.
- Mateo, R, G., Felicísimo, A.M. y Muñoz, J. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural* 84: 217-240.
- Matyás, C. y Peszlen, I. 1997. Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. *Silvae Genetica* 46(2-3): 64-72.
- Mayer, C., Schiegg, K. y Pasinelli, G. 2009. Patchy population structure in a short-distance migrant: evidence from genetic and demographic data. *Molecular Ecology* 18: 2353-2364.
- McCune, B. y Grace, J.B. 2002. *Analysis of ecological communities. MjM Software Design*. Glenden Beach, Oregon, 300 pp.
- Meffe, G.K. y Carroll, C.R. 1997. *Principles of Conservation Biology*. Segunda edición. Sinauer. Sunderland, MA., 729 pp.
- Mehlreter, K. 2010. Fern Conservation. En: Mehleter, K. Walker, L.R. y Sharpe, M. J. Eds. *Fern Ecology*, Cambridge University Press, Nueva York, p. 323-359.
- Metcalfe, C. R. y Chalk, L. 1950. *Anatomy of the Dicotyledons: Leaves, Stem, and Wood in Relation to Taxonomy with Notes on Economic Uses*. v.2. Clarendon Press, Oxford.

- Metcalfe, C.R. & L. Chalk. 1957. Anatomy of the Dicotyledons leaves, stem and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses. Clarendon Press, Oxford, 1500 pp.
- Miller, R. F. 1975. The deciduous magnolias of West Florida. *Rhodora* 77: 64-75.
- Molina-Montenegro, M. A. 2008. Variación de la pubescencia foliar en plantas y sus implicaciones funcionales a lo largo de gradientes altitudinales. *Ecosistemas* 17: 146-154.
- Molina-Montenegro, M. A. y Cavieres, L. A. 2010. Variación altitudinal de los atributos morfo-fisiológicos en dos especies de plantas alto-andinas y sus implicaciones contra la fotoinhibición. *Gayana Botánica* 67: 1-11.
- Moody, A. y Meentemeyer, R. K. 2001. Environmental factors influencing spatial patterns of shrub diversity in chaparral, Santa Ynez Mountains, California. *Journal of Vegetation Science* 12: 41-52.
- Morrone, J. J. 2001. Biogeografía de América Latina y el Caribe. Manuales y Tesis SEA, volumen 3, Zaragoza, 148 pp.
- Moya, R., Berrocal, A., Serrano, J.R. y Tomazello-Fo, M. 2009. Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (*Tectona grandis*) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 18(2): 119-131.
- Muñiz-Castro, M.A., Castro-Félix, L.P., Carranza-Aranda, A. S., Santerre, A., Vázquez-García, J.A., Nuño-Rubio, A. T. y Pirita-Calleros, N.A. 2015. Diversidad genética de *Magnolia pugana* (magnoliaceae), especie endémica

del occidente de México en peligro de extinción. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

Nakagawa, K., Yoshinaga, A. y Takabe, K. 2012. Anatomy and lignin distribution in reaction phloem fibres of several Japanese hardwoods. *Annals of Botany* 110: 897-904.

Naoki, K., Gómez, M. I., López, R. P., Meneses, R. I. y Vargas, J. 2006. Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia* 41(1): 65-78.

Niembro-Rocas, A. y Velázquez-Rosas, N. 2010. *Magnolia dealbata* Zucc., *Magnolia schiedeana* Schldl. En: Krömer, T., Castro-Cortés, R. y Gómez-Pompa, A. (eds.). Atlas de la flora de Veracruz: Un patrimonio natural en peligro. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, Gobierno del estado de Veracruz, Veracruz, p. 454-457.

Newton, A.C., Robertson, A., Williams-Linera, G., Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M., Allnutt, T.R. y Ennos, R. 2008. Genetic variation in two rare endemic Mexican trees, *Magnolia sharpii* and *Magnolia schiedeana*. *Silvae Genetica* 57(6): 348-356.

Nobel, P.S., Zaragoza, L.J. y Smith, W.K. 1975. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate and illumination level during development for leaves of *Plectranthus parviflorus* Henckel. *Plant Physiology* 55: 1067 –1070.

- Noshiro, S. y Baas, P. 1998. Systematic Wood anatomy of Cornales and allies. International Association of Wood Anatomist Journal 19: 43-97.
- Noshiro, S. y Baas, P. 2000. Latitudinal trends in wood anatomy within species and genera: case study in *Cornus* s. l. (Cornaceae). American Journal of Botany 87: 1495-1506.
- Ortiz-Quijano, A.B., Cuevas-Cardona, C. y Sánchez-González, A. 2015. Historia ambiental de tres bosques de haya del estado de Hidalgo, México, periodo 1935-2014. Historia 2.0 5(10): 25-41.
- Ortiz-Quijano, A.B., Sánchez-González, A., López-Mata, L. y Villanueva-Díaz, J. 2016. Population structure of *Fagus grandifolia* subsp. *mexicana* in the cloud forest of Hidalgo State, Mexico. Botanical Sciences 94(3): 483-497.
- Ough, K. y Murphy, A. 2004. Decline in tree-fern abundance after clearfell harvesting. Forest Ecology and Management 199:153-163.
- Palma-Ordaz, S. y Delgadillo-Rodríguez, J. 2014. Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. Botanical Sciences 92(4): 587-597.
- Pardé, J. y Bouchon, J. 1994. Dasometría. Edición Española.
- Paris, C.A. y Windham, M.D. 1988. A biosystematic investigation of the *Adiantum pedatum* complex in eastern north America. Systematic Botany 13: 240-255.
- Passioura, J.B. 1994. Physiology and determination of crop yields. En: Boote et al. editors. The yield of crops in relation to drought. ASA. Canberra Australia: CSIRO, p. 343-359.

- Pavón, N. P., y M. Meza Sánchez. 2009. Cambio climático en el estado de Hidalgo: Clasificación y tendencias climáticas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciencia al día, 168 pp.
- Pearson, R.G., Raxworthy, J.C., Nakamura, M. y Peterson, T.A. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 102-117.
- Pellissier, V., Muratet, A., Verfaillie, F. y Machon, N. 2012. Pollination success of *lotus corniculatus* (L.) in an urban context. *Acta Oecol* 39: 94-100.
- Pérez-García, B. y Mendoza, A. 2002. Morfología vegetal neotropical. *Revista Biológica Tropical* 50(3/4): 893-902.
- Pérez, P. M. G. 2013. Evaluación del riesgo de extinción de las especies de Cyatheaceae en dos municipios del estado de Hidalgo, México. Tesis de maestría en ciencias, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, 91 pp.
- Pérez-Paredes, M.G., Sánchez-González, A. y Tejero-Díez, J.D. 2014. Estructura poblacional y características del hábitat de dos especies de Cyatheaceae del estado de Hidalgo. *Botanical Sciences* 92(2): 1-13.
- Peters, R., Platt, W. J. 1996. Growth strategies of a main trees and forest architecture of a *Fagus-Magnolia* forest in Florida, USA. *Vegetatio* 123: 39-49.

- Phillips, J.S., Anderson, R.P. y Schapired, E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Pigliucci, M. 2001. *Phenotypic Plasticity: Beyond Nature and Nurture*. Baltimore:John Hopkins University Press.
- Poorter, L., Bongers, F., Sterck, F. J. y Wöll, H. 2005. Beyond the regeneration phase: differentiation of height-light trajectories among tropical tree species. *Journal of ecology* 93: 256-267.
- Puig, H. y Bracho, R. 1987. *El bosque mesófilo de montaña de Tamaulipas*. Instituto de Ecología, A.C. México, D.F., 186 pp.
- Raich, J. W., Russell, A. E. y Vitousek, P. M. 1997. Primary productivity and ecosystem development along an elevational gradient on Mauna Loa, Hawaii. *Ecology* 78: 707 – 721.
- Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M. y Williams-Linera, G. 2001. Anthropogenic disturbance and tree diversity in montane rain forests in Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management* 154: 311-326.
- Ramírez-Reyes, Flores-Estévez, N., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carranza, J.C. Sánchez-Velásquez, L.R. y Trigos-Landa, A. 2015. Extractos crudos de *Magnolia schiedana* Schltdl. para el control de bacterias fitopatógenas. *Madera y Bosques* 21(2): 159-164.
- Rangel, T.F., Diniz-Filho, J.A.F. y Bini, L.M. 2010. SAM: A comprehensive application for Spatial. Analysis in Macroecology. *Ecography* 33: 1-5.
- Rohlf, F. J. 2004. *TpsDig, digitize landmarks and outlines, versión 2.0*. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.

- Ruzin, E.S. 1999. Plant microtechnique and microscopy. Oxford University Press, New York.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F.
- Sánchez-Rodríguez, E. V., López-Mata, L., García-Moya, E. y Cuevas-Guzmán, R. 2003. Estructura, composición florística y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra de Manantlán, Jalisco. Boletín de la Sociedad Botánica de México 73:17-34.
- Sánchez-Velásquez L.R., Hernández-Vargas G., Carranza-M. M.A., Pineda-López M.R., Cuevas-G. R. y Aragón-C. F. 2002. Estructura arbórea del bosque tropical caducifolio usado para la ganadería extensiva en el norte de la Sierra de Manantlán, México. Antagonismo de usos. Polibotánica 13: 25-46.
- Sánchez-Velásquez, L. R. y Pineda-López, M.R. 2006. Species diversity, structure and dynamics of two populations endangered species, *Magnolia dealbata* (Magnoliaceae). Revista Biológica Tropical 54: 997-1002.
- Sánchez-Velásquez, L. R. y Pineda-López, M. R. 2010. Comparative demographic analysis in contrasting environments of *Magnolia dealbata*: an endangered species from Mexico. Population Ecology 52: 203-210.
- Sánchez-Velásquez, L.R., Pineda-López, M. R., Vásquez-Morales, S. G. y Avedaño-Yañez, M. L. 2016. Ecology and Conservation of Endangered Species: The case of *Magnolias*. En: Quinn, M. Endangered Species: Threats, Conservation and Future Research. United States of America. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-63484-404-8, p. 63-84.
- SAyDS. 2005. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Segunda etapa. Buenos Aires, Argentina.

- Schlumpberger, B., Cocucci, A., Moré, M., Sérsic, A. y Raguso, R. 2009. Extreme variation in floral characters and its consequences for pollinator attraction among populations of an *Andean cactus*. *Annal of Botany* 103: 1489-1500.
- Schmidt, T., Arens, P., Smulders, J.M.M., Billeterc, R., Lirad, J., Augenstein, I. y Durkaa, W. 2009. Effects of landscape structure on genetic diversity of *Geum urbanum* L. populations in agricultural landscapes. *Flora* 204:549-559.
- Schmitt, J.L. y Windisch, P.G. 2006. Growth rates and age estimates of *Alsophila setosa* Kaulf. in Southern Brazil. *American Fern Journal* 96: 103-111.
- Schönenberger, J. y Von Balthazar, M. 2012. Modern plant morphological studies. *Botanical Journal of the Linnean Society* 169: 565–568.
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL 2010. Diario Oficial de la Federación. 2ª Sección.
- SEMARNAT. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2010. Anexo gráfico de campo. Comisión Nacional Forestal.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. Disponible en: <https://lta.cr.usgs.gov/HYDRO1K> Fecha de consulta: 23 de mayo de 2016.
- Setsuko, S., Ishida, K., Ueno, S., Tsumura, Y. y Tomaru, N. 2007. Population differentiation and gene flow within a metapopulation of a threatened tree, *Magnolia stellata* (Magnoliaceae). *American Journal Botany* 94: 128–136.
- Siles G., Bastida J., Rey J.P. y Alcántara J. 2004. Modelos predictivos de distribución de especies de vegetación potencial en el incendio del puerto de

- “Las Palomas”, Sierra de Cazorla, Jaén. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 20: 167-172.
- Soria-Auza, W.R., Kessler, M., Bach, K., Barajas-Barbosa, M.P., Lehnert, M., Herzog, K.S. y Böhner, J. 2010. Impact of the quality of climate models for modelling species occurrences in countries with poor climatic documentation: a case study from Bolivia. *Ecological Modelling* 221: 1221-1229.
- Spicer R.A. 1981. The sorting and deposition of allochthonous plant material in a modern environment at Silwood Lake, Silwood. Park, Berkshire, England. U. S. Geological Survey Professional Paper 1143: 1-77.
- StatSoft, Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), versión 7. www.statsoft.com.
- Stearns, S. C. 1989. The evolutionary significance of phenotypic plasticity. *BioScience* 39(7): 436-445.
- Swartz, L.M. y Brunsfeld, S.J. 2002. The morphological and genetic distinctness of *Botrychium minganense* and *B. crenulatum* as assessed by morphometric analysis and RAPD markers. *American Fern Journal* 92: 249-269.
- Takahashi, K., Seino, T. y Kohyama, T. 2002. Responses to canopy openings in architectural development of saplings in eight deciduous broadleaved tree species. *Canadian Journal of Forest Restoration*, 31: 1336-1347.
- Takami, I., Setsuko, S. y Tomaru, N. 2008. Genetic variation and differentiation in populations of a threatened tree, *Magnolia stellata*: factors influencing the level of within-population genetic variation. *Heredity* 100: 415-423.

- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A. y Howarth, R. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292: 281-284.
- Terrazas, T. y Loza-Cornejo, S. 2003. Anatomía de la madera y alometría de veinte especies de *Stenocereus* (Cactaceae). *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*. 74(2):195-208.
- Tompkins, R. 2004. An ecological Study of *Magnolia macrophylla* in Gaston County, North Carolina. *Southern Appalachian Botanical Society* 69(2): 178-185.
- Torres, R. y Jayat, J.P. 2010. Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (*Cingulata*, *Artiodactyla* y *Rodentia*) típicas de Chaco en Argentina. *Mendoza. Mastozoología Neotropical* 17: 335-352.
- Ueno, S., Setsuko, S., Kawahara, T. y Yoshimaru, H. 2005. Genetic diversity and differentiation of the endangered Japanese endemic tree *Magnolia stellata* using nuclear and chloroplast microsatellite markers. *Conservation Genetic* 6: 563–574.
- University of New Hampshire. 2015. CanopyApp, versión 0.0.2. Aplicación móvil. Descargada de: <https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.unh.sr.canopyapp>
- Urban, J., Rebrošová, K., Dobrovolný, L. y Schneider, J. 2010. Allometry of four European beech stands growing at the contrasting localities in small-scale area. *Folia Oecologica* 37: 103-112.
- Valladares, F., Matesanz, S., Guilhaumon, F., Araujo, M.B., Balaguer, L., Benito-Garzón, M., Cornwell, W., Gianoli, E., van Kleunen, M., Naya, D.E., Nicotra, A.B., Poorter, H. y Zavala, M.A. 2014. The effects of phenotypic plasticity and

- local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *Ecology letters* 17: 1351-1364.
- Valladares, F., Sánchez, D. y Zavala, M. 2006. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology* 94: 103-1116.
- Van den Oever, L., Baas, P. y Zandee, M. 1981. Comparative wood anatomy of *Symplocos* and latitude and altitude of provenance. *International Association of Wood Anatomist Bulletin new series* 2: 3-24.
- Van der Graaff, N. A. y Baas, P. 1974. Wood anatomical variation in relation to latitude and altitude. *Blumea* 22: 101-121.
- Vargas, Y.A. 1982. Análisis florístico y fitogeográfico de un bosque mesófilo de montaña en Huayacocotla, Veracruz. Tesis de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Vásquez-Morales, S. G. 2015. Demografía, cambio climático, y bioprospección: una aproximación integral para la conservación de *Magnolia schiedeana* Schl. Tesis de doctorado, Instituto de Biotecnología y Ecología aplicada, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México, 107 pp.
- Vásquez-Morales, S. G., Tellez-Valdéz, O., Pineda-López, M. R., Sánchez-Velásquez, L. R., Flores-Estevez, N. y Viveros-Viveros, H. 2014. Effect of climate change on the distribution of *Magnolia schiedeana*: a threatened species. *Botanical Sciences* 92(4): 575-585.
- Vásquez-Morales, S.G. y Sánchez-Velásquez, L.R. 2011. Seed ecology and pregerminative treatments in *Magnolia schiedeana* Schlecht, an endangered

- species from Mexico. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 9(1): 604-608.
- Vázquez-García, J. A. 1994. *Magnolia* (Magnoliaceae) in México and Central America: A sinopsis. *Brittonia* 46(1): 1-23.
- Vázquez-García, J. A., Carvajal, S. y Hernández, L. L. 2002. *Magnolia pugana* (Magnoliaceae): Una nueva combinación en el complejo *M. pacífica*. *Novon* 12: 137-141.
- Vázquez-García, J.A., Muñiz-Castro, M.A., de Castro-Arce, E., Murguía-Araiza, R., Nuño-Rubio, A.T. y Cházaro-Basáñez, M.J. 2012. Twenty new neotropical tree species of *Magnolia* (Magnoliaceae). En: Salcedo-Pérez, E., Hernández-Álvarez, E., Vázquez-García, J.A., Escoto-García, T., Díaz-Echevarría, N. (Eds). *Recursos Forestales del Occidente de México: Diversidad, Producción, Manejo, Aprovechamiento y Conservación*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias-Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, México, D.F, p. 91-130.
- Vázquez-García, J.A., Neill, D.A., Asanza, M. y Recalde, L. 2015. *Magnolia vargasiana* (Magnoliaceae), a new Andean species and a key to Ecuadorian species of subsection Talauma, with notes on its pollination biology.
- Villavicencio-Nieto, M.A. y Pérez-Escandón, B.E. 2006. *Plantas Útiles del Estado de Hidalgo, Volumen III*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, p. 89-93.
- Weaver, P. L. 1997. *Magnolia splendens* Urban, laurel sabino. SO-ITFSM-80. USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Puerto Rico.

- Wang, B., Ma, Y., Chen, G., Li, C., Dao, Z. y Sun, W. 2016. Rescuing *Magnolia sínica* (Magnoliaceae), a critically endangered species endemic to Yunnan, China. *Oryx* 1-4.
- Wang, J., Tang, Y., Xie, Z.H. y Zhang, M. Y. 2009. Autoecology and conservation status of *Magnolia sargentiana* Rehder & Wilson (Magnoliaceae) in the Dafengding region, southern Sichuan Province, China. *Journal of Systematics and Evolution* 47(6): 525-534.
- Williams-Linera G., Devall M S y C Álvarez-Aquino. 2000. A relict population of *Fagus grandifolia* var. *mexicana* at the Acatlán Volcano, México: structure, litterfall, phenology and dendroecology. *Journal of Biogeography* 27:1297-1309.
- Wing, S.L. y Sues, H.D. 1992. Mesozoic and early Cenozoic terrestrial ecosystems. En: Behrensmeyer, A.K., Damuth, J.D., DiMichele, W.A., Potts, R., Sues, H.D. y Wing, S.L. Eds. *Terrestrial ecosystems through time: evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals*, University of Chicago Press, Chicago, p. 327-417.
- WorldClim. Disponible en: <http://www.worldclim.org/> Fecha de consulta: 19 de Mayo de 2016.
- Wróblewska, M. M. 2015. The progressive and ancestral traits of the secondary xylem within *Magnolia* clad the early diverging lineage of flowering plants. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 84(1):87-96.
- WWF. 2004. *Living Planet Report*. Gland. Switzerland: World Wildlife Fund for Nature.

- Xin-Hua, Z. y Nian-He, X. 2007. Leaf architecture of subtribe Micheliinae (Magnoliaceae) from China and its taxonomic significance. *Acta Phytotaxonomica Sinica* 45(2): 167-190.
- Xu, F. y Rudall, P.J. 2006. Comparative floral anatomy and ontogeny in Magnoliaceae. *Plant Systematics and Evolution* 258: 1-15.
- Yang, M., Shi, S.G., Liu, W., Zhang, M., Gou, L., Kang, Y.X. y Liu J.J. 2015. Phenotypic variation and diversity of *Magnolia sprengeri* Pamp. in native habitat. *Genetics and Molecular Research* 14(2): 6495-6508.
- Yoshizawa, N., Inami, A., Miyake, S., Ishiguri, F. y Yokota, S. 2000. Anatomy and lignin distribution of reaction wood in two *Magnolia* species. *Wood Science Technology* 34: 183–196.
- Zhongqiang, Li, D. Y. 2009. Factors affecting leaf morphology: a case study of *Ranunculus natans* C. A. Mey. (Ranulaceae) in the arid zone of northwest China. *Ecological Research* 24: 1323-1333.
- Zúñiga, E. A., Sánchez-González, A. y Granados-Sánchez, D. 2009. Leaf Morphology of *Quercus laeta* Liebm. En: Los Mármoles National Park, Hidalgo, México. *Revista de Chapingo, Serie Ciencias Foestales y del Ambiente* 15(2): 87-93.

9. ANEXOS

Anexo 1. Flor de *Magnolia schiedeana* depredada por un coleóptero



Anexo 2. Matriz de distancias Euclidianas (ambientales y geográficas) y de Mahalanobis (morfológicas y anatómicas)

	d _E . Ambiental	D _g	d _m . foliar	d _m . floral	d _m . madera
1 vs 2	1.49	10.53	2.12	7.88	26.22
1 vs 3	2.58	53.87	4.18	6.79	3.56
1 vs 4	2.84	31.23	7.1	20.85	4.73
2 vs 3	2.55	45.63	3.13	7.27	18.43
2 vs 4	2.94	41.57	8.98	28.86	38.10
3 vs 4	3.81	75.1	15.48	16.66	8.42

Anexo 3. Variables bioclimáticas y topográficas utilizadas para realizar el modelo de distribución potencial de *M. schiedeana*

Variables bioclimáticas	
Bio 1.	Temperatura media anual
Bio 2	Rango promedio de temperaturas diarias (Tmax-Tmin)
Bio 3.	Isotermalidad (BIO 2/BIO 7) x 100
Bio 4.	Estacionalidad de la temperatura (Desv. Estan. x 100)
Bio 5.	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio 6.	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Rango anual de la temperatura (BIO 5-BIO 6)
Bio 8.	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio 9.	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10.	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio 11.	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 12.	Precipitación anual
Bio 13.	Precipitación del mes más húmedo
Bio 14.	Precipitación del mes más seco
Bio 15.	Estacionalidad de la precipitación
Bio 16.	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17.	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18.	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19.	Precipitación del trimestre más frío
Variables topográficas	
Aspect	Orientación
Dem	Modelo digital de elevación
Slope	Pendiente
Topoind	Índice topográfico