



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

PROYECTO TERMINAL

Identidad taxonómica y estado de conservación de *Magnolia vovidesii* (A. Vázquez, Domínguez-Yesca & L. Carvajal):
aspectos ecológicos, morfológicos y genéticos

Para obtener el grado de

Maestro en Ciencias en Biodiversidad y Conservación

PRESENTA:

Lic. en Biología Cruz de Jesús Bartolo Hernández

Directora

Dra. Dulce María Galván Hernández

Codirector

Dr. Arturo Sánchez González

Comité

Dr. José Antonio Vázquez García

Dr. Pablo Octavio Aguilar

Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, 2024



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Biología

Department of Biology

Mineral de la Reforma, Hgo., a 10 de abril de 2024

Número de control: ICBI-AAB/191/2024

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA.OJUKY DEL ROCIO ISLAS MALDONADO DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

El Comité Tutorial del nombre del producto que indique el documento curricular del programa educativo de posgrado titulado **“Identidad taxonómica y estado de conservación de *Magnolia vovidesii* (A. Vázquez, Domínguez-Yesca & L. Carvajal): aspectos ecológicos, morfológicos y genéticos”**, realizado por el sustentante **Cruz de Jesús Bartolo Hernández** con número de cuenta **296924** perteneciente al programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

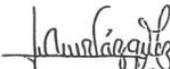
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que el sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente “Amor, Orden y Progreso”




Dra. Dulce María Galván Hernández
Vocal


Dr. José Antonio Vázquez García
Secretario


Dr. Aurelio Ramírez Bautista
Suplente


Dr. Arturo Sánchez González
Presidente


Dr. Pablo Octavio Aguilar
Suplente


Dra. Ana Paola Martínez Falcón
Suplente

LFRP/CIAF

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 6640, 6642
Fax 2112
aab_icbi@uaeh.edu.mx



uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Dulce María Galván Hernández, mi directora de tesis, por su tiempo, por su apoyo, su confianza, sus enseñanzas, por su guía en la realización de este proyecto. Gracias porque además de las vivencias y experiencias académicas que compartimos, también supo escucharme y darme palabras de apoyo en temas personales.

Al Dr. Arturo Sánchez González, por orientarme en dudas y participar activamente en la revisión del proyecto. Al Dr. Pablo Octavio Aguilar por ser parte fundamental en las salidas a campo, por su apoyo en resolver dudas al momento de realizar los análisis. Al Dr. José Antonio Vázquez García por las sugerencias aportadas y su dedicación a la hora de revisar el escrito, por su apoyo durante la estancia en la UdG.

A mis amigos y compañeros de posgrado: Marisol, Cynthia, Yesua & Yoa por los momentos, experiencias y pláticas compartidas durante la maestría. Al mejor sensei de laboratorio que pude tener el M. en C. Mario A. García. A todas las personas con las que compartí un rato en el laboratorio de Genética.

Gracias a mis amigos que me escucharon hablar emocionado de lo que hacía y que cuando me quejaba de lo pesado que me estaba resultando siempre me dieron palabras de apoyo (Frida, Mau, Mara, Lupita, Fer, Nancy, Kary, Dany, Jair y Romi).

Gracias a las personas que conocí en diferentes momentos de la maestría y compartieron conmigo lo que les apasiona y diferentes vivencias (Luis, Liliana, Paulina, Alex, Brandon, Naomi, Reyna, Sergio, Jesus “Lepe”).

A CONACyT por la beca otorgada con número 834552 para la realización de mis estudios de posgrado.

Finalmente, gracias a todas las personas que de alguna forma nos apoyaron en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres por siempre estar para mí, por apoyarme durante todo momento, por ser parte de mi desarrollo y ser lo que hoy soy en día.

A mis hermanos por siempre estar pendiente de mí, por darme palabras cálidas.

Los amo siempre, aunque no lo diga todo el tiempo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
CAPÍTULO I:	9
<i>Magnolia vovidesii</i> (A. Vázquez, Domínguez-Yesca & L. Carvajal)	9
Generalidades	9
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES.....	12
Familia Magnoliaceae	12
Distribución	14
Descripción botánica de <i>Magnolia vovidesii</i>	16
Fenología	19
Factores ecológicos que influyen sobre la distribución de especies	20
Trabajos ecológicos en Magnolias	21
Morfometría	22
Factores que influyen sobre la diversidad genética	23
Trabajos genéticos en Magnolias	25
Estatus de conservación	27
JUSTIFICACIÓN	28
HIPÓTESIS.....	28
OBJETIVOS	29
General	29
Específicos	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO II:	41
Aspectos ecológicos y morfológicos de <i>Magnolia vovidesii</i>	41
RESUMEN.....	42
INTRODUCCIÓN	43
MATERIALES Y MÉTODO.....	44
Área de estudio	44
Colecta de material biológico	45
Datos de perturbación	46
Demografía	47
Características morfológicas	47
Análisis de datos	50
Perturbación	50
Demográficos	50

Morfológicos	51
Correlación	52
RESULTADOS	52
Perturbación	52
Demográficos	54
Morfológicos	56
Estadísticos descriptivos	56
Agrupamiento (AA)	58
Análisis Multivariado	58
Correlación	66
DISCUSIÓN	68
Perturbación	68
Demografía	69
Morfológico	71
Correlación	73
CONCLUSIÓN	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
CAPÍTULO III:	81
Diversidad y estructura genética de <i>Magnolia vovidesii</i>	81
RESUMEN.....	82
INTRODUCCIÓN	83
MATERIAL Y MÉTODO	84
Colecta de material biológico	84
Extracción y amplificación de DNA	84
Análisis genético	85
RESULTADOS.....	86
DICUSIÓN.....	89
CONCLUSIÓN	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
CAPÍTULO IV:	96
Discusión General	96
DISCUSIÓN	97
Estatus de Conservación	99
ANEXOS GENERALES	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las especies de <i>Magnolia</i> sec. <i>Macrophylla</i> en México (Imagen tomada de Vázquez-García et al., 2021).....	15
Figura 2. Mapa con la distribución de <i>Magnolia vovidesii</i> en el estado de Veracruz, de acuerdo con lo reportado en la literatura.	16
Figura 3. <i>Magnolia vovidesii</i> . A) Flor. B) Flor abierta en campo. C) Fruto maduro con semillas por soltar. D) Hoja.....	18
Figura 4. Principales factores que influyen sobre la diversidad genética y estructura poblacional (Tomado de Salinas-Ivanenko y Murría, 2020).....	24
Figura 5. Mapa de distribución de las cuatro poblaciones de <i>Magnolia vovidesii</i> contempladas en el presente trabajo. BA : El Batda, CH : Chapultepec el Chico, CO : Coyopolan y CU : Cuacaballo.	45
Figura 6. Variables morfológicas para los tres componentes: A) Foliar, B y C) Florar, D y E) Frutal. Las abreviaciones se encuentran en la Tabla 6.	48
Figura 7. Análisis de agrupamiento (AA), usando el método de aglomeración de Wards con distancias Euclidianas a partir de las variables morfológicas utilizadas para el análisis; el cuadro rojo señala el grupo conformado por CO, CH y CU.	59
Figura 8. AA de variables morfológicas hojas (superior), flores (medio) y frutos (inferior), usando el método de aglomeración de Wards con distancias Euclidianas. Línea punteada roja indica el punto de corte de grupos.	60
Figura 9. Diagrama de distribución de ACoP de las dos primeras coordenadas para las variables foliares. La elipse corresponde a la variación explicada hasta en un 95%.	62
Figura 10. Diagrama de distribución de ACoP de las dos primeras coordenadas para las variables florales.....	63
Figura 11. Diagrama de ordenación de AD de las dos primeras funciones discriminantes que explican hasta el 95% de las diferencias. Eje x: diámetro del fruto (DF); eje y: ancho del pedúnculo (AnP).....	66
Figura 12. Diagrama de correlación con la prueba de Mantel.....	68
Figura 13. Análisis de agrupamiento considerando las distancias de Nei entre poblaciones mediante el algoritmo Neighbour-Joining.....	88
Figura 14. Análisis de asignación STRUCTURE. a) Gráfico de Evanno para determinar la cantidad de grupos genéticos. b) Asignación para k=3. c) Asignación para k = 4.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Trabajos realizados en el género <i>Magnolia</i> sobre aspectos ecológicos.	22
Tabla 2. Trabajos realizados con el género <i>Magnolia</i> usando caracteres morfológicos.	23
Tabla 3. Trabajos realizados con aspectos genéticos en el género <i>Magnolia</i>	26
Tabla 5. Variables de perturbación evaluadas en las poblaciones de <i>Magnolia vovidesii</i> , tomadas de Galván-Hernández et al. (2020).	46
Tabla 4. Descripción morfológica de las categorías de tamaños establecidas en <i>M. vovidesii</i> . (Galván-Hernández et al., 2020).....	47
Tabla 6. Caracteres morfológicos foliares, florales y frutales que fueron analizados en <i>Magnolia vovidesii</i> , tomado de Gutiérrez-Lozano et al. (2021).....	49
Tabla 7. Descripción de la perturbación en las poblaciones pertenecientes a <i>Magnolia vovidesii</i>	53
Tabla 8. Matriz de contraste obtenida a partir de la ANOVA de Friedman para la perturbación	54
Tabla 9. Número de individuos, frutos y semillas por categoría de tamaño en cada población de <i>Magnolia vovidesii</i>	55
Tabla 10. Coeficientes de variación (CV) de las características morfológicas foliares (1-7), florales (8-22) y frutales (23-30) analizadas en <i>Magnolia vovidesii</i>	57
Tabla 11. Valores de PERMANOVA para la matriz de variables foliares	61
Tabla 12. Valores de PERMANOVA para la matriz de variables florales	61
Tabla 13. Factores obtenidos por rotación varimax del análisis de componentes principales, para los atributos morfológicos del fruto de <i>Magnolia vovidesii</i>	64
Tabla 14. Matriz de contraste entre variación morfológica, unificada por distancias de Mahalanobis, de los frutos de <i>Magnolia vovidesii</i> ; obtenidos mediante el Análisis de Funciones Discriminantes.	64
Tabla 15. Análisis de Factores Discriminantes para los atributos morfológicos del fruto de <i>Magnolia vovidesii</i>	65
Tabla 16. Distancias promedio entre las poblaciones para los tres componentes (FO, FL, FR) y de la Perturbación	67
Tabla 17. Correlación entre los componentes (FO, FL, FR) y la perturbación.	67
Tabla 18. Marcadores moleculares utilizados para evaluar la diversidad genética en <i>Magnolia vovidesii</i>	85
Tabla 19. Indicadores de diversidad genética.....	87

CAPÍTULO I:
***Magnolia vovidesii* (A. Vázquez, Domínguez-Yesca & L. Carvajal)**

Generalidades

RESUMEN

La familia Magnoliaceae se conforma por alrededor de 350 especies distribuidas en Asia y América, clasificadas en 15 secciones. En el Neotrópico solo existen cuatro secciones *Magnolia* sec. *Macrophylla*, *Magnolia* sec. *Magnolia*, *Magnolia* sec. *Splendentes* y *Magnolia* sec. *Talauma*. *Magnolia* sec. *Macrophylla* es endémica de Norte América (EE. UU. y México), donde se reportan nueve especies de las cuales, en México se encuentran siete; siendo una de ellas *Magnolia vovidesii*, especie endémica del estado de Veracruz, usualmente asociado con ambientes ricos en recursos naturales, lo cual ha afectado la distribución y supervivencia de la especie y sus poblaciones. *M. vovidesii* es una especie arbórea de hasta 25 m de altura, posee hojas gigantescas de hasta 50 cm de longitud en promedio, flores grandes, color blanco a crema, rara vez presenta mancha ligera color morado en la base de los pétalos, seis pétalos en dos verticilos, hasta 352 estambres dispuestos en espiral, frutos polifolículos con semillas anaranjada a roja. Se conoce varios aspectos de la especie esto debido a que se han realizado diferentes trabajos ecológicos para evaluar su supervivencia, lo cual, ha generado que en la normativa internacional (RedList de la UICN) sea catalogada como una especie en peligro (ED); por lo cual el objetivo de este trabajo fue determinar la identidad taxonómica de las poblaciones reportadas como *M. vovidesii*, mediante análisis morfológicos, ecológicos y genéticos; para establecer el estado de conservación actual de la especie.

INTRODUCCIÓN

Magnoliaceae es una familia que data del Cretácico Tardío del Norte de América, su probable centro de origen. Durante el Eoceno se extendieron hacia Europa y Asia, en el Cenozoico Medio se extinguieron de Europa, del Sur de Siberia y Groenlandia; y durante en el Cenozoico Tardío se extendieron al Centro y Sur de América y al Sureste de Asia en climas templado-cálido-húmedos de montañas (Hebda e Irwin, 2004). En la actualidad la familia Magnoliaceae se encuentra representada por alrededor de 350 especies de porte arbóreo o arbustivo, las cuales habitan desde el sureste de Asia hasta Asia tropical y en América (Dandy, 1971; Frodin y Govaerts, 1996; Azuma et al., 2001; Kim y Suh, 2013; Vázquez-García et al., 2015).

Magnoliaceae en el Neotrópico incluye 2 géneros: 1) *Liriodendron* L., registrado del Mioceno de Chiapas, extinto hace 16 millones de años y 2) *Magnolia* Plum. ex L. que se clasifica en cuatro secciones: *Magnolia* sec. *Macrophylla* Figlar & Noot., *Magnolia* sec. *Magnolia*, *Magnolia* sec. *Splendentes* Dandy ex J.A.Vázquez y *Magnolia* sec. *Talauma* (Juss.) Baill. (Wang et al. 2020).

Magnolia sec. *Macrophylla* consta de nueve especies: dos de ellas, *M. macrophylla* Michx. y *M. ashei* Weath., distribuidas en el sureste de EE. UU.; y siete especies son exclusivas de México, la mayoría segregadas recientemente del complejo *M. dealbata* Zucc.: *M. vovidesii* A. Vázquez, Domínguez-Yescas & L. Carvajal (Vázquez-García et al., 2013), *M. rzedowskiana* A. Vázquez, Domínguez-Yescas & Pedraza-Ruiz (Vázquez-García et al., 2015), *M. nuevoleonensis* A. Vázquez & Domínguez-Yescas (Vázquez-García et al., 2016), *M. alejandrae* García-Mor. & Iamónico (García-Morales et al., 2017), *M. zoticitla* A. Sánchez-Gonz., Gut.-Lozano & A. Vázquez (Sánchez-González et al., 2021) y *M. mixteca* A. Vázquez & Domínguez-Yescas (Vázquez-García et al., 2021); sus descripciones se basaron en caracteres morfológicos, además de factores ecológicos y de distribución geográfica; sin embargo, los estudios donde se usa el componente genético para confirmar su identidad taxonómica son limitados.

M. vovidesii es endémica del centro de Veracruz, con registros de herbario confirmados en Xico (G. Pattison V083077, XAL); Ixhuacán de los Reyes (Gutiérrez

Carvajal XAL0114618, XAL); Totutla (octubre de 1941, Liebman 1975, K); Huatusco (1841-1843, Liebmann 1983, K); Los Reyes (Rincón 1413, XAL); Cosautlán (IBUG) y Tequila (Herbario de Zongolica), todos en un área geográfica menor de 85 km² (Rivers, 2016). Pero esta información es diferente a la presentada por Gutiérrez y Vovides (1997), quienes ubicaron sólo dos sitios irregulares con diversa afectación en la localidad de Coyopolan, Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, en un área aproximada de 4800 m²; este sitio se considera la población tipo para la especie en la cual se han realizado diversos estudios sobre su densidad, estructura, tasa de germinación, análisis de distribución espacial y grado de perturbación; generando la información necesaria para clasificarla bajo la categoría P (en peligro de extinción) de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y CR (en peligro crítico) de acuerdo a la IUCN (Bartolo-Hernández, 2019; Galván-Hernández et al., 2020). Se desconocen poblaciones cercanas a la zona en otros remanentes de bosque nublados.

Por otra parte, se han realizado algunos estudios que hacen referencia a la distribución de la especie en la Sierra de Zongolica y en otras zonas en el centro de Veracruz. Su distribución en diferentes regiones del estado, en distintos tipos de vegetación y condiciones climáticas, además del aislamiento geográfico que presentan, podría explicar las diferencias morfológicas y genéticas entre las poblaciones, como parte de sus mecanismos de adaptación a las condiciones ambientales locales. Por lo cual, realizar trabajos donde se reúna información de los aspectos antes mencionados, podría ser de gran utilidad para definir la identidad taxonómica de la especie y precisar de mejor manera su estatus de conservación.

ANTECEDENTES

Familia Magnoliaceae

La familia Magnoliaceae se distribuye en las zonas templadas y tropicales de Asia y América y posee alrededor de 350 especies, divididas en dos géneros, siendo el más diverso el género *Magnolia*. Por otra parte, todas las especies de la familia Magnoliaceae en el continente americano, el género *Magnolia* representa el 99% (Azuma et al., 2001, Kim y Suh 2013; Vázquez-García et al., 2013; Vázquez-García et al., 2019) y esta subdividido en 15 secciones (Kim y Suh, 2013; Wang et al., 2020).

Magnolia sec. *Macrophylla* es endémica de América del Norte, consistente de árboles caducifolios, de madera blanda, con rebrotes basales y de corla longevidad (ca. 75 años) y sus especies se caracterizan por presentar flores muy vistosas, frecuentemente presentan una mancha de color púrpura en la base del lado adaxial de los tépalos (aunque carece de valor taxonómico), y hojas grandes deciduas de hasta 50 cm de longitud, con base cordada a auriculada, glaucas a pubescentes en el envés, y cera glauca debajo con venas pubescentes (Vázquez-García, 1994; Fligar y Nootboom, 2004). Además, a todas la especies pertenecientes a la sec. *Macrophylla* se les considera un componente común en los bosques nublados (BN), que se caracterizan por presentar una mezcla de especies boreales y neotropicales (Vázquez-García, 1994; Rzedowski, 1996; Valdez-Tamez et al., 2003; Fligar y Nootboom, 2004; CONABIO, 2010); este ecosistema es uno de los más afectados por las actividades humanas y de menor superficie, ahora solo se encuentra en forma de fragmentos, lo cual aumenta el riesgo de extinción local de las especies (CONABIO, 2010; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2017).

Actualmente para la *Magnolia* sec. *Macrophylla* se reportan nueve especies, de las cuales, solo dos de ellas se distribuyen en el este de los Estados Unidos de América: *M. ashei* y *M. macrophylla*; el resto se encuentra en México (Fligar y Nootboom, 2004; Vázquez-García et al., 2016; García-Morales et al., 2017; Vázquez-García et al., 2021). Al principio, en México solo se reconocía a *M. dealbata*, en la última década, después de varios estudios y comparaciones morfológicas se segregaron poblaciones y fueron catalogadas como nuevas especies: *M. vovidesii*, *M. rzedowskiana*, *M. nuevoleonensis*, *M. alejandrae*, *M. zocitla* y *M. mixteca* (Hernández, 1651; Galván-Hernández et al., 2020).

La mayoría de los estudios genéticos para el género se han realizado para las especies asiáticas y estadounidenses, generando restricción en la información disponible. *Magnolia* sec. *Macrophylla* se ha establecido como un grupo solido en la base de la familia Magnoliaceae. Kim et al. (2001) generaron esta sec.sec. a partir de un análisis filogenético usando el gen de cloroplasto *ndhF*, posteriormente Kim y Suh (2013), rescataron nuevamente a esta sección como un grupo monofilético, empleando 10 regiones del DNA del cloroplasto, aunque solo se usaron a dos de las cuatro especies hasta ese momento descritas para la *Magnolia* sec. *Macrophylla*. Recientemente, Chávez-Cortázar y colaboradores (2021),

identificaron dentro de la sección cuatro grupos con diversidad genética alta entre sí, pero baja a nivel intrapoblacional.

Distribución

Las especies pertenecientes a *Magnolia* sec. *Macrophylla* en México presentan un rango de distribución limitado; los ecosistemas en que se desarrollan son los bosques de niebla o remanentes de este, que se consideran entre los más amenazados por las actividades humanas (Rzedowski, 2006; CONABIO, 2010; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014). En el noroeste del país se encuentran *M. nuevoleonensis* y *M. alexandrae* distribuidas en Nuevo León y Tamaulipas, respectivamente. Con distribución más amplia, en remanentes del bosque mesófilo de montaña (BMM) de los estados de San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo se encuentran *M. rzedowskiana* y *M. zoticla* en el sureste de la Sierra Madre Oriental en los límites de Hidalgo y Puebla; en Oaxaca ocurren dos especies, la recién descrita *M. mixteca* en la Sierra de la Mixteca, y la primera especie descrita en México para esta sección, *M. dealbata* distribuida en la Sierra Norte de Oaxaca (Hernández, 1651; Vázquez-García et al., 2013; Vázquez-García et al., 2016; García-Morales et al., 2017; Ibarra-Martínez, 2020; Sánchez-González et al., 2021; Fig. 1).

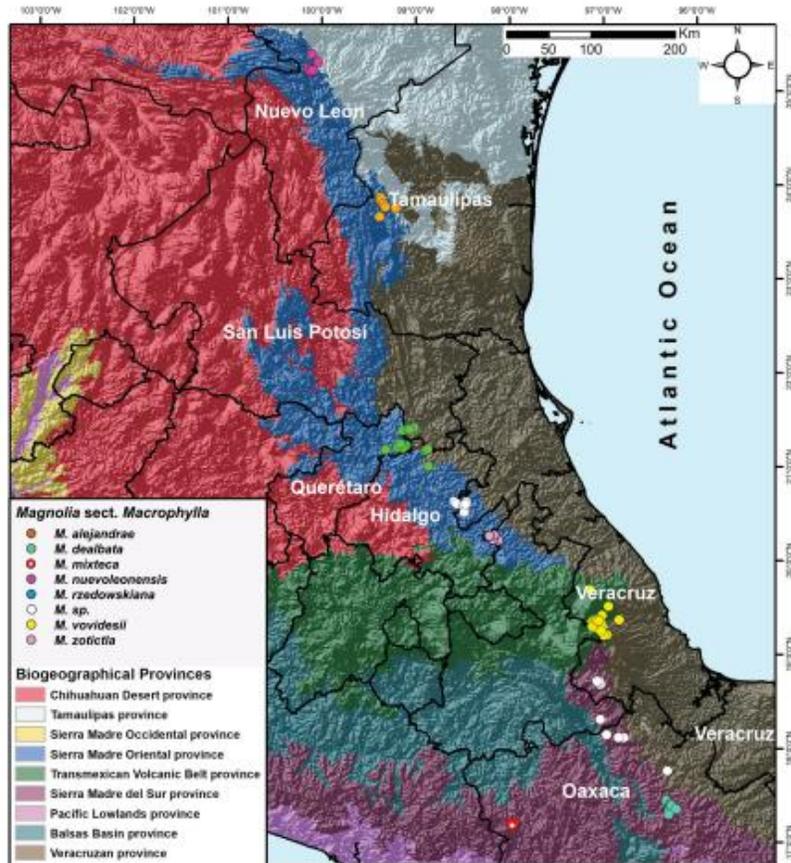


Figura 1. Distribución de las especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla* en México (Imagen tomada de Vázquez-García et al., 2021).

En *M. vovidesii*, la población tipo se encuentra en la localidad de Coyopolan, perteneciente al municipio de Ixhuacán de los Reyes, Veracruz, la cual fue descubierta en la década de 1980 (Gutiérrez, 1993). Al principio esta población se catalogó como parte de *M. dealbata*, pero fue hasta el 2013 cuando se describió como especie nueva (Vázquez-García et al., 2013). En esta región se presenta un remanente de bosque de niebla secundario, rodeado por pastizal; el clima es húmedo y caluroso con temperatura anual de 18 °C y lluvias todo el año (Gutiérrez y Vovides, 1997).

Actualmente, la literatura menciona que *M. vovidesii* también se distribuye en otras zonas de Veracruz, como Huayacocotla, Atecoxil, Axocuapan y algunas localidades en la Sierra de Zongolica (Tequila, La Mojonera, Moxala, Cuacaballo; Fig. 2); aunque no se han hecho estudios especializados para determinar si pertenecen a la misma especie, lo que se

podría cuestionar ya que las poblaciones presentan diferencias con respecto al tipo de vegetación, asociaciones ecológicas y otros factores ambientales en las zonas en las que se desarrollan (Gobierno del Estado de Veracruz, 2016; Chávez-Cortázar et al., 2021; Sánchez-González et al., 2021; Vázquez-García et al., 2021).

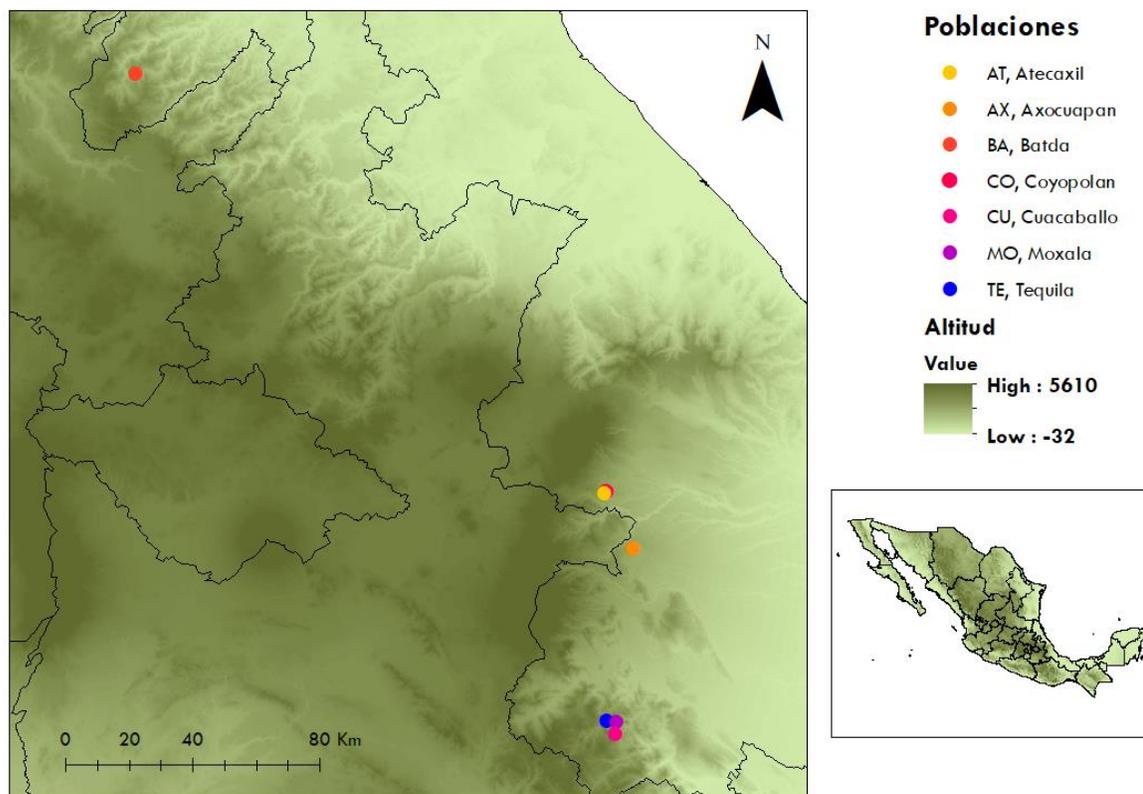


Figura 2. Mapa con la distribución de *Magnolia vovidesii* en el estado de Veracruz, de acuerdo con lo reportado en la literatura.

Descripción botánica de *Magnolia vovidesii*

Es un árbol de 15.0-25.0 m de altura, con 0.09-0.05 m de DAP (diámetro a la altura del pecho), caducifolio; corteza gris oscura y la interior blanca; las primeras ramas se encuentran a 2.0-4.0 m del suelo; ramas verde-amarillentas-tomentosas, con lenticelas de 0.5-2 mm de largo. Hojas delgadas, gigantescas, (24.0-)40.0-55.0(-70.0) x 15.0-30.0 cm, obovado-oblongo agudo a obtusas en el ápice, auriculadas a cordadas en la base, el margen entero a ondulado, verde y en su mayoría glabro arriba, glauca blanqueada por cera epicuticular escamosa debajo, cubierta escasa o densamente con pelos blancos y suaves; peciolos de 5.5-

8.0 cm de largo, estipulas de 19.0 x 9.0 cm, adheridas al pecíolo, membranosas, oblongo-lanceoladas, acuminadas en el ápice hasta 19.0 x 9.0 cm, densa a escasamente seríceas por fuera, glabras por dentro. Botón floral recubierto por 2-3 brácteas ovado-oblongoides espataceas membranosas, 12.0-16.0 x 3.2-4.8 cm, densamente seríceas,; flores abiertas color crema a blanco, con un perfume fragante dulce, con una mancha purpura en la base de los pétalos; sépalos, oblongo-elípticos, truncados en la base, agudos en el ápice, 12.0-13.0 x 3.1-3.9 cm, blanco verdosos al secarse, glabros a glaucos por la cera epicuticular; 6 pétalos, blanco cremosos, oblongo-elípticos, 12.0-18.0 x 6.5-8.0 cm, agudos en el ápice, abruptamente atenuados en la base, blancos cuando están frescos, la lámina glabra; 308-352 estambres, 22 filas en espiral, cada una con 14-16 estambres, lineales, carnosos, 1-1.9 cm de largo, amarillos cuando están frescos, cafés cuando se secan, redondeados u obtusos en el ápice, trancos en la base; gineceo ovoide-oblongoide, densamente amarillento-velutinoso; estilos de 0.4-0.5 cm de longitud, lineales subclavados, blanco cremosos, glabros; frutos polifolículos, ovoide-oblongoides a cónicos, 10.0-12.0 x 4.5-7.0; folículos 60.-70(-78), pubescentes densa a escasamente blanquecinos, amarillo dorados en las paredes intercapilares, extensión de la sutura de la válvula dorsal de solo 0.1-0.3 cm de ancho como un margen estrecho y engrosado; semillas de 1.1-1.2 x 0.6-0.7 cm, con una sarcotesta anaranjada, esclerotesta parduzca y tegumento interior amarillento (Gutiérrez y Vovides, 1997; Vázquez-García et al., 2013; Fig. 3).



Figura 3. *Magnolia vovidesii*. A) Flor en fase femenina en dehiscencia. B) Flor abierta después de fase masculina en campo. C) Fruto maduro con semillas. D) Hoja superficie adaxial.

Fenología

La fenología se conoce como la temporalidad de las fenofases (foliación, floración, fructificación y dehiscencia) de un ciclo anual (Terborgh, 1992; Dahua-Machoa, 2018). Los estudios del comportamiento fenológico de las especies arbóreas nos ayudan a entender el comportamiento, al igual que las interacciones con sus polinizadores. Para el caso de *Magnolia* se sabe que las flores abren por la noche y la caída del último hipsofilo que cubre el botón floral marca el inicio de la floración. La floración tiene dos fases, femenina y masculina. Cuando el último hipsofilo cae, da inicio la apertura de las flores para atraer los polinizadores a la fase femenina donde los estilos están receptivos al polen y posteriormente cerrarse hasta el día siguiente; cuando la flor vuelve a abrir, da inicio la fase masculina, donde los estambres caen y liberan los granos de polen de esta forma los polinizadores lo llevan a otra flor (Vázquez-García et al., 2015; Chen et al., 2016; Gallardo-Yobal, 2021).

La producción de fragancias florales para las especies vegetales ha resultado un atractivo de gran importancia en la interacción con los insectos. Se ha planteado que los aromas desempeñaron un papel clave en la evolución temprana de los sistemas de polinización (Knudsen et al., 1993; Porsch, 1994; Gallardo-Yobal, 2021). Este es uno de los factores que se ha ligado directamente al mecanismo de cantarofilia (polinización por escarabajos asociados a inflorescencias protoginas); así como con la antesis nocturna, termogénesis, producción y liberación de aromas fuertes y permanentes, relacionados con flores de coloración clara y antesis de la apertura floral, utilizando al polen como principal recompensa y ausencia de nectarios (Henderson, 1986; Thien, 1974; Thien et al., 2009; Lui et al., 2017; Gallardo-Yobal, 2021).

El género *Magnolia* presenta flores vistosas de color blanco, con una fragancia dulce, son visitadas y polinizadas principalmente por escarabajos que participan en todas las etapas del desarrollo floral, se alimentan de los estigmas, el polen, el néctar y las secreciones de los pétalos, cubriéndose de polen mientras se alimentan. Se ha identificado a las familias Nitidulidae y Scarabidae como las más frecuentes, e individuos de los géneros *Mordella*, *Nitidula*, *Degeneria* y *Myristica* (Thien, 1974; Vázquez-Morales et al., 2014; Gallardo-Yobal, 2021). En el caso de las *Magnolias* sec. *Macrophylla* se han observado a

Cyclocephala jalapensis, *M. vovidesii* se ha reportado a escarabajos del género *Valgus* (Gutiérrez, 1993; Vázquez-García et al., 2021).

M. vovidesii al ser un árbol caducifolio, comienza la producción de hojas nuevas a principio del mes de marzo, la senescencia y caída es durante noviembre. Los individuos entre 7-10 años son los que presentan flores a finales de abril e inicios de mayo, las flores maduran después de cinco días. Los primeros frutos se desarrollan durante el mes de agosto y maduran durante septiembre-octubre (Gutiérrez, 1993; Vázquez-García et al., 2013).

Factores ecológicos que influyen sobre la distribución de especies

De manera global, el gradiente latitudinal influye sobre la distribución de las especies ya que, se ha visto que tanto la diversidad como la riqueza disminuyen entre más alejado se encuentre del ecuador, debido a su correlación con la exposición de energía solar, la precipitación, la disponibilidad de nutrientes y nichos ecológicos (Gentry, 1988; Vázquez-García y Givnish, 1988; Gaston, 2000; Clark, 2002). Así mismo, los factores climáticos tienen gran influencia en la delimitación de la distribución de las plantas (Zangiabadi et al., 2021).

A una escala más pequeña se sabe que el clima local, las condiciones topográficas y los factores edáficos tienen mayor influencia sobre la biodiversidad, en cuestión de distribución y abundancia de las especies, en especial de las plantas (Clark, 2002; Pennington et al., 2009; Domínguez-Yesca et al., 2020). Por ejemplo, la temperatura mínima puede alterar las funciones fisiológicas relacionadas con el intercambio de gaseoso de las hojas; la combinación de factores como la radiación solar y la temperatura estacional juegan un papel clave en la germinación de las semillas o en la temporada de floración; la radiación solar por sí misma, puede afectar la producción de biomasa (Hay, 1990; Zangiabadi et al., 2021). El suelo juega un rol importante en la accesibilidad al agua y nutrientes; la textura del suelo puede influir en la fijación de nitrógeno y fósforo, generando un soporte para el desarrollo de raíces y el establecimiento de las plantas (Bornman et al., 2008; Austin y Van Niel, 2010; Zangiabadi et al., 2021).

En el caso de las especies endémicas o de distribución restringida, los requerimientos ambientales que necesitan son muy específicos para su desarrollo, por tal motivo, muestran un patrón de distribución agregado, lo que genera mayor competencia por los recursos dando

como resultado bajos números de individuos, esto se ha observado en varias especies de flora, entre ellas las magnolias (Li et al., 2017; Palmarola et al., 2018; 2022).

Trabajos ecológicos en Magnolias

En muchas magnolias se han realizado trabajos en diferentes áreas del conocimiento, entre ellos, los estudios ecológicos se centran en aspectos como demografía y estructura poblacional, polinización, fenología, estudios edáficos y asociaciones vegetales. Al respecto, en *M. macrophylla* se ha evaluado la dinámica poblacional mediante parámetros demográficos y su correlación con las especies dominantes en las áreas de distribución de sus poblaciones (Tompkins, 2004), de igual forma se ha evaluado la estructura poblacional e influencia del efecto de la perturbación ante el reclutamiento y densidad poblacional en *M. grandifolia* (Batista y Platt, 2003), *M. vovidesii* (Sánchez-Velásquez y Pineda-López 2010; Galván-Hernández et al., 2020) y en *M. cubensis* (Palmarola et al., 2018).

En cuanto a la evaluación de la germinación de la semilla, se han realizado diversos trabajos con resultados contrastantes entre especies, por ejemplo, en el caso de *M. iltisiana* se registró un 60% de germinación (Saldaña et al., 2001), en *M. dealbata* se ha obtenido hasta un 100% (Corral-Aguirre y Sánchez-Velásquez, 2006), en cambio, en *M. schiedeana* se ha registrado un 84% (Vásquez-Morales y Sánchez-Velásquez, 2011).

Para el caso de las interacciones podemos encontrar trabajos como el de Thien (1974) que logró identificar a los escarabajos como los principales polinizadores de las magnolias, lo cual se ha detallado de mejor manera en *M. tamaulipana* A.Vázquez (Dieringer et al., 1990), *M. ovata* A. St.-Hil, Spreng. (Gottsberger et al., 2012) y *M. vargasiana* A.Vázquez & D.A. Neill (Vázquez-García et al., 2015); además de diversos trabajos recientes, en los cuales se han enfocado en otros aspectos ecológicos con la plasticidad, tolerancia a condiciones ambientales adversas, e historia demográfica, por mencionar algunas (Tabla 1).

Tabla 1. Trabajos realizados en el género *Magnolia* sobre aspectos ecológicos.

Autor	Año	Tema
Jacobo-Pereira et al.,	2016	Seed germination of <i>Magnolia pugana</i> (Magnoliaceae), an endemic and endangered species from Western Mexico.
Sánchez-Velásquez et al.,	2016	Ecological and conservation of endangered species: The case of magnolias.
Rodríguez-Ramírez et al.,	2018	Drought effects on vessel plasticity of two endemic <i>Magnolia</i> species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico.
Sjöman et al.,	2018	Magnolias as urban trees – a preliminary evaluation of drought tolerance in seven magnolia species
Domínguez-Yesca et al.,	2020	Small-Scale Environmental Drivers of Plant Community Structure and Diversity in Neotropical Montane Cloud Forests Harboring Threatened <i>Magnolia dealbata</i> in Southern Mexico
Rounsaville	2020	Spatiotemporal recruitment patterns of two introduced <i>Magnolia</i> L. species in a disturbed oak forest.
Testé et al.,	2021	Temporal changes in the structure and distribution of <i>Magnolia virginiana</i> subsp. <i>oviedoae</i> (Magnoliaceae): implications for its conservation status.
Zhou et al.,	2021	Population demographic history of a rare and endangered tree <i>Magnolia sprengeri</i> Pamp. in East Asia revealed by molecular data and ecological niche analysis.

Morfometría

Las características morfológicas son el conjunto de estructuras o componentes que conforman a las especies, los cuales, se han utilizado para diferenciar taxones; ya que ciertas características son únicas para estos. Los trabajos morfométricos nos ayudan a identificar discontinuidades que delimiten grupos y/o especies (Bateman y Rudall 2006; Arteaga-Ríos, et al., 2018).

Para el género *Magnolia*, los caracteres morfológicos han permitido distinguir entre especies y comprender la variación existente entre poblaciones. Estos trabajos han usado principalmente caracteres foliares y florales. Por ejemplo, Yang et al. (2015), utilizaron 37 caracteres morfológicos de *M. sprengeri* en dos poblaciones de China, encontrando que existe una amplia variación morfológica dentro y entre poblaciones, lo cual, se atribuyó a la plasticidad fenotípica de la especie. Existen caracteres que presentan mayor variación, como lo encontrado por Vite (2016), tras realizar un estudio morfo-anatómico de *M. schiedeana* Schldl., donde se analizaron 20 variables, pero solo tres explicaban la mayor variación. En

la Tabla 2 se resumen algunos trabajos desarrollados sobre la morfología de la familia Magnoliaceae.

Tabla 2. Trabajos realizados con el género *Magnolia* usando caracteres morfológicos.

Autor	Año	Tema
Yang et al.,	2015	Phenotypic variation and diversity of <i>Magnolia sprengeri</i> Pamp. in native habitat
Gutiérrez-Lozano et al.,	2020	Diferenciación morfológica poblacional de <i>Magnolia rzedowskiana</i> (Magnoliaceae): especie endémica en peligro de extinción de la sierra Madre Oriental, México.
Arteaga-Ríos et al.,	2020	Comparación molecular y morfológica entre ejemplares de <i>Magnolia mexicana</i> “Yoloxochilt” (Magnoliaceae) del estado de México y Veracruz.
Rodríguez-Ramírez et al.,	2021	Leaf vein morphological variation in four endangered Neotropical <i>Magnolia</i> species along an elevation gradient in the Mexico tropical montane cloud forests
Gutiérrez-Lozano et al.,	2021	Variación en la morfología foliar, floral y frutal de <i>Magnolia mexicana</i> (DC.) G. Don (sec.ión <i>Talauma</i> , Magnoliaceae) en México.

Factores que influyen sobre la diversidad genética

La diversidad genética se puede definir como la variación en los genes de los individuos dentro y entre poblaciones de una misma especie, y esta es esencial para que ocurra el proceso de la selección natural y se generen cambios evolutivos (Glowka et al., 1996; Frankham, 2012). Dicha variación se puede presentar desde un cambio de nucleótido en la secuencia de DNA, o de manera indirecta en las características bioquímicas, propiedades fisiológicas o caracteres morfológicos (Ibarra-Martínez, 2020). Así mismo, el conocer la estructura genética nos brinda una perspectiva sobre la historia de una población, y además nos ayuda a entender los problemas que podrían limitar su adaptación, distribución, mantenimiento y supervivencia a largo plazo, con respecto a entornos estresantes o cambiantes (Frankham, 2012).

La diversidad genética se ve afectada, principalmente por barreras al flujo de genes, la dispersión y deriva génica aleatoria, así como al aislamiento espacial, en particular la fragmentación del hábitat, ya que al dividir a la población, se reduce el flujo genético o lo interrumpe completamente, lo que lleva al aumento de la consanguineidad y de la deriva génica, dando como resultado un impacto directo sobre la diversidad genética (de Ita et al.,

2012; Nunziata et al., 2016; Chávez-Cortázar et al., 2021), así mismo a través de factores ecológicos extrínsecos como la pérdida de hábitat, plagas, pérdida de polinizadores, entre otros, que pueden disminuir la diversidad genética. En cambio, la diversidad genética puede aumentar por mutaciones estocásticas o ser influenciada por fluctuaciones demográficas que aumentan el tamaño efectivo de la población (Fig. 4) (Lowe et al., 2004; Salinas-Ivanenko y Mùrria, 2021).

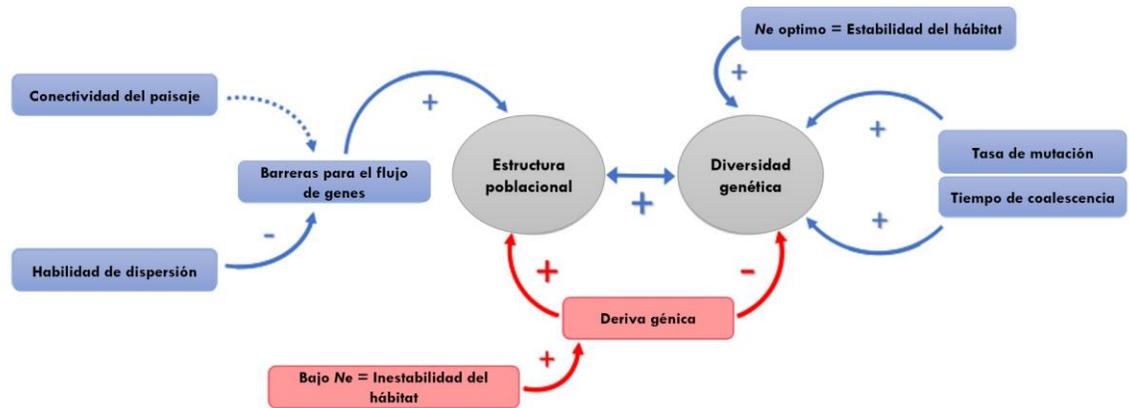


Figura 4. Principales factores que influyen sobre la diversidad genética y estructura poblacional (Modificado de Salinas-Ivanenko y Mùrria, 2020).

Por otro lado, se encuentra la selección natural, ésta altera la tasa reproductiva y la supervivencia de los genotipos ante los cambios ambientales naturales, conduciendo a un cambio evolutivo adaptativo. La selección natural determina cuales genotipos son más adecuados para la supervivencia y la reproducción de las especies, por ende, los alelos que representen una mayor aptitud serán más frecuentes en la población (Griffiths et al., 2000; Frankham et al., 2004). Pero esto sucede únicamente en un ambiente dado, es decir, entre dos poblaciones los alelos adaptativos favorables pueden ser completamente diferentes.

La pérdida de diversidad genética, así como la manifestación de divergencias entre poblaciones, se muestran con mayor intensidad en aquellas con tamaños reducidos (Cabrero y Camacho, 2002; Frankham et al., 2004), dando como resultado, un mayor efecto por deriva génica, la cual conduce a la fijación o eliminación de alelos por simple azar, lo que provoca aumentos en los promedios de homocigotos en las poblaciones hasta su fijación a largo plazo

(Griffiths et al., 2000). Se puede observar el efecto de la deriva génica cuando una fracción de una población se separa, ya sea por migración o aislamiento, cuellos de botella u otro factor. De esta forma, se promueve la formación de una nueva población, con un número reducido de individuos que representan solo una muestra de la diversidad genética de la población original, conocido como efecto fundador (Griffiths et al., 2000; Palacios, 2018).

La mutación, es otro factor que puede modificar la diversidad genética de una población; esta se entiende como los cambios en alelos o cromosomas, generados por errores en la replicación del DNA, elementos genéticos móviles, roturas cromosómicas, entre otros, dando como resultado nuevas variantes genéticas (Frankham et al., 2004). Las mutaciones pueden ocurrir al azar en cualquier momento y en cualquier célula de un organismo, pueden ser de dos tipos: las mutaciones génicas son aquellas que provocan cambios a nivel de alelos y generan nuevas variantes alélicas; las mutaciones cromosómicas provocan cambios en secciones específicas de los cromosomas y en cromosomas enteros. Las mutaciones pueden manifestar características fenotípicas beneficiosas, neutras o dañinas para los organismos (Griffiths et al., 2000; Frankham et al., 2004; Palacios, 2018). No obstante, para que estas mutaciones tengan algún efecto a nivel poblacional deben ser heredables, es decir, suceder en células gaméticas.

Trabajos genéticos en Magnolias

Los avances en los procesos moleculares han permitido el desarrollo de técnicas que ayudan a disminuir algunas limitaciones en la identificación de especies con solo caracteres morfológicos. En este sentido, los estudios genéticos que usan marcadores moleculares han permitido observar la diversidad genética que hay en las especies y de esta forma integrar los datos a la hora de la delimitación taxonómica de las especies (Rentería, 2007; Acosta-Hernández et al., 2011).

Para el caso de la familia Magnoliaceae, la diversidad genética se ha evaluado en diferentes especies, tanto intra como entre poblaciones, siendo las especies asiáticas las más estudiadas, como en el caso de *M. sieboldii* subsp. *japonica* Ueda, donde emplearon microsátélites para identificar la variación entre micropoblaciones (Kikuchi e Isagi, 2002), el caso de *M. obovata* donde evaluaron los patrones de polinización y las consecuencias de

la fragmentación en la diversidad genética usando microsatélites (Isagi et al., 2004, 2007), así como en *M. stellata* (Siebold & Zucc.) Maxim. (Setsuko et al., 2007; Tamaki et al., 2008) y *M. wufengensis* L.Y.Ma & L.R.Wang (Chen et al., 2014), donde se analizó la variación y flujo de genes. Para el continente americano, también se han realizado diferentes trabajos de genética de poblaciones en las especies *M. acuminata* (L.) L. (Wollaeger, 2011), *M. mexicana* (Medrano-Hernández et al., 2017; Arteaga-Rios et al., 2020) y *M. tamaulipana* (García-Montes et al., 2022). Además, se ha evaluado la diversidad genética con respecto a la perturbación en *M. cubensis* subsp. *acunae* Imkhan (Hernández et al., 2020).

Tabla 3. Trabajos realizados con aspectos genéticos en el género *Magnolia*.

Autor	Año	Tema
Budd et al.,	2015	Conservation genetics of <i>Magnolia acuminata</i> , an endangered species in Canada: Can genetic diversity be maintained in fragmented, peripheral population?
von Kohn et al.,	2018	Genetic diversity of <i>Magnolia ashei</i> characterized by SSR markers.
Tamaki et al.,	2019	Population genetics structure and demography of <i>Magnolia kobus</i> : variety <i>borealis</i> is not supported genetically.
Wang et al.,	2019	Development of EST-SSR markers and their application in an analysis of the genetic diversity of the endangered species <i>Magnolia sinostellata</i> .
Muñiz-Castro et al.,	2020	Population genetics, species boundaries, and conservation in <i>Magnolia pacifica</i> species complex along a continentality and moisture gradient in western Mexico.
Fan et al.,	2020	Decreasing genetic connectivity in the endangered tree <i>Magnolia patungensis</i> in fragmented forests.
Zhang et al.,	2021	Genome-wide assessment of genetic diversity and population structure in <i>Magnolia odoratissima</i> based on SLAF-Seq.
Veltjen et al.,	2022	The evolutionary history of the Caribbean magnolias (Magnoliaceae): Testing species delimitations and biogeographical hypotheses using molecular data.

También se han empleado los métodos moleculares, para realizar trabajos filogenéticos y biogeográficos, por ejemplo, el presentado por Kim y Suh (2013) donde usaron secuencias de DNA de cloroplasto para establecer las relaciones dentro de la familia Magnoliaceae, al igual que, Nie et al. (2008) usando tres genes nucleares para reconstruir la historia de la familia. Por otro lado, se han usado, la combinación de genes nucleares y del

cloroplasto para esclarecer las relaciones y las secciones en las que se divide Magnoliaceae (Dong et al., 2022). El avance en estos métodos ha generado una gran cantidad de trabajos en los últimos años, algunos de ellos se sintetizan en la Tabla 3.

Estatus de conservación

En la última actualización de la Red List de la IUCN (Rivers et al., 2016), para el caso de la Familia Magnoliaceae, se incorporaron tres especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla*, siendo estas *M. nuevoleonensis*, *M. rzedowskiana* y *M. vovidesii*, esta última bajo la categoría de EN (En Peligro), bajo los criterios de B1ab (iii,v), que hace referencia a B1: Tamaño del rango geográfico y fragmentación, declinación o fluctuaciones (Rivers, 2016); mientras que Galván-Hernández et al. (2020) mencionan que debería recategorizarse como CR (Peligro Crítico). Además, cumple con los criterios de la sección c(iv) y el criterio C, que hace referencia al número de individuos adultos presentes en la población.

En cuanto la normativa mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), *M. vovidesii* no forma parte de la última modificación al Anexo Normativo III del 2018 (Listado de especies en Riesgo), ninguna de las especies descritas recientemente se encuentra en alguna de las categorías que establece la normativa mexicana. De acuerdo con los datos de Galván-Hernández et al. (2020), que fueron comparados con los criterios que se establecen en el Anexo II de la NOM (Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de Plantas en México), se considera que *M. vovidesii* debería estar en la categoría P (En Peligro de Extinción). Cabe resaltar que estas categorizaciones se hicieron contemplado únicamente, la población tipo de la especie, la cual ha estado en constante pérdida de individuos, más si las poblaciones reportadas resultaran ser parte de la misma especie, su estatus tanto en la normativa internacional como la mexicana se reajustaría.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, en la familia Magnoliaceae, en particular en *Magnolia* sec. *Macrophylla*, la delimitación y clasificación de especies se ha basado en caracteres morfológicos que, en algunos casos, pierden poder resolutivo ya que la expresión fenotípica está regulada también por el ambiente, a diferencia de la variación genética que depende de la respuesta evolutiva que ha tenido una población o especie a lo largo del tiempo. En este sentido, se busca definir la identidad taxonómica de las poblaciones de *Magnolia vovidesii* distribuidas en la zona centro del estado de Veracruz, con base en caracteres morfológicos y genéticos que permitan precisar en conjunto su estatus de conservación a nivel nacional e internacional, al igual que realizar propuestas de conservación bajo un enfoque sostenible.

HIPÓTESIS

La población tipo de *Magnolia vovidesii* se encuentra en constante reducción poblacional, lo que puede reflejarse en la disminución de su variación genética, además, si se corrobora la identidad taxonómica de las poblaciones que se encuentran en los extremos de su distribución, esto contribuirá con una marcada estructura genética entre los sitios lo cual también podrá manifestarse en diferencias morfológicas significativas.

OBJETIVOS

General

Determinar la identidad taxonómica de las poblaciones reportadas como *Magnolia vovidesii*, mediante análisis ecológicos, morfológicos y genéticos; para establecer el estado de conservación actual de la especie.

Específicos

- Cuantificar el efecto de la perturbación sobre las poblaciones de *Magnolia vovidesii* mediante indicadores métricos e identificar si existe correlación con respecto a la variación morfológica.
- Comparar la estructura demográfica de las poblaciones de *M. vovidesii*, mediante tablas de vida estática y el componente reproductivo, para evaluar si existe relación entre la perturbación y la tasa de crecimiento poblacional.
- Analizar la variación morfológica de las poblaciones conocidas de *M. vovidesii* con base en caracteres foliares, florales y del fruto; para proponer una actualización en los caracteres diagnóstico de la especie.
- Evaluar la diversidad y estructura genética de las poblaciones de *M. vovidesii* mediante el uso de marcadores moleculares SSR, para establecer la identidad taxonómica de las poblaciones descritas en la literatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Hernández, C. C., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carrazana, J. C., Galindo-González, J., Vázquez-Torres, S. M., Morales-Romero, Z. y Iglesias-Andreu, L. G. (2011). Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1): 59-67.
- Arteaga-Rios, L. D., Mejía-Carraza, J., Piña-Escutia, J. L., González-Díaz, J. G. y Rivera-Colín, A. (2020). Comparación molecular y morfológica entre ejemplares de *Magnolia mexicana* “Yoloxóchitl” (Magnoliaceae) del estado de México y Veracruz. *Polibotánica*, (49): 107-124.
- Austin, M. P. y Van Niel, K. P. (2010). Improving species distribution models for climate change studies: variable selection and scale. *Journal of Biogeography*. 38: 1-8.
- Azuma, H., García-Franco, J. G., Rico-Gray, V. y Thien, L. B. (2001). Molecular phylogeny of the *Magnoliaceae*: the biography of tropical and temperate disjunctions. *American Journal of Botany*, 88: 2275-2285.
- Bateman, R. M. y Rudall, P. J. (2006). Evolutionary and morphometric implications of morphological variation among flowers within an inflorescence: a case-study using European orchids. *Annals of Botany*, 98(5): 975-993.
- Bartolo-Hernández, C. de J. (2019). Evaluación del estado poblacional actual de *Magnolia vovidesii* en Ixhuacán de los Reyes, Veracruz. Tesis. ICBI, UAEH. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Batista, W. B. y Platt, W. J. (2003). Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old-growth forest. *Journal of Ecology*, 92(2): 197-212.
- Bornman, T. G., Adams, J. B. y Bate, G. C. (2008). Environmental factors controlling the vegetation zonation patterns and distribution of vegetation types in the Olifants Estuary, South Africa. *South African Journal of Botany*, 74: 685–695.
- Budd, C., Zimmer, E., y Freeland, J. R. (2015). Conservation genetics of *Magnolia acuminata*, an endangered species in Canada: can genetic diversity be maintained in fragmented, peripheral populations?. *Conservation Genetics*, 16: 1359-1373.

- Cabrero, J. y Camacho, J. P. M. (2002). Fundamentos de la genética de poblaciones. *In* Soler, M. (Ed.). *Evolución: La base de la biología*. España, Proyecto Sur. 83-123 pp.
- Chávez-Cortázar, A., Oyama, K., Ochoa-Zavala, M., Mata-Rosas, M., Veltjen, E., Samain, M-S. y Quesada, M. (2021). Conservation genetics of relict tropical species of *Magnolia* (section *Macrophylla*). *Conservation Genetics*, 22: 259-273.
- Chen, L., Chen, F., He, S. y Ma, L. (2014). High genetic diversity and small genetic variation among populations of *Magnolia wufengensis* (Magnoliaceae), revealed by ISSR and SRAP markers. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17(6): 268-274.
- Chen, Y., Chen, G., Yang, J., y Sun, W. (2016). Reproductive biology of *Magnolia sinica* (Magnoliaceae), a threatened species with extremely small populations in Yunnan, China. *Plant Diversity* 38(5): 253-258.
- Clark, D. B. (2002). Los factores edáficos y la distribución de las plantas. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. LUR, Cartago, Costa Rica, 193-221.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2010). *El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible*. México, D. F. 197 p.
- Corral-Aguirre, J., y Sánchez-Velásquez, L. R. (2006). Seed ecology and germination treatments in *Magnolia dealbata*: an endangered species. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 201(3): 227-232.
- Dahua-Machoa, N. A. (2018). *Temporalidad de fenofases y micropropagación in vitro de tres especies relictuales de Magnolia del Occidente de México: implicaciones para su conservación in situ y ex situ*. Tesis de Maestría, CUCBA, UdG. Zapopan, Jalisco, México.
- Dandy, J. E. (1971). The classification of the Magnoliaceae. *Newsletter of the American Magnolia Society*, 8: 3-6.
- de Ita, A. O., Oyama, K., Smith, T. B., Wayne, R. K. y Milá B. (2012). Genetic evidence for recent range fragmentation and severely restricted dispersal in the critically endangered Sierra Madre Sparrow, *Xenospiza baileyi*. *Conservation Genetics* 13: 283-291. <https://doi.org/10.1007/s10592-011-0283-0>

- Dieringer, G., Cabrera R, L., Lara, M., Loya, L. y Reyes-Castillo, P. (1999). Beetle pollination and floral thermogenicity in *Magnolia tamaulipana* (Magnoliaceae). *International Journal of Plant Sciences*, 160(1): 64-71.
- Domínguez-Yescas, R., Vázquez-García, J. A., Muñiz-Castro, M. Á., Hernández-Vera, G., Salcedo-Pérez, E., Rodríguez-Pérez, C. y Gallardo-Yobal, S. I. (2020). Small-scale environmental drivers of plant community structure and diversity in neotropical montane cloud forests harboring threatened *Magnolia dealbata* in Southern Mexico. *Diversity*, 12(12): 444. doi:10.3390/d12120444
- Dong, S. S., Wang, Y. L., Xia, N. H., Liu, Y., Liu, M., Lian, L., Li, Na., Lang X-A., Gong, Y-Q., Chen, L., Wu, E. y Zhang, S. Z. (2022). Plastid and nuclear phylogenomic incongruences and biogeographic implications of *Magnolia* s.l. (Magnoliaceae). *Journal of Systematics and Evolution*, 60(1): 1-15.
- Fan, X. R., Wagutu, G. K., Wen, X. Y., Chen, S. L., Liu, Y. L. y Chen, Y. Y. (2020). Decreasing genetic connectivity in the endangered tree *Magnolia patungensis* in fragmented forests. *Global Ecology and Conservation*, 24: e01227.
- Figlar, R. B., y Nootboom, H. P. (2004). Notes on Magnoliaceae IV. *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 49(1): 87-100.
- Frankham R (2012) How closely does genetic diversity in finite populations conform to predictions of neutral theory? Large deficits in regions of low recombination. *Heredity* 108: 167-178.
- Frankham, R., Ballou, J. D. y Briscoe, D. A. (2004). A primer of conservation genetics. Cambridge University Press.
- Frodin, D. G., y Govaerts, R. (1996). World checklist and bibliography of Magnoliaceae. *Royal Botanic Gardens*, Kew, UK.
- Gallardo-Yobal, S. I. (2021). Ecología y estado de conservación de *Magnolia alejandrae* García-Morales (Magnoliaceae) una especie endémica del Noreste de México. Tesis de Doctorado. UAT. Cd Victoria, Tamaulipas, México.
- Galván-Hernández, D. M., Octavio-Aguilar, P., Bartolo-Hernández, C. de J., García-Montes, M. A., Sánchez-González, A., Ramírez-Bautista, A. y Vovides, A. (2020). Current Status of *Magnolia vovidesii* (Magnoliaceae, Magnoniales): New Data on Population

- Trends, Spatial Structure and Disturbance Threats. *Tropical Conservation Science*, 13: 1-12.
- García-Montes, M. A., Cibrian-Jaramillo, A., Reyes-Zepeda, F., Chacón-Hernández, J. C., Vanoye-Eligio, V., Sánchez-González, A. y Octavio-Aguilar, P. (2022). *Magnolia tamaulipana*: genetic evaluation shows high vulnerability in a narrow distribution. *International Journal of Plant Sciences*, 183(2): 154-167.
- García-Morales L. J., Lamonico, D. y Jiménez, J. G. (2017). Nomenclatural remarks indicate a *Magnolia* sect. *Macrophylla* (Magnoliaceae), with description of a new species from North America (Tamaulipas, Mexico). *Phytotaxa*, 309(3): 238-244.
- Gaston, K. J. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405(6783): 220-227.
- Gentry, A. H. (1988). Changes in Plant Community Diversity and Floristic Composition on Environmental and Geographical Gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75: 1-34. <https://doi.org/10.2307/2399464>
- Glowka, L., Burhenne-Guilmin, F., Synge, H., McNeely, J. A. y Gündling, L. (1996). Guía del Convenio sobre la Diversidad Biológica. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido.
- Gobierno del Estado de Veracruz. (2016). Actualización del Ordenamiento Ecológico del Estado de Veracruz: Caracterización del Medio Biológico. Veracruz. SEDEMA. 106 pp
- Gottsberger, G., Silberbauer-Gottsberger, I., Seymour, R. S. y Dötterl, S. (2012). Pollination ecology of *Magnolia ovata* may explain the overall large flower size of the genus. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(2): 107-118.
- Griffiths, A. J., Miller, J. H., Suzuki, D. T., Lewontin, R. C. y Gelbart, W. M. (2000). *An Introduction to Genetic Analysis*. 7th Edition, Macmillan: New York, NY, USA.
- 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 (CONABIO), México, D. F., 352 pp.
- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, 10(1).

- Gutiérrez-Lozano, M., Sánchez-González, A., Vázquez-García, J. A., Mata, L. L. y Octavio-Aguilar, P. (2020). Diferenciación morfológica poblacional de *Magnolia rzedowskiana* (Magnoliaceae): especie endémica en peligro de extinción de la sierra Madre Oriental, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(2): 10.
- Gutiérrez, L. (1993). Estudio biológico de una especie forestal endémica (*Magnolia dealbata* Zucc.). Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Monterrey, N.L., México.
- Gutiérrez, L. y Vovides, A. P. (1997). An *in-situ* study of *Magnolia dealbata* Zucc. in Veracruz State: an endangered endemic tree of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 6(1): 89-97.
- Hay, R. K. M. (1990). The influence of photoperiod on the dry matter production of grasses and cereals. *New Phytologist*, 116: 233–254.
- Hebda, R. J. e Irving, E. (2004). On the origin and distribution of magnolias: tectonics, DNA and climate change. *Geophysical Monograph Series*, 145: 43-57.
- Henderson, A. (1986). A review of pollination studies in the Palmae. *The Botanical Review*, 52(3): 221-259.
- Hernández, F. (1651). Rerum medicarum Novae Hispaniae thesaurus: seu, Plantarum animalium mineralium Mexicanorum historia. *Jacobus Mascardus*. Roma. p. 376.
- Hernández, M., Palmarola, A., Veltjen, E., Asselman, P., Testé, E., Larridon, I., Samain, M-S. y González-Torres, L. R. (2020). Population structure and genetic diversity of *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* (Magnoliaceae): effects of habitat fragmentation and implications for conservation. *Oryx*, 54(4): 451-459.
- Ibarra-Martínez, M. V. (2020). Relaciones filogenéticas y filogeográficas de *Magnolia* sección *Macrophylla* en México. Tesis de Maestría. UdG. Guadalajara, Jalisco, México.
- Isagi, Y., Kanazashi, T., Suzuki, W., Tanaka, H. y Abe, T. (2004). Highly variable pollination patterns in *Magnolia obovata* revealed by microsatellite paternity analysis. *International Journal of Plant Sciences*, 165(6): 1047-1053.
- 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*. *Sustainability and Diversity of Forest Ecosystems: An Interdisciplinary Approach*, 382-389.

- Jacobo-Pereira, C., Romo-Campos, R. y Flores, J. (2016). Seed germination of *Magnolia pugana* (Magnoliaceae), an endemic and endangered species from Western Mexico. *Botanical Sciences*, 94(3): 575-584.
- Kikuchi, S. e Isagi, Y. (2002). Microsatellite genetic variation in small and isolated populations of *Magnolia sieboldii* ssp. *japonica*. *Heredity*, 88(4): 313-321.
- Kim, S., Park, C. W., Kim, Y. D. y Suh, Y. (2001). Phylogenetic relationships in family Magnoliaceae inferred from ndhF sequences. *American Journal of Botany*, 88(4): 717-728.
- Kim, S. y Suh, Y. (2013). Phylogeny of Magnoliaceae based on ten chloroplast DNA regions. *Journal of Plant Biology*, 56(5): 290-305.
- von Kohn, C., Conrad, K., Kramer, M. y Pooler, M. (2018). Genetic diversity of *Magnolia ashei* characterized by SSR markers. *Conservation Genetics*, 19: 923-936.
- Knudsen, J. T., Tollsten, L. y Bergste, L. G. (1993). Floral scents: A checklist of volatile compounds isolated by head-space techniques. *Phytochemistry*, 33(6): 253-280.
- Li, J., Wu, Y., Wu, T., Cao, L., Chen, J., Qiu, Z. y Liu, P. (2017). Significance of stump-sprouting for the population size structure and spatial distribution patterns of endangered species, *Magnolia cylindrical*. *Polish Journal Ecology*, 65: 247- 257.
- Liu, H., Xu, Q. Y., Lundgren, M. R. y Ye, Q. (2017). Different water relations between flowering and leaf periods: a case study in flower-before-leaf-emergence *Magnolia* species. *Functional Plant Biology*, 44(11): 1098-1110.
- Lowe, A., Harris, S. y Ashton, P. (2004). Ecological genetics: Design, analysis, and application. Blackwell Publishing.
- Pennington, R. T., Lavin, M., y Oliveira-Filho, A. (2009). Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40: 437-457.
- Medrano-Hernández, J. M., Rodríguez de la O, J. L., Reyes-Trejo, B. y Peña-Ortega, M. G. (2017). Molecular characterization using ISSR primers of *Magnolia mexicana* DC. from two regions in Zongolica, Veracruz, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3): 427-436.
- Muñiz-Castro, M. Á., Castro-Félix, P., Carranza-Aranda, A. S., Vázquez-García, J. A. y Santerre, A. (2020). Population genetics, species boundaries, and conservation in the

- Magnolia pacifica* species complex along a continentality and moisture gradient in western Mexico. *Botanical Sciences*, 98(3): 500-516.
- Nie, Z. L., Wen, J., Azuma, H., Qiu, Y. L., Sun, H., Meng, Y., Sun, W-B. y Zimmer, E. A. (2008). Phylogenetic and biogeographic complexity of Magnoliaceae in the Northern Hemisphere inferred from three nuclear data sets. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 48(3): 1027-1040.
- Nunziata S. O., Wallenhorst P. y Barrett M A. (2016). Population and conservation genetics in an endangered lemur, Indri indri, across three forest reserves in Madagascar. *International Journal Primatol* 37: 688-702.
- Palacios, M. C. E. (20018). Diversidad genética de *Cedrela odorata* L. en una matriz agropecuaria del paisaje Centinela Nicaragua-Honduras y sus implicaciones para la restauración forestal. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Palmarola, A., Granado, L., Testé, E., Hernández, M., Albelo, N. y González-Torres, L. R. (2018). Estructura poblacional y distribución de *Magnolia cubensis* subsp *acunea* (Magnoliaceae). *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 39: 103-111.
- Palmarola, A., Simón, R., Testé, E., Hernández, M., Sosa, A., Molina, Y. y González-Torres, L. R. (2022). Distribution and conservation of *Magnolia* (Magnoliaceae) in Cuba. *Botanical Sciences*, 100(2): 300-313.
- Porsch, O. (1994). Geschlechtsgebundener Blutenduft. *Oesterreichische Botanische Zeitschrift*, 103(1): 1-18.
- Rentaría, A. M. (2007). Breve revisión de los marcadores moleculares. *Ecología molecular*, 541-566.
- Rivers, M. C. (2016). *Magnolia vovidesii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T67513624A67513853.en>.
- Rivers, M., Beech, E., Murphy, L. y Oldfield, S. (2016). The red list of Magnoliaceae-revised and extended. Botanic Gardens Conservation International.
- Rodríguez-Ramírez, E. C., García-Morales, L. J., Alcántara-Ayala, O., Vázquez-García, J. A. y Luna-Vega, I. (2021). Leaf vein morphological variation in four endangered Neotropical *Magnolia* species along an elevation gradient in the Mexican tropical montane cloud forests. *Plants*, 10(12): 2595.

- Rodríguez-Ramírez, E. C., Vázquez-García, J. A., Alcántara-Ayala, O. y Luna-Vega, I. (2018). Drought effects on vessel plasticity of two endemic *Magnolia* species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico. *Journal of Plant Ecology*, 13(3): 332-340. <http://doi.org/10.1093/jpe/rtaa019>
- Rounsaville, T. J. (2020). Spatiotemporal recruitment patterns of two introduced *Magnolia* L. species in a disturbed oak forest. *ÉCOSCIENCE*, 27(3): 165-176.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35: 25-44.
- Rzedowski, J., (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Saldaña, A., Zuloaga, A. y Jardel, P. (2001). Germinación de *Acer skutchii* Rehder y *Magnolia iltisiana* Vázquez en la reserva de la biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Foresta Veracruzana*, 3(2): 1-8.
- Salinas-Ivanenko, S. y Múrria, C. (2021). Macroecological trend of increasing values of intraspecific genetic diversity and population structure from temperate to tropical streams. *Global Ecology and Biogeography*, 30(8): 1685-1697.
- Sánchez-González, A., Gutiérrez-Lozano, M., Domínguez-Yescas, R., Hernández-Álvarez, A. G., Ortega-Peña A. S. y Vázquez-García, J. A. (2021). *Magnolia zotictla* (*Magnolia* sect. *Macrophylla*, Magnoliaceae): a new species from the southern Sierra Madre Oriental, México. *Phytotaxa*, 513(4): 271-281.
- 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(1): 203–210.
- Sánchez-Velásquez, L. R., Pineda-López, M. D. R., Vázquez-Morales, S. G. y Avendaño-Yáñez, M. D. L. L. (2016). Ecology and conservation of endangered species: The case of magnolias. *Endangered Species. USA: Nova Sciences Publishers, Inc*, 63-84.
- 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 of Botany*, 94(1): 128-136.

- Sjöman, H., Hiron, A. D. y Bassuk, N. L. (2018). Magnolias as urban trees—a preliminary evaluation of drought tolerance in seven *Magnolia* species. *Arboricultural Journal*, 40(1): 47-56.
- Tamaki, 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(4): 415-423.
- Tamaki, I., Kawashima, N., Setsuko, S., Lee, J. H., Itaya, A., Yukitoshi, K. y Tomaru, N. (2019). Population genetic structure and demography of *Magnolia kobus*: variety borealis is not supported genetically. *Journal of plant research*, 132: 741-758.
- Testé, E., Palmarola, A., Rodríguez-Meno, A., Hernández, M. y González-Torres, L. R. (2021). Temporal changes in the structure and distribution of *Magnolia virginiana* subsp. *oviedoae* (Magnoliaceae): implications for its conservations status. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 42: 269-279.
- Terborgh, J. (1992). Maintenance of diversity in tropical forests. *Biotropica*, 283-292.
- Thien, L. B. (1974). Floral biology of Magnolia. *American Journal of Botany*, 61(10): 1037-1045.
- Thien, L. B., Bernhardt, P., Devall, M. S., Chen, Z-d., Luo, Y-b., Fan, J-H., Yuan, L-C. y Williams, J. H. (2009). Pollination biology of basal angiosperms (ANITA grade). *American Journal of Botany* 96: 166–182.
- Tompkins, R. (2004). An Ecological Study of *Magnolia macrophylla* in Gaston County, North Carolina. *Castanea*, 69(sp2): 178–185.
- Valdez-Tamez, V., Foroughbakhch-Pournavab, R. y Alanís-Flores, G. J. (2003). Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noreste de México. *Ciencia UANL*, 6(3): 360-365.
- Vásquez-Morales, S. y Sánchez-Velásquez, L. (2011). Seed ecology and pre-germinative treatments in *Magnolia schiedeana* Schlecht, an endangered species from Mexico. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9: 604-608.
- Vásquez-Morales, S. G., Téllez-Valdés, O., Pineda-López, M. D. 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.

- Vázquez-García, J. A. (1994). *Magnolia* (Magnoliaceae) in Mexico and Central America: a synopsis. *Brittonia*, 46: 1-23.
- Vázquez-García, J. A., Domínguez-Yescas, R., Pedraza-Ruiz, R., Sánchez-González, A. y Muñiz-Castro, M. Á. (2015). *Magnolia rzedowskiana* (Magnoliaceae), una especie nueva de la sección *Macrophylla* de la parte central de la Sierra Madre Oriental, México. *Acta Botánica Mexicana*, 112: 19-36.
- Vázquez-García, J. A., Domínguez-Yescas, R., Velazco-Macías, G. C., Shalisko, V. y Merino-Santi, R. F. (2016). *Magnolia nuevoleonensis* sp. nov. (Magnoliaceae) from northeastern Mexico and a key to species of section *Macrophylla*. *Nordic Journal of Botany*, 34: 48-53.
- Vázquez-García, J. A., Domínguez-Yescas, R., Luna-Vega, Isola, Rodríguez-Ramírez, E. C. y Rodríguez-Pérez, C. (2021). Corncob flower, *Magnolia mixteca* (*M. sect. Macrophylla*, Magnoliaceae) a new species endemic to the Alto Balsas Basin (Baja Mixteca), in the Pacific slopes of Oaxaca, Mexico. *Phylotaxa* 522 (3): 200-210.
- Vázquez-García J. A. y Givnish, T. J. (1998). Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlán. *Journal of ecology*, 999-1020.
- Vázquez-García, J. A., Muñiz-Castro, M. A., Arroyo, F., Pérez, A. J., Serna, M., Cuevas-Guzmán, R., Domínguez Yescas, R., Castro-Arce, E. y Gurrola-Díaz, C. M. (2013). Novelties in neotropical *Magnolia* and an addendum proposal to the IUCN red list of Magnoliaceae. En: Salcedo-Pérez, E. et al. (Eds), *Recursos Forestales del Occidente de México. Serie Fronteras de Biodiversidad* 4(2): 461-496.
- Vázquez-García, J. A., Muñiz-Castro, M. A., Dahua-Machoa, A., Osorio-Muñoz, E. A., Hernández-Vera, G., Ortega-Peña, A. S. y Shalisko, V. (2021). How to save endangered magnolias? From population biology to conservation action: The case of allopatric radiation in western Mexico. *Endangered Plants*: 44.
- Vázquez-García, J. A., Tribouillier-Navas, E., Archila, F. y Véliz-Pérez, M. E. (2019). A conspectus of *Magnolia* (Magnoliaceae) in Guatemala: novelties and conservation. *Phytotaxa* 427: 221-238.
- Veltjen, E., Testé, E., Bejerano, A. P., Asselman, P., Rodríguez, M. H., Torres, L. R. G., Chatrou, L. W., Goetghebeur, P., Larridon, I. y Samain, M-S. (2022). The

- evolutionary history of the Caribbean magnolias (Magnoliaceae): Testing species delimitations and biogeographical hypotheses using molecular data. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 167: 107359.
- Vite, A. (2016). Estructura poblacional de *Magnolia schiedeana* Schltdl. en dos ambientes contrastantes en el estado de Hidalgo, México. Tesis de Maestría. UAEH. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Wang, Y. B., Liu, B. B., Nie, Z. L., Chen, H. F., Chen, F. J., Figlar, R. B. y Wen, J. (2020). Major clades and a revised classification of *Magnolia* and Magnoliaceae based on whole plastid genome sequences via genome skimming. *Journal Systematics and Evolution*, 58: 673-695.
- Wollaeger, H. (2011). Genetic variability in *Magnolia acuminata* (L.) populations in the Eastern United States. Undergraduate thesis. Universidad de Wittenberg, Washington D.C., EUA.
- 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. *Genetic and Molecular Research*, 14: 6495-6508.
- Zangiabadi, S., Zaremaivan, H., Brotons, L., Mostafavi, H. y Ranjbar, H. (2021). Using climatic variables alone overestimate climate change impacts on predicting distribution of an endemic species. *Plos one*, 16(9): e0256918.
- Zhang, T., Meng, J., Yang, F. (2023) Genome-wide assessment of population genetic and demographic history in *Magnolia odoratissima* based on SLAF-seq. *Conservation Genetics*, 24: 279-291. <https://doi.org/10.1007/s10592-022-01500-3>
- Zhou, T., Huang, X-J., Zhang S-Z., Wang, Y., Wang, Y-J., Liu, W-Z., Wang, Ya-L., Zou, J-B. y Li Z-H. (2021). Population Demographic History of a Rare and Endangered tree *Magnolia sprengeri* Pamp. in East Asia Revealed by Molecular data and Ecological Niche Analysis. *Forests*, 12(7): 931.

CAPÍTULO II:
Aspectos ecológicos y morfológicos de *Magnolia*
vovidesii

RESUMEN

Magnolia vovidesii es una especie arbórea endémica de Veracruz identificada anteriormente como *M. dealbata*, algunos autores describían a la población tipo como única, sin embargo, estudios recientes han asignado a otras poblaciones como pertenecientes a *M. vovidesii*, por lo que el objetivo en este capítulo fue determinar la identidad taxonómica de las poblaciones reportadas como *M. vovidesii* mediante comparaciones morfológicas, análisis de la estructura demográfica, además de un análisis de perturbación ambiental, para establecer el estado de conservación actual de la especie. El análisis de agrupamiento (AA) permitió identificar dos grupos, uno conformado por el Batda (BA) y el otro por Coyopolan (CO), Chapultepec (CH) y Cuacaballo (CU). De los atributos morfológicos, las variables más informativas fueron longitud de la lámina (LL), longitud de la lámina a la parte más ancha (LLA), largo de los estambres (LE), ancho de los estambres (AE), diámetro del fruto (DF) y diámetro del pedúnculo (DPN). Para el caso de la demografía, la población de la localidad tipo presenta reducción con una N de 58 individuos, para el caso de las demás poblaciones, presentan números similares con excepción del BA con 125 individuos. La baja cantidad de individuos reproductivos y una mortalidad de 74% eleva la probabilidad de extinción de la especie. Las principales fuentes de perturbación en las poblaciones son la superficie totalmente modificada (STM), extracción de madera (WE) y actividades humanas (HD); las poblaciones con mayor índice de disturbio (ID) fueron CO y CU. La población BA se separa del resto, aunque todas presentan una alta perturbación lo cual afecta la supervivencia de la especie. Considerando los caracteres morfológicos florales y frutales, es probable que BA pertenezca a otra especie, sin embargo, es necesario reestablecer los caracteres de diagnóstico para *M. vovidesii*, y de esta forma delimitarla taxonómicamente e identificar a nuevas poblaciones con base en la morfología. La demografía indica que CO, CU y CH se encuentran en alto riesgo, por lo que se requieren establecer medidas inmediatas para su conservación.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de niebla (BN) son ecosistemas que se caracterizan por un alto endemismo, lluvias frecuentes y baja resistencia a las perturbaciones. Al ser uno de los ecosistemas más ricos en recursos, se ha visto amenazado por las actividades humanas, como muchos otros ecosistemas similares (Gehlhausen et al., 2000; Bubb et al., 2004; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2017); aunado a la perturbación natural, se generan alteraciones en la estructura y composición vegetal, además del funcionamiento de los ecosistemas, generando un aumento en el riesgo de extinción (CONABIO, 2010; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014; Malhi et al., 2014; Claerhout et al., 2023).

Las especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla*, por su distribución y presencia en los BN, se han considerado componentes principales de este tipo de ecosistemas (Vázquez-García, 1994, 1995; Rzedowski, 2006; Valdez-Tamez et al., 2003; Figlar y Nooteboom, 2004; CONABIO, 2010). Por lo cual, se han realizado diferentes estudios ecológicos usándolas como modelo; para el caso de *M. vovidesii* se ha evaluado la demografía y densidad poblacional con respecto a la perturbación existente en el ambiente en el que se distribuye (Sánchez-Velásquez y Pineda-López, 2010; Galván-Hernández et al., 2020), por otro lado, en *M. grandiflora* se evaluó el reclutamiento y la tasa de crecimiento frente a la perturbación provocada por un desastre natural, como lo es un huracán (Bastita y Plant, 2003).

Además, se sabe que las condiciones ambientales y factores de perturbación que generan estrés influyen en la variación anatómica y morfología de especies arbóreas en los BN (Rodríguez-Ramírez, et al., 2018; Sevik et al., 2021). Por ejemplo, en magnolias se ha evaluado la morfología de las hojas con respecto a gradientes de elevación para identificar la variación de este carácter, ya que puede existir cambios en su longitud y anchura (Rodríguez-Ramírez et al., 2021). En el caso de las especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla*, se han usado los análisis morfométricos para distinguir entre especies, como ha sido el caso al momento de separar a *M. zotictla* de las poblaciones de *M. rzedowskiana* (Gutiérrez- Lozano et al., 2020; Sánchez- González et al., 2021).

Darle la identidad taxonómica a una especie, nos ayuda para realizar los diferentes estudios, ecológicos, morfológicos, genéticos, entre otros, los cuales, pueden llevar a

diferenciación intraespecífica, especiación o riesgo de extinción en las especies. Por lo que en este capítulo tiene como objetivos: 1) cuantificar el grado de perturbación en las poblaciones y en el área de distribución de *M. vovidesii*, 2) comparar la estructura demográfica de las poblaciones, 3) analizar la variación morfológica de la especie corroborar/definir su identidad taxonómica y 4) estimar la relación entre el efecto de la perturbación y la variación morfológica.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El estudio fue realizado en las poblaciones de *M. vovidesii*, distribuidas en el centro del estado de Veracruz, en un gradiente de elevación de 1250 a 2517 m, con temperatura anual entre 10 y 18 °C, y precipitación total anual de 1800 a 2000 mm. De acuerdo con la literatura se reporta a la especie en los municipios de Ixhuacán de los Reyes, Magdalena Huayacocotla, Zongolica entre otros pertenecientes al estado de Veracruz (García-Hernández y Toledo-Aceves, 2020; Ibarra, 2020; Chávez-Cortázar et al., 2021).

En campo se realizaron recorridos para confirmar la presencia de la especie en las localidades referidas en la literatura, usando las coordenadas reportadas, de éstas, se excluyeron dos debido a que solo eran individuos aislados o trasplantados en una propiedad privada. Para el presente trabajo se seleccionaron cuatro poblaciones correspondientes a *M. vovidesii*; provenientes de Coyopolan en Ixhuacán de los Reyes (población tipo), El Batda en Huayacocotla, Chapultepec el Chico en Magdalena y Cuacaballo en Zongolica (Fig. 5; Anexo: Tabla 1). De acuerdo con la literatura todas las poblaciones se distribuyen en zonas con vegetación propia de bosque de niebla, sin embargo, hay discrepancias con lo observado en campo.

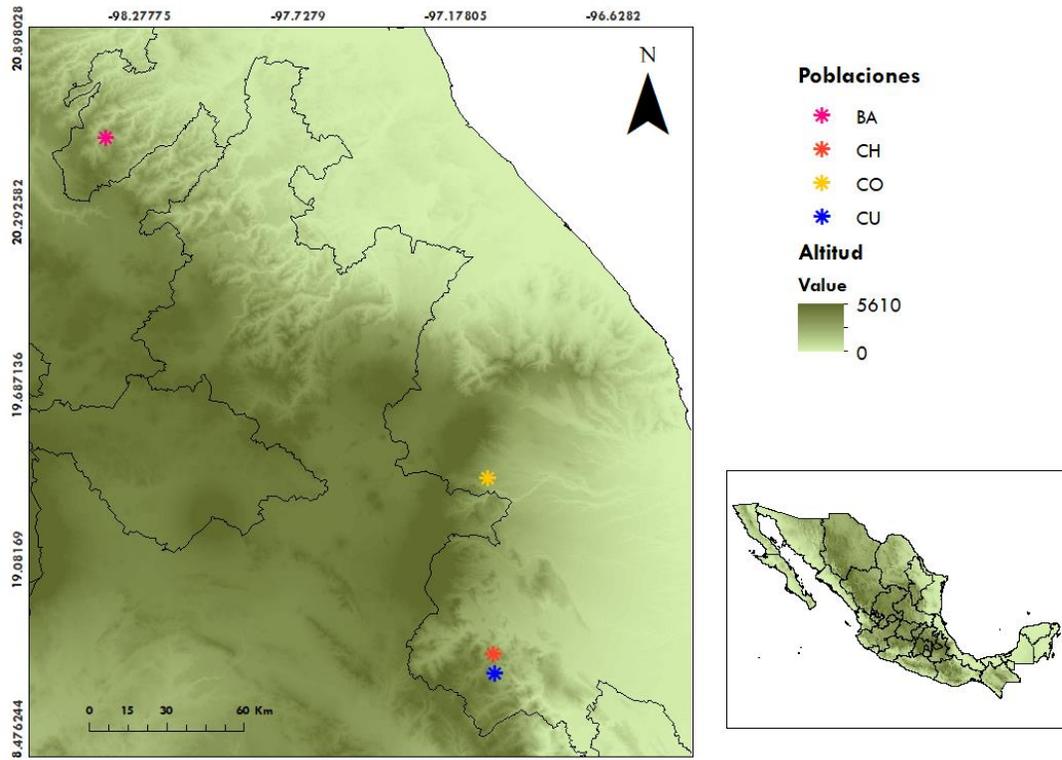


Figura 5: Mapa de distribución de las cuatro poblaciones de *Magnolia vovidesii* contempladas en el presente trabajo. BA: El Batda, CH : Chapultepec el Chico, CO : Coyopolan y CU : Cuacaballo.

Colecta de material biológico

Para obtener las muestras foliares, florales y frutales, se realizaron salidas a campo durante los meses de abril-agosto de 2022 y marzo-abril 2023, este periodo se determinó de acuerdo con lo reportado en la literatura sobre la fenología de la especie.

Para el análisis morfológico, se eligieron al azar 15 árboles adultos en cada población; de las cuales se tomaron cinco a siete hojas maduras, tres flores y tres frutos por individuo. Las hojas colectadas fueron prensadas en campo; en el caso de las flores, se eligieron aquellas que estaban próximas a abrirse, las cuales fueron transportadas en bolsas con un poco de agua para evitar la deshidratación hasta su registro fotográfico y prensado; se colectaron frutos semi maduros, los cuales se almacenaron en bolsas independientes de papel de 12 x 8 cm para su transporte al laboratorio y registro fotográfico, posteriormente se dejaron madurar completamente para que liberaran sus semillas las cuales fueron contadas y fotografiadas (Gutiérrez-Lozano, 2018; Gutiérrez-Lozano et al., 2021).

Tabla 5. Variables de perturbación evaluadas en las poblaciones de *Magnolia vovidesii*, tomadas de Galván-Hernández et al., (2020).

Tipo	No	Variable	Abreviatura
Actividades humanas	1	Fracción del corte de la planta: segmentos de 1 m ² afectados en el transecto, divididos entre la longitud total del transecto.	PC
	2	Evidencia de incendios: evidencia de áreas carbonizadas sobre troncos o suelo en segmentos de 1 m ² afectados en el transecto, divididos entre la longitud total del transecto.	FE
	3	Extracción de leña de combustible: evidencia de la extracción en segmentos de 1 m ² afectados en el transecto, dividida entre la longitud total del transecto.	WE
	4	Cobertura de senderos utilizados por personas: proporción de transecto cubierto por senderos.	TUP
	5	Distancia urbana: promedio (cinco puntos en cada transecto) distancia (km) a la ciudad más cercana.	UD
	6	Distancia a los núcleos de las actividades humanas: promedio (cinco puntos en cada transecto) distancia (km) a los cultivos, pastizales, cercas, etc.	HD
Actividades ganaderas	7	Evidencia de herbívora: proporción de transectos cubiertos por evidencias de alimentos para vacas.	HR
	8	Cobertura de senderos utilizados por el ganado: proporción del transecto cubierto por senderos de ganado.	TUC
	9	Estiércol de ganado: proporción de transectos con estiércol bovino y equino.	CD
	10	Estiércol de cabras: proporción de transectos con estiércol caprino.	GD
Degradación ambiental	11	Compactación del suelo: promedio (cinco puntos en cada transecto) de la división del tiempo de absorción de 250 ml de agua en el suelo nativo, entre el tiempo de absorción en el camino.	SC
	12	Porcentaje de la superficie del suelo erosionado: proporción del transecto con la eliminación de material por el agua.	ESS
	13	Cobertura de superficie totalmente modificada: proporción de caminos pavimentados, casas, vías navegables artificiales o antiguas culturas dentro del transecto.	STM
Asociaciones ecológicas	14	Parasitismo: proporción de plantas parasitadas en los transectos.	EP
	15	Depredación: ocasionada por insectos sin intervención del ganado	DP

Datos de perturbación

En cada uno de los sitios de estudio, se realizaron 10 transectos de 50 x 1 m (500 m²), además, cada transecto fue subdividido en cuadrantes de 1 x 1 m. Durante los transectos, se grabaron audios para tener registro de cada una de las variables de perturbación, esto debido a la poca accesibilidad en algunos sitios.

En cada transecto se registró la presencia o ausencia de las 15 variables propuestas por Martorell y Peters (2009), modificadas por Galván-Hernández et al. (2020), utilizadas anteriormente para la especie *M. vovidesii*, en la localidad de Coyopolan, Veracruz (Tabla 5).

Demografía

Durante los recorridos, en cada una de las poblaciones se identificaron todos los individuos pertenecientes a cuatro categorías de tamaños (Tabla 4) establecidas para la especie (*M. vovidesii*) por Galván-Hernández et al. (2020), de esta forma se calcularon las Tablas de vida estática (TVE) por población.

Tabla 4. Descripción morfológica de las categorías de tamaños establecidas en *Magnolia vovidesii*. (Galván-Hernández et al., 2020).

Categoría	Altura (m \pm SD)	Diámetro (cm \pm DS)	Estructuras Reproductivas
Plántula	0.12 \pm 0.06	1.05 \pm 0.27	Ausentes
Juvenil	1.21 \pm 0.73	2.39 \pm 0.94	Ausentes
Adulto joven	4.94 \pm 1.3	8.01 \pm 4.1	Presentes
Adultos	7.9 \pm 1.6 m	19.5 \pm 8.4	Presentes

Características morfológicas

El análisis de los caracteres morfológicos se basó principalmente en el trabajo de Gutiérrez-Lozano et al. (2021) para *M. mexicana*; ya que, varios de estos caracteres se han empleado previamente en la diagnosis de las especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla*, como: *M. rzedowskiana*, *M. zotictla* y *M. mixteca* (Gutiérrez-Lozano, 2018; Gutiérrez-Lozano et al., 2021; Sánchez-González et al., 2021; Vázquez-García et al., 2021).

En campo el procesamiento de las muestras se realizó tal como se describió previamente, para el registro fotográfico se utilizó una regla de 10 cm como escala. Para el caso de las hojas se colocaron con la parte abaxial de la hoja hacia arriba, si la hoja llegaba a presentar algún daño en el ápice, se procedía a usar como referencia el ápice de otra hoja perteneciente a la misma población, realizando un patrón sobre la cartulina, de tal forma que ayudara a tener una imagen de la hoja completa. Una vez que las flores empezaban a abrir,

se retiraban cada una de sus estructuras, para el caso de los sépalos y pétalos, éstos se extendieron con la ayuda de una placa de cristal para tener la estructura completa, los estambres fueron retirados y se tomaron de manera aleatoria 30 de ellos para realizar las mediciones. Por último, los frutos fueron fotografiados, antes de liberar completamente las semillas, posteriormente estos fueron incubados a 30 °C durante dos días para permitir la expulsión de las semillas, de cada fruto se eligieron al azar 15 semillas para el análisis.

Una vez que se obtuvieron todos los registros fotográficos, cada variable morfológica fue medida y registrada con el programa ImagenJ v. 1.48 (Schneider et al., 2012); algunas variables fueron cuantificadas de manera manual, para así tener un total de 32 caracteres morfológicos (Tabla 6; Fig. 6)

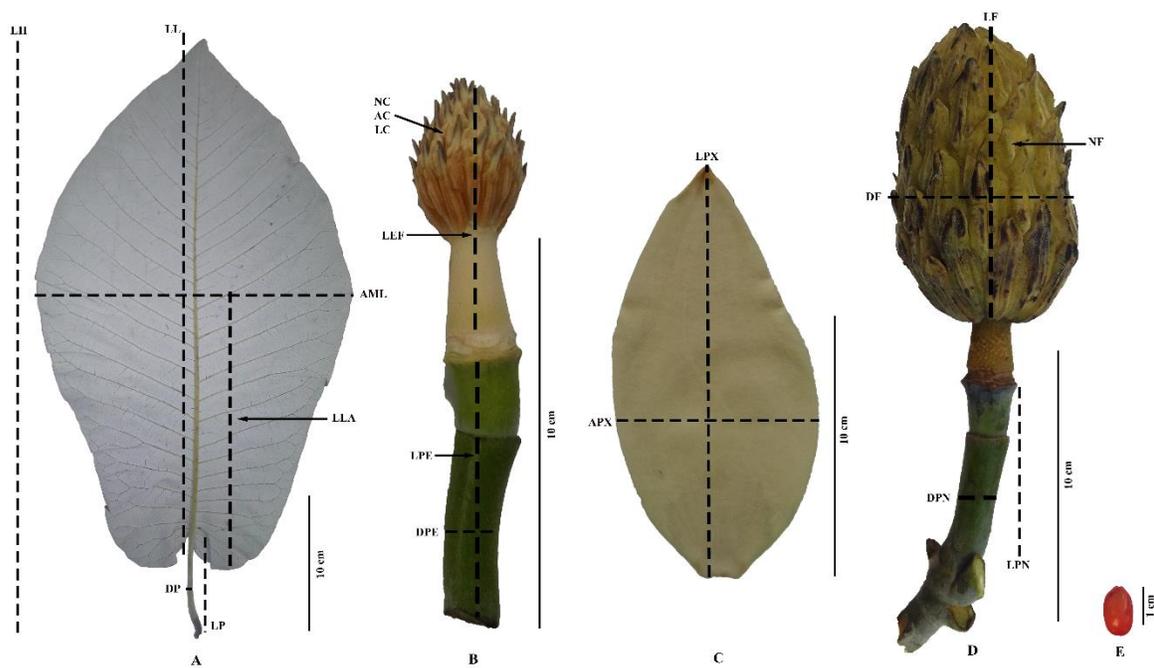


Figura 6. Variables morfológicas para los tres componentes: A) Foliar, B y C) Florar, D y E) Frutal. Las abreviaciones se encuentran en la Tabla 6.

Tabla 6. Caracteres morfológicos foliares, florales y frutales que fueron analizados en *Magnolia vovidesii*, tomado de Gutiérrez-Lozano et al. (2021).

Carácter	No.	Variable	Abreviatura
Foliar	1	Largo total de la hoja (longitud de la lámina y peciolo)	LH
	2	Longitud de la lámina (base de lámina hasta el ápice de la lámina)	LL
	3	Ancho máximo de la lámina	AML
	4	Longitud de peciolo	LP
	5	Diámetro del peciolo	DP
	6	Diámetro de la vena media	DV
	7	Número de venas secundarias	NV
	8	Longitud de la lámina hasta la parte más ancha de la lámina	LLA
Floral	9	Largo del pedúnculo	LPe
	10	Diámetro del pedúnculo	DPe
	11	Número de cicatrices pedunculares	NCP
	12	Longitud del eje floral	LeF
	13	Largo de los sépalos	LS
	14	Ancho de los sépalos	AS
	15	Largo de los pétalos externos	LPX
	16	Ancho de los pétalos externos	APX
	17	Largo de los pétalos internos	LPI
	18	Ancho de los pétalos internos	API
	19	Número de estambres	NE
	20	Largo de los estambres	LE
	21	Ancho de los estambres	AE
	22	Número de carpelos	NC
	23	Largo de los carpelos	LC
	24	Ancho de los carpelos	AC
Fruto	25	Longitud del fruto	LF
	26	Longitud del pedúnculo	LgP
	27	Ancho del pedúnculo	AnP
	28	Diámetro del fruto	DF
	29	Número de folículos	NF
	30	Número de semillas	NS
	31	Largo de semillas	LSe
	32	Ancho de semillas	ASe

Análisis de datos

Perturbación

Se calculó el índice de disturbio (ID) mediante el promedio de la suma de los valores en m^2 para cada variable, de esta manera, se describió el porcentaje de afectación por variable en cada una de las poblaciones ($50 m^2/100$).

Se evaluó la normalidad de los datos de la suma total de área afectada para cada población, al tener una distribución no normal, se procedió a realizar una ANOVA de Friedman para determinar si existen diferencias entre sitios, esto se realizó en el programa Past (Hammer et al., 2001).

Se calcularán las distancias de Mahalanobis entre los valores de perturbación por población con respecto a las distancias morfológicas Euclidianas, para determinar mediante correlaciones de Mantel si existe algún efecto de la variación ambiental sobre la variación morfológica.

Demográficos

Con los grupos definidos por un análisis de agrupamiento previo (Galván-Hernández et al., 2020) y el número de individuos pertenecientes a cada categoría, en conjunto con la información del componente reproductivo, se construyó una Tabla de Vida Estática (TVE) para cada población.

Los rasgos demográficos para las TVE fueron: i) l_x tasa de supervivencia de una clase, ii) m_x la fecundidad promedio de cada clase en edad reproductiva (Castillo-Lara et al., 2017). A partir de estos valores, se obtuvo la tasa reproductiva R_0 ($\sum l_x m_x$) y tiempo generacional T_G ($\frac{\sum X x l_x m_x}{\sum l_x m_x}$), necesarios para calcular la tasa de crecimiento poblacional per capita r , ($r \approx \frac{\ln R_0}{T_G}$), que nos indica el valor aproximado no ponderado en el incremento poblacional de una generación a otra (Valverde et al., 2005). Con estos datos, se calculó la tasa de crecimiento poblacional intrínseca ($\lambda = \exp r$), y se realizó un ANOVA para identificar si existen diferencias significativas en el crecimiento poblacional y su correlación con la perturbación de los sitios.

Morfológicos

La variación de los caracteres morfológicos en *M. vovidesii* entre poblaciones, se estimó por medio de estadísticos descriptivos, como son: medidas de tendencia central (promedio) y de dispersión (desviación estándar y rango). La variación de las características morfológicas dentro de las poblaciones (plasticidad fenotípica) se estimó a partir del coeficiente de variación (CV), mediante la fórmula $CV = \frac{DE}{\bar{X}}$, donde *DE* es el valor de la desviación estándar y \bar{X} el promedio aritmético de cada variable (Valladares et al., 2006, Yang et al., 2015, Gutiérrez-Lozano et al., 2021).

Para realizar todos los análisis, los datos fueron ortogonalizados con base a la fórmula propuesta por Zar (1999) $\frac{Xi - \bar{X}}{DE}$, donde *Xi* es el valor de cada dato, \bar{X} es el promedio y *DE* es el valor de la desviación. Para la similitud morfológica entre poblaciones, se construyó una matriz con los promedios para cada variable morfológica analizada (Anexo tabla 2), esto para realizar el análisis de agrupamiento (AA), usando el método de Ward con distancias Euclidianas y un Bootstrap de 10000 repeticiones, y de esta manera tener una representación gráfica de la formación de grupos entre las poblaciones, con base en los atributos morfológicos (Ludwig y Reynolds 1988; Gutiérrez-Lozano et al., 2021).

En el programa Past v. 4.11 (Hammer et al., 2001) se comprobó si existía la multinormalidad en la distribución de los valores de las características morfológicas, mediante de la prueba de Mardia (Canabos, 1988). Posteriormente, los análisis de las estructuras morfológicas se realizaron por separado, ya que los valores presentaron diferente distribución. En el caso de los datos de las hojas y las flores, al no pasar la prueba de normalidad, se procedió a realizar la prueba de PERMANOVA serial con distancias Euclidianas, y corrección de Bonferroni, donde se realizaron tantas PERMANOVA como el número de variables para ambas matrices de atributos analizados, donde se fueron eliminando y reemplazando atributos para disminuir la dimensionalidad de la base y así obtener las variables más importantes para separar entre grupos, finalmente se realizó un Análisis de Coordenadas Principales (ACoP) y se graficaron los scores, estos análisis se hicieron en el programa Past v. 4.11 (Hammer et al., 2001).

En el caso de los atributos del fruto, al presentar una distribución normal, se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP), para reducir el número de variables originales en un conjunto menor de variables independientes, denominadas componentes principales (CP), de esta manera se identificaron los caracteres que explican el mayor porcentaje de variación morfológica. Por último, se realizó una prueba de ANOVA. Estos análisis fueron ejecutados en el programa Statistica v.10 (StatSoft, 2011)

Correlación

Para poder estimar la correlación que existe entre los caracteres morfológicos y la perturbación, se usó la prueba de Mantel; lo primero que se estimó, fueron las distancias entre las poblaciones para los caracteres morfológicos. Las distancias euclidianas se obtuvieron por Jackknife con recambio de los atributos evaluados, la distancia promedio entre las localidades se estimó por medio de Bootstrap de 1000 pasos considerando todos los individuos dentro de las poblaciones. En caso de las distancias para los datos de perturbación por población, se usó $\rho(r)$ (correlación de Spearman) y un Bootstrap de 1000 pasos, todos estos análisis se realizaron en Past v. 4.11 (Hammer et al., 2001).

RESULTADOS

Perturbación

Se obtuvo una matriz con el total de área afectada de cada variable para cada una de las poblaciones, y su porcentaje de afectación con respecto al área total evaluada (ID), y la frecuencia promedio (Anexo tabla 3).

Posteriormente, se obtuvo el valor promedio total de afectación de cada variable en las poblaciones para determinar el grado de perturbación con respecto a la especie (Tabla 7). La variable con mayor área de afectación total para *M. vovidesii*, fue dada por la presencia de caminos (TUP), particularmente en Coyopolan, donde el valor de este atributo resultó alto; el segundo indicador con mayor peso fue la extracción de madera (WE), con excepción de Chapultepec, donde no se registró esta actividad; el tercer indicador fueron los cortes (PC), en Coyopolan se registró más de dos veces la frecuencia que en Chapultepec y Cuacaballo,

al contrario de El Batda, donde es poco frecuente. Finalmente, el quinto factor con mayor peso en la perturbación resultó la superficie totalmente modificada (STM), con excepción de El Batda, en donde existe vegetación cerrada, cruzada por algunos senderos. No se consideró UD (distancia a zonas urbanas) como una de las fuentes de perturbación, pese a que su valor en promedio corresponde a 500 m², ya que esto no afectó directamente en las poblaciones de *M. vovidesii*, pero a su vez esta podría ser la razón por la cual las otras variables presentaron un grado de afectación elevado.

Tabla 7. Descripción de la perturbación en las poblaciones pertenecientes a *Magnolia vovidesii*.

Variable	CO	CH	CU	BA	\bar{X}
PC	118	41	13	1	43.25*
EF	0	2	2	0	1
WE	117	0	29	57	50.75*
TUP	248	24	17	31	80*
UD	NA	NA	NA	NA	NA
HD	45	8	14	14	20.25*
HR	3	0	0	0	0.75
TUC	63	0	0	0	15.75
CD	20	0	0	1	5.25
GD	0	0	3	0	0.75
SC	63	0	0	0	15.75
ESS	20	0	26	0	11.5
STM	78	42	42	0	40.5*
EP	32	0	0	0	8
DP	0	0	20	0	5

\bar{X} : promedio de grado de afectación de cada variable para todas las poblaciones; *variables que representan el mayor grado de afectación para las poblaciones de *Magnolia vovidesii*; NA: no aplica.

Debido a que los datos no presentaron una distribución normal de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilks (CO = W: 0.669, p: 0.00011; CH = W: 0.361, p: 3.22E-07; CU = W: 0.369, p: 3.66E-07; BA = W: 0.357, p: 3.06E-07), se procedió a realizar un ANOVA de Friedman, dado que los datos son dependientes del atributo relacionado. El análisis mostró, diferencias significativas en el área afectada por la perturbación entre los sitios, donde el

lugar más afectado fue Coyopolan. El resto de los sitios no presentaron diferencias significativas (Tabla 8).

Se logró identificar que la población más conservada es El Batda, Huayacocotla y la más perturbada es Coyopolan, Ixhuacán de los Reyes. Las otras dos poblaciones mostraron similitudes en cuanto a su estado de conservación, y son más afines a El Batda que a Coyopolan. En general se identificó que las poblaciones tienen un grado de afectación que puede poner en riesgo la supervivencia de la especie en sus áreas de distribución.

Tabla 8. Matriz de contraste obtenida a partir de la ANOVA de Friedman para la perturbación

W\p	CO	CH	CU	BA
CO	\	0.00122	0.01044	0.001464
CH	77	\	0.4729	0.938
CU	92	19	\	0.3606
BA	66	15	31	\

Los datos ubicados por debajo de la diagonal corresponden a los valores de la prueba pareada de Wilcoxon (W); mientras que los de arriba son los valores de p (probabilidades).

Demográficos

Se encontró que el número de individuos (N) para cada una de las poblaciones fue relativamente bajo con respecto a lo que se conocía de la localidad tipo ubicada en Coyopolan. La N para cada población es, en CO= 58, CH=59, CU=54, BA=125. Así mismo, se registró un bajo número de reclutamiento (plántulas), con excepción de El Batda, la cual presentó 86 individuos en esta categoría, lo que incrementa la cantidad, más si se realiza una comparación excluyendo a estos individuos, N de BA sería solo de 39; lo que es menor que el resto.

Debido a que no se identificó la presencia del componente reproductivo para cada uno de los individuos en campo, se realizó una estimación de este parámetro a partir de los valores promedio reportados previamente para la población de Coyopolan en el año 2018, en conjunto con los frutos recolectados para el análisis morfométrico. Como resultado se

encontró que en todas las poblaciones los individuos adultos presentaron un promedio de 20 frutos por árbol, un número mayor con respecto a los adultos jóvenes (Tabla 9).

Tabla 9. Número de individuos, frutos y semillas por categoría de tamaño en cada población de *Magnolia vovidesii*.

Población	Categoría	N	Frutos	Semilla
CO	Plántula	9	0	0
	Juvenil	12	0	0
	Adulto joven	15	9.57 ± 4.03	65 ± 29.7
	Adulto	22	29.5 ± 4.14	137.33 ± 34.02
CH	Plántula	12	0	0
	Juvenil	9	0	0
	Adulto joven	19	8 ± 4.9	34.83 ± 12.57
	Adulto	19	23 ± 8.48	92.89 ± 15.32
CU	Plántula	11	0	0
	Juvenil	18	0	0
	Adulto joven	11	7.66 ± 4.8	30.83 ± 11.49
	Adulto	14	22.5 ± 8.4	86.44 ± 38.5
BA	Plántula	86	0	0
	Juvenil	10	0	0
	Adulto joven	18	8 ± 5.1	23.66 ± 5
	Adulto	11	23.5 ± 7.7	66.5 ± 30.61

N: número de individuos. Valores promedio del componente reproductivo (frutos y semillas) para las categorías superiores y DS, para cada una de las poblaciones.

Usando el componente de las semillas, más las categorías y su N, se calculó la tasa reproductiva (R_0) para cada población de *M. vovidesii*, los valores de R_0 resultantes fueron los siguientes: CO: 0.0037, CH: 0.0083; CU: 0.0073 y BA: 0.0113, lo cual indica que para cada población no hay crecimiento poblacional, mientras que el tiempo de generacional (T_G) fue de 3 generaciones, con pequeñas diferencias entre las distintas poblaciones; lo que, resultó en una tasa de crecimiento poblacional negativa para cada sitio ($r = -1.333, -1.367, -1.356, -1.368$; que en su interpretación neta indica una reducción de más del 70% en cada sitio; $\lambda = 0.263, 0.254, 0.257, 0.254$). La esperanza de vida promedio calculada fue de 3.5 generaciones, con alta mortalidad de las semillas, al igual que en la transición de plántulas a juveniles, presentando supervivencia de 25% y mortalidad de 74%. Se encontró que hay

estasis en las categorías intermedias (juveniles y adultos jóvenes) en las cuatro poblaciones de *M. vovidesii*.

Considerando datos de germinación y crecimiento, las plantas pueden permanecer de tres a cuatro años en una categoría, así que el tiempo generacional corresponde entre nueve y doce años (periodo hasta iniciar el primer evento reproductivo) y la esperanza de vida a no más de 42 años. Este dato debe ser corroborado ya sea con registro de crecimiento por cohorte o análisis dendrocronológico. De cualquier manera, para un árbol de esta familia es una esperanza baja, lo que se repite en las cuatro poblaciones.

Morfológicos

Estadísticos descriptivos

Se obtuvieron los datos de las medidas de tendencia central (media aritmética) y de dispersión de los datos (desviación estándar y rango), esto se realizó para cada atributo (foliar, floral y del fruto), donde cada matriz cuenta con 7, 15 y 8 variables morfológicas. Algunas variables originales fueron descartadas para el análisis con la intención de identificar las variables que presentan mayor intervalo de variación.

Para el caso de las hojas, las variables con mayor aporte al modelo de variación fueron: la longitud de la lámina (LL), ancho máximo de la lámina (AML) y diámetro de la vena (DV); mientras que, para las flores, la mayor aportación fue para: longitud del pétalo externo (LPX), ancho del pétalo externo (APX), longitud del pétalo interno (LPI), longitud de los estambres (LE) y ancho de los estambres (AE). Por último, en el fruto, fueron: número de semillas (NS), longitud del fruto (LF), diámetro del fruto (DF) y longitud del pedúnculo (LgP) (Anexo tabla 4).

Tabla 10. Coeficientes de variación (CV) de las características morfológicas foliares (1-7), florales (8-22) y frutales (23-30) analizadas en *Magnolia vovidesii*.

No		CV %				CV total
		CO	CH	CU	BA	
1	LH	11.18	7.28	7.18	11.34	9.24
2	LL	12.00	7.23	9.44	10.41	9.77
3	AML	12.91	6.24	5.91	11.02	9.02
4	LP	12.93	10.85	11.36	15.53	12.67*
5	DP	13.97	8.73	9.40	11.12	10.81
6	DV	18.74	8.25	8.59	9.51	11.27
7	LLA	14.81	11.34	8.67	10.98	11.45
	PROMEDIO	13.79*	8.56	8.65	11.42	10.60
8	LPe	24.91	12.90	4.90	12.29	13.75
9	DPe	11.10	10.57	10.78	8.67	10.28
10	LEF	7.94	6.43	12.94	6.40	8.43
11	LS	11.25	13.64	14.92	13.92	13.43
12	AS	8.13	19.18	14.51	12.97	13.70
13	LPX	7.93	17.52	17.68	12.95	14.02
14	APX	9.79	19.93	22.26	13.40	16.34
15	LPI	10.35	14.65	15.65	11.74	13.10
16	API	15.00	16.47	24.40	13.18	17.26
17	NE	11.36	5.29	11.15	8.97	9.19
18	LE	14.02	6.88	8.59	11.85	10.33
19	AE	9.18	8.80	6.52	17.62	10.53
20	NC	12.61	10.23	8.50	9.17	10.13
21	LC	10.57	11.04	12.10	18.44	13.04
22	AC	8.49	40.16	33.72	18.70	25.27*
	PROMEDIO	11.51	14.25	14.57	12.68*	13.25
23	NF	11.63	10.35	19.39	19.03	15.10
24	NS	24.17	46.68	64.01	54.23	47.27*
25	LSe	5.46	6.66	5.03	8.86	6.50
26	ASe	3.46	5.47	5.25	8.63	5.70
27	LF	11.03	13.48	13.96	16.48	13.74
28	DF	8.94	15.74	9.69	16.53	12.72
29	LgP	17.53	8.46	17.47	15.12	14.64
30	AnP	7.84	10.33	9.51	13.39	10.27
	PROMEDIO	11.26	14.65	18.04	19.03*	15.74

CV (%) = Coeficiente de variación; * = variables con coeficiente de variación más alto.

En cuanto al Coeficiente de Variación para las características morfológicas, las hojas presentan menor CV con un valor promedio de 10.6%; en cambio, para las variables de las flores y frutos los promedios fueron de 13.25% y 15.74%, respectivamente (Tabla 10), siendo la población BA la que presentó el mayor CV para frutos (19.03%), mientras que para las características foliares fue CO con 13.79%, la más variable. Por otra parte, las variables que presentaron mayor CV considerando las cuatro poblaciones fueron, para el caso de las hojas LP con 12.67%, para las flores AC (25.27%), y para el fruto NS (47.27%).

Agrupamiento (AA)

El análisis de agrupamiento para la especie *M. vovidesii* con los promedios estandarizados de cada una de las variables de los tres atributos morfológicos (foliar, floral y frutal), indica que de las cuatro poblaciones referidas a la especie se sostienen solo dos grupos, el primero conformado por las tres poblaciones distribuidas al centro-sur del estado de Veracruz (CO, CH y CU), mientras que separa a la población de BA, colocándolo como independiente, de acuerdo con su variación en los atributos morfológicos (Fig. 7).

Los AA se realizaron con los datos ortogonalizados, separando cada estructura, debido a que no todos los individuos seleccionados tenían la presencia de flores o frutos al momento de las colectas. Se lograron identificar dos grupos diferentes para cada atributo, con base en la semejanza de las características morfológicas (Fig. 8). Para el AA correspondiente a las hojas y frutos, se logró observar que la mayoría de los individuos pertenecientes a CO se ubicaron en un grupo, mientras que el resto de los individuos de las otras poblaciones presentan una distribución aleatoria en el segundo grupo. Para el caso de las flores uno de los grupos resultó formado solamente por varios individuos pertenecientes a BA y el segundo grupo conformado por individuos de las tres poblaciones restantes.

Análisis Multivariado

Debido al diferente número de variables y casos para los tres atributos morfológicos, las matrices se analizaron por separado. Los datos estandarizados de las hojas y flores no presentaron una distribución normal, con valores de **M**: 188.4, y 1315 con una **p**: 5.58E-10, y 6.33E-13 respectivamente; se ajustó al modelo omnibus de Doornik y Hansel (**Ep**2: 41.53, 472.1; **p**: 0.0001469, 1.46E-78).

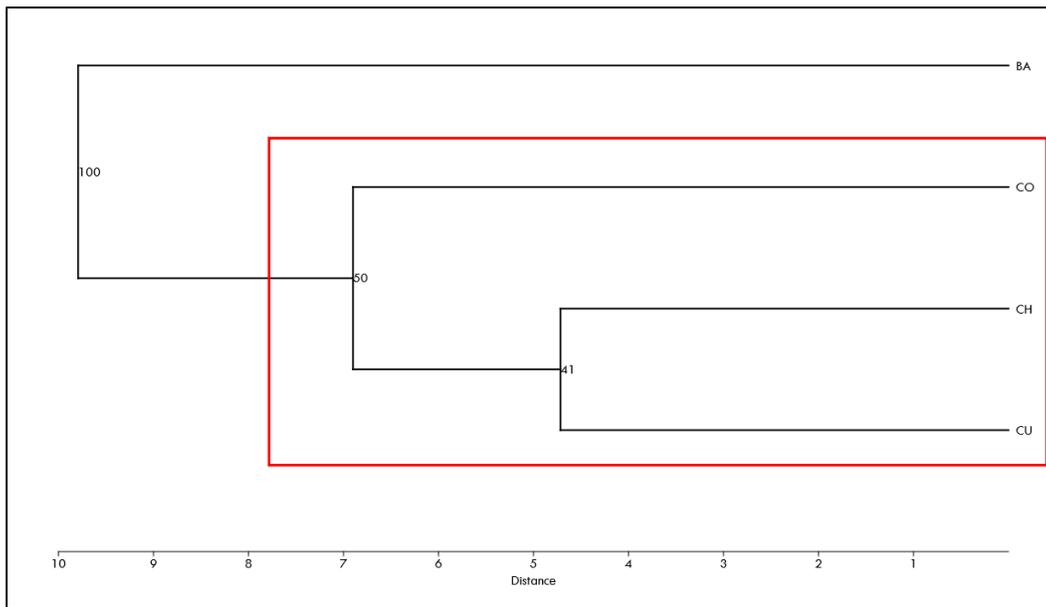


Figura 7. Análisis de agrupamiento (AA), usando el método de aglomeración de Wards con distancias Euclidianas a partir de las variables morfológicas utilizadas para el análisis; el cuadro rojo señala el grupo conformado por CO, CH y CU.

La PERMANOVA general arrojó un valor de **F**: 3.302, y 6.594 con una **p**: 0.004, y 0.0001, respectivamente. Los valores de F y p que se obtuvieron con las PERMANOVAS seriadas, en donde, cada serie se excluyó una variable diferente, tanto para la matriz de hojas como para flores (Tabla 11, 12), con esto se logró identificar las variables importantes para separar las poblaciones de *M. vovidesii*. En las hojas, las variables más informativas son LP, LH, LL, debido a que al quitar estas variables de la matriz las diferencias entre grupos desaparecen; para el caso de las flores, las variables más informativas fueron las relacionadas con los estambres (NE, LE, AE), ya que al quitarlas las diferencias entre grupos son menores que al usar la matriz completa.

Debido a la variación observada en los estambres en la población de El Batda (BA) se anexaron dos variables extra a la matriz de características florales, las cuales fueron el coeficiente de variación de la longitud del estambre (CVLE) y el coeficiente de variación del ancho del estambre (CVAE), siendo esta ultima una de las variables de mayor importancia.

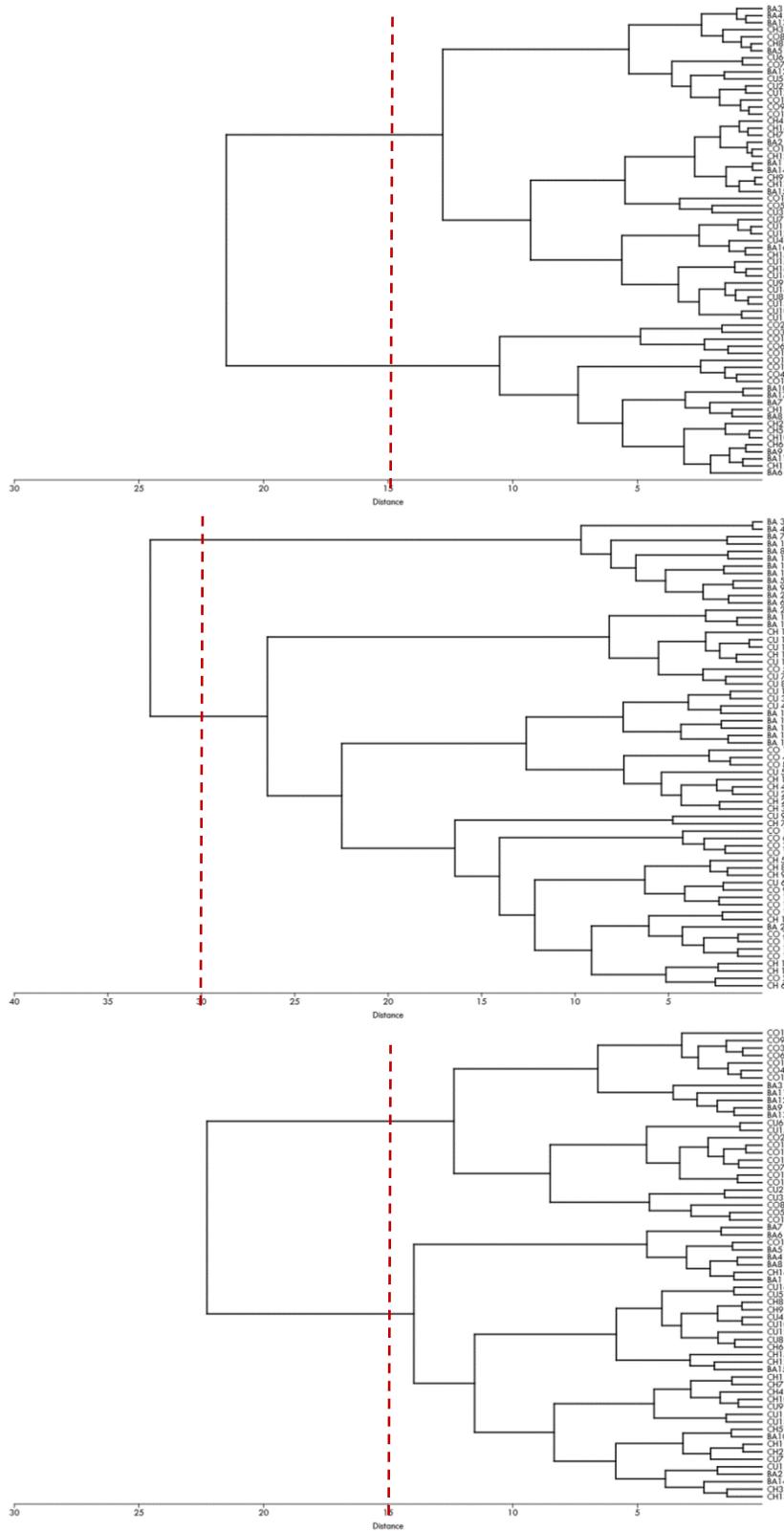


Figura 8. AA de variables morfologías hojas (superior), flores (medio) y frutos (inferior), usando el método de aglomeración jerárquica de Ward con distancias Euclidianas. Línea punteada roja indica el punto de corte de grupos.

Tabla 11. Valores de PERMANOVA para la matriz de variables foliares

Variable	F	P
Sin AML	3.651	0.0022
Sin LP	3.55	0.0022
Sin DV	3.504	0.0027
Sin LH	3.275	0.0037
Sin LLA	3.112	0.0047
Sin DP	3.067	0.0091
Sin LL	2.97	0.0066
TODAS	3.302	0.004

Valores de F y p de las PERMANOVA cada que se excluyó una variable. Señalado con gris el valor obtenido en la PERMANOVA con todas las variables. Las variables señaldas en rojo son la que presentan mayor importancia.

Tabla 12. Valores de PERMANOVA para la matriz de variables florarles

	F	p
Sin AS	7.127	0.0001
Sin APX	7.06	0.0001
Sin NC	7.046	0.0001
Sin LEF	6.961	0.0001
Sin API	6.929	0.0001
Sin LS	6.91	0.0001
Sin LPX	6.902	0.0001
Sin NE	6.894	0.0001
Sin AC	6.782	0.0001
Sin LPI	6.778	0.0001
Sin LC	6.622	0.0001
Sin LPe	6.566	0.0001
Sin CVLE	6.49	0.0001
Sin DPe	6.08	0.0001
Sin AE	5.899	0.0001
Sin CVAE	5.769	0.0001
Sin LE	5.442	0.0001
TODAS	6.594	0.0001

Valores de F y p de las PERMANOVA cada que se excluyó una variable. Señalado con gris el valor obtenido en la PERMANOVA con todas las variables. Las variables señaldas en rojo son la que presentan mayor importancia.

El ACoP para las hojas mostró poca divergencia entre los grupos CO, CH, BA sobre el eje X (EV: 278.02; Var: 60.176) con respecto a CU sobre el eje Y (EV: 72.086; Var: 15.603), debido a que las hojas mostraron una amplitud en la variación, y solo CU, al tener un patrón de hojas pequeñas, distribuye a casi todos los individuos de su población. Debido a la heterogeneidad de las otras tres poblaciones, la distribución en el espacio fue similar, colocándolos como un solo grupo (Fig. 9). Por otro lado, en el ACoP con las variables de las flores, se identificó que existe una divergencia entre los grupos, donde la población del BA se distribuye sobre el eje 1 (EV: 405.25; Var: 60.176), y sobre el eje “Y”; en cambio al centro del plano cartesiano se encuentra la distribución de los individuos perteneciente a las otras poblaciones (CO, CH, CU). La población de CU presenta mayor heterogeneidad de los datos y CO mayor homogeneidad (Fig. 10).

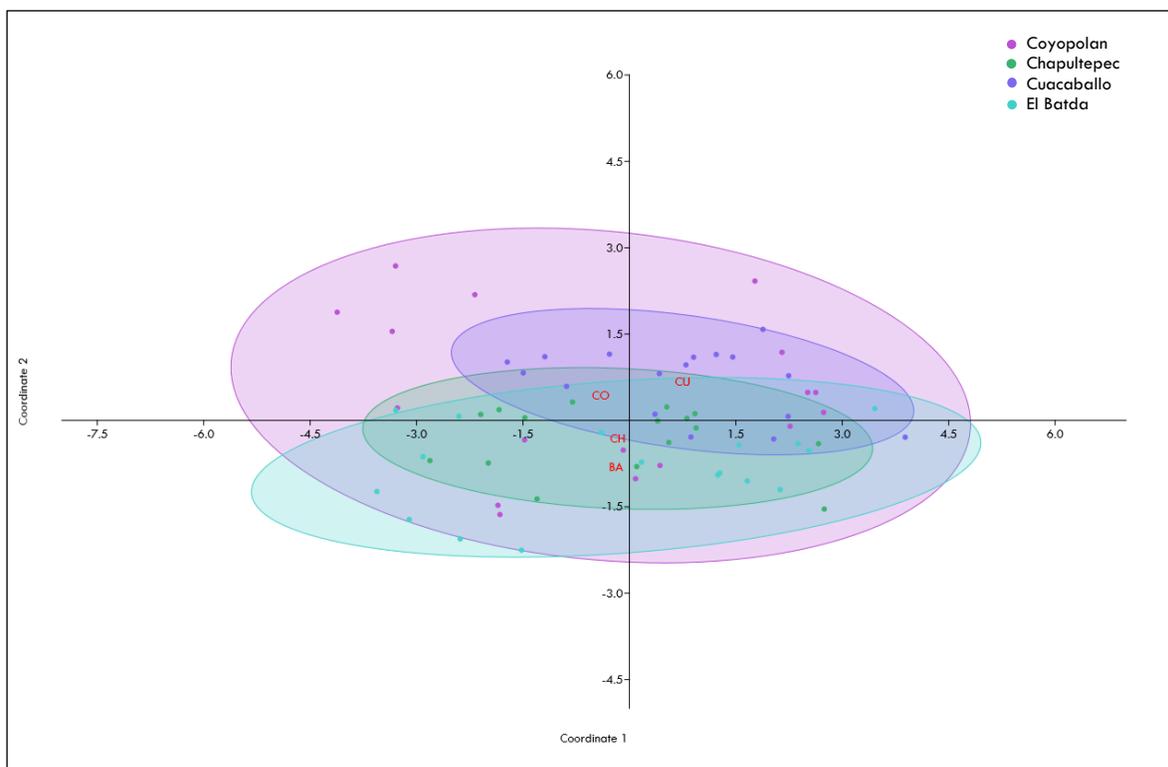


Figura 9. Diagrama de distribución de ACoP de las dos primeras coordenadas para las variables foliares. La elipse corresponde a la variación explicada hasta en un 95%.

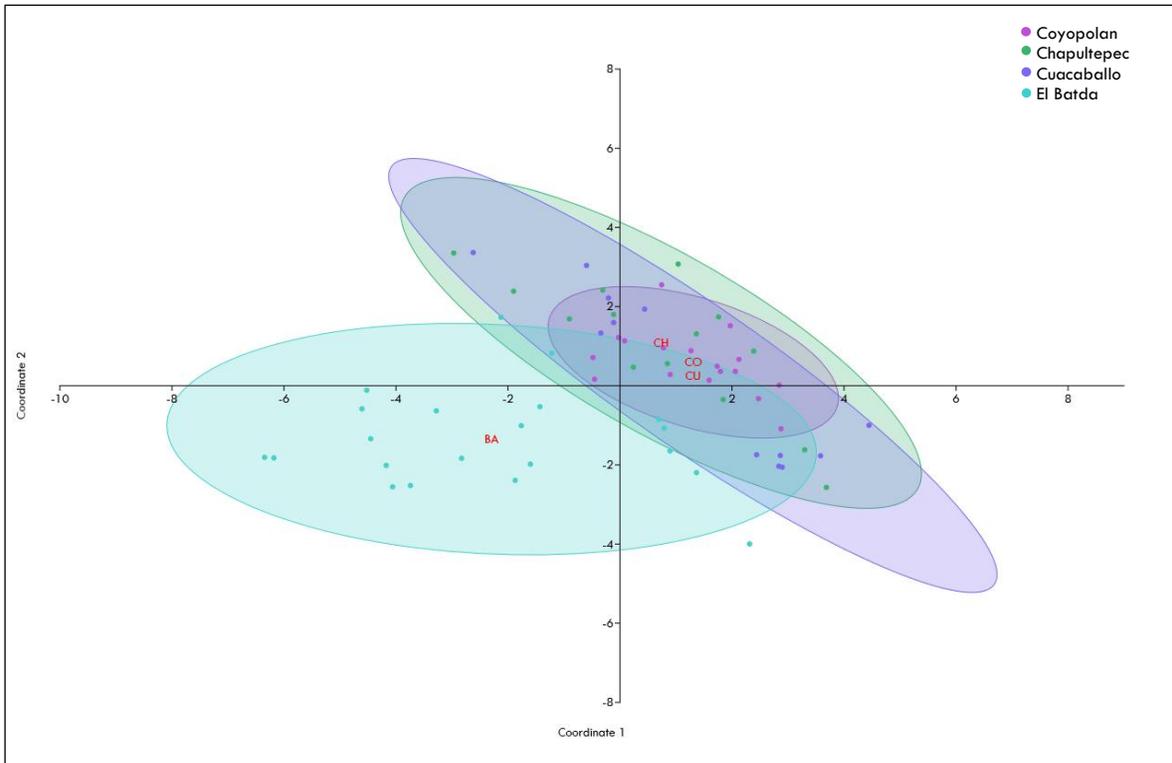


Figura 10. Diagrama de distribución de ACoP de las dos primeras coordenadas para las variables florales.

La matriz de los atributos frutales se construyó con un total de 8 variables y 63 frutos para las cuatro poblaciones. Una vez que se comprobó la multinormalidad de los datos, obteniendo los valores M : 135.7 con una p : 0.157, se ajustó al modelo omnibus de Doornik y Hansel ($Ep2$: 19.18, p : 0.2593).

Posteriormente, se realizó el análisis de Factores con rotación VariMax normalizado para extraer las variables con mayor peso para la asignación posterior (función de reducción análoga al PERMANOVA serial), se consideró como valor de corte un eigenvalor mayor a 1. Los primeros tres factores explicaron el 76% de la varianza y destacan los atributos del fruto y del pedúnculo (LgF, DF, AnP y LgP) como elementos importantes para explicar las diferencias entre localidades (Tabla 13); el valor de eigenvalor de los demás factores es bajo, y en suma explican hasta el 98% de la variación del fruto para la especie, el porcentaje que le corresponde a cada una de las variables es bajo.

Tabla 13. Factores obtenidos por rotación varimax del análisis de componentes principales, para los atributos morfológicos del fruto de *Magnolia vovidesii*.

	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
NF	0.3142	0.0167	0.0609	0.1008	0.2667	0.8733	0.2306
NS	0.2557	-0.0723	0.0053	0.1166	0.9083	0.2350	0.1735
LSe	0.3976	0.1208	-0.0432	0.0151	0.2104	0.2478	0.8468
DSe	-0.0634	0.1821	-0.0980	-0.9680	-0.0970	-0.0773	-0.0157
LgF	0.8356	0.1931	0.2404	0.0171	0.3019	0.1884	0.1473
DF	0.8840	0.1371	-0.0063	0.0836	0.1034	0.2124	0.2977
LgP	0.1084	-0.0222	0.9863	0.0929	0.0075	0.0414	-0.0284
AnP	0.2053	0.9527	-0.0229	-0.1928	-0.0571	0.0155	0.0907
Eigenvalor	3.5023	1.5343	1.0451	0.6152	0.4352	0.4192	0.3299
Var Acum	43.779	62.958	76.023	83.7129	89.1535	94.3945	98.5186

El recuadro representa la línea de corte para los factores a considerar, explican la variación en los rasgos del fruto para las poblaciones. Los valores en rojo indican las variables más importantes de cada factor.

Con los atributos extraídos por el modelo de factores se realizó un análisis de funciones discriminantes entre localidades. El análisis discriminante mostró que las localidades difieren en cuanto a las distancias morfométricas de Mahalanobis para las variables del fruto, con excepción de Cuacaballo y Chapultepec, que presentan los menores valores de asignación de frutos (CH: 60%, CU: 73.33%) (Tabla. 14).

Tabla 14. Matriz de contraste entre variación morfológica, unificada por distancias de Mahalanobis, de los frutos de *Magnolia vovidesii*; obtenidos mediante el Análisis de Funciones Discriminantes.

Fp	Coyopolan	Chapultepec	Cuacaballo	El Batda
Coyopolan	\	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Chapultepec	12.21	\	0.036	< 0.001
Cuacaballo	12.02	2.76	\	< 0.001
El Batda	19.34	13.26	20.74	\

Los valores por arriba de la diagonal corresponden a los valores de p ; mientras que los datos que están por debajo corresponden al valor del estadístico F.

Las diferencias son explicadas hasta un 95% por los primeros dos factores discriminantes, con la mayor correlación para el AnP, seguido del DF (correlación negativa) (Tabla 15). Lo que indica que los puntos que se encuentran hacia la derecha tienen pedúnculos más anchos, y los que se ubican por arriba de la media son frutos más delgados (Fig. 11). La población del El Batda es la que presenta mayor divergencia, presentando frutos con el pedúnculo más ancho, aunque los frutos pueden ser anchos o delgados por igual. En cambio, en Coyopolan, los frutos tienden a ser predominantemente gruesos, pero con pedúnculos cercanos a la media en cuanto a su ancho. Mientras que Chapultepec los frutos presentan pedúnculos tanto anchos como delgados, pero en general todos los frutos son de diámetros menores. Y finalmente, Cuacaballo es la población más homogénea con frutos y pedúnculos delgados.

Tabla 15. Análisis de Factores Discriminantes para los atributos morfológicos del fruto de *Magnolia vovidesii*.

	F1 (EV: 1.65, VE: 57.29%)	F2 (EV: 1.11, VE: 38.51%)
LgF	-0.488	-0.250
DF	-0.108	-0.781
LgP	-0.266	0.158
AnP	1.099	-0.10
Eigenvalor	1.651	1.11
Cum. Prop.	0.573	0.958

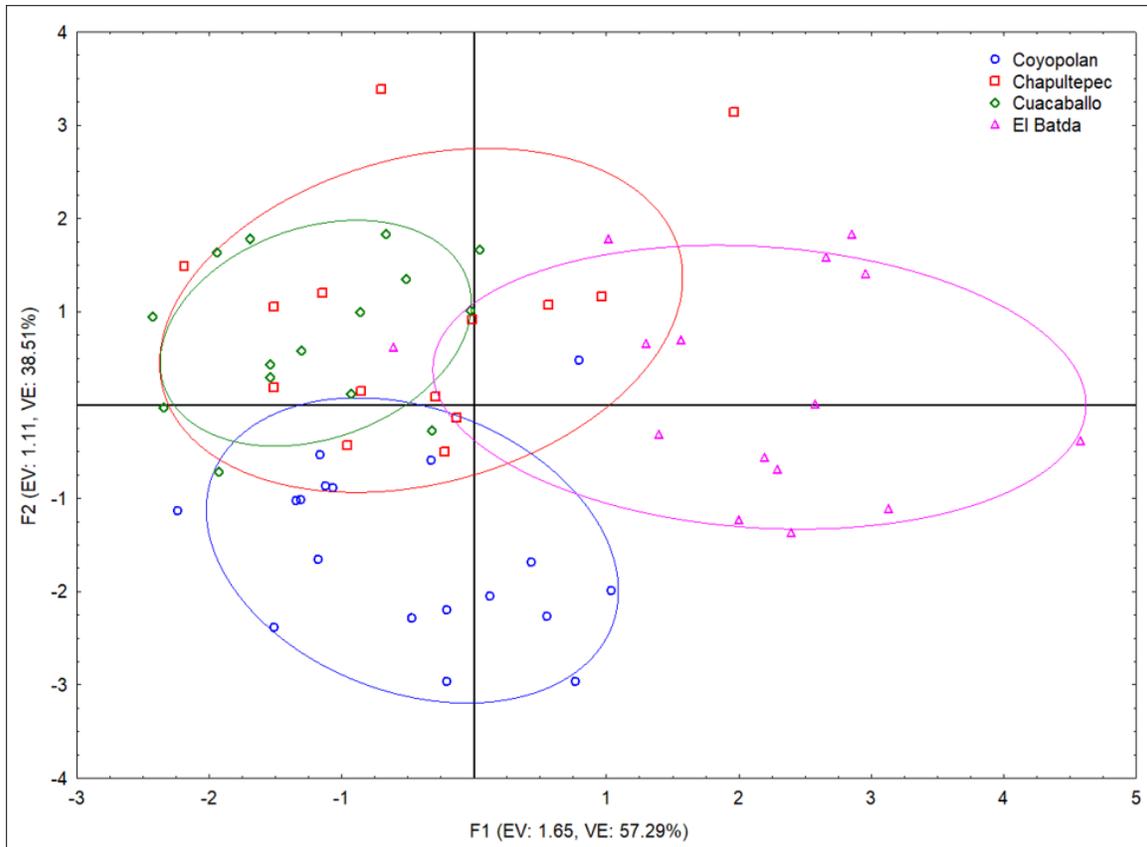


Figura 11. Diagrama de ordenación de AD de las dos primeras funciones discriminantes que explican hasta el 95% de las diferencias. Eje x: diámetro del fruto (DF); eje y: ancho del pedúnculo (AnP).

Correlación

Se obtuvo una matriz de distancias entre las poblaciones con respecto al componente morfológico y la perturbación para el caso de las primeras con distancias Euclidianas y para la segunda Rho, ya que de esta forma se representa de mejor manera la similitud entre ellas.

Las mayores distancias entre las poblaciones para los tres componentes (FO, FL, FR), resultaron ser las de CO con respecto al BA (Tabla 16); mientras las poblaciones más semejantes respecto a su distancia en el caso de la perturbación fueron CO-CU, debido a que las condiciones de disturbio que presentaron en ambas poblaciones fueron altas con respecto a las otras poblaciones.

Tabla 16. Distancias promedio entre las poblaciones para los tres componentes (FO, FL, FR) y Perturbación.

	MDFo	MDFl	MDFr	MDP
CO-CH	3.3115	4.8621	3.8919	0.5656
CO-CU	3.5644	4.857	4.127	0.2673*
CO-BA	3.7488*	4.8672*	4.207*	0.5691
CH-CU	2.8938	4.8618	3.0087	0.4095
CH-BA	2.8097	4.8591	3.4472	0.5008
CU-BA	3.3219	4.8611	4.1288	0.4449

Euclidiana Euclidiana Euclidiana $\rho(\text{ro})$ (Corr. Spr).

MDFo: Medida de distancia foliar; MDFl: Medida de distancia floral; MDFr: Medida de distancia frutal;

MDP: Medida de distancia de perturbación.

Los resultados de la prueba de Mantel muestran que existe correlación entre la variación morfológica de las flores y el nivel de disturbio entre las poblaciones (Fig. 12; Tabla 17). De igual manera, se encontró correlación entre las diferencias de flores y los frutos, debido a que, si las primeras llegan a presentar daños, los frutos a su vez se ven perjudicados. En cambio, las hojas no presentan una respuesta ante la perturbación.

Tabla 17. Coeficiente de correlación entre los componentes (FO, FL, FR) y la perturbación.

Phy/p	MDFo	MDFl	MDFr	MDP
MDFo	\	6.72E-09	0.55062	0.10411
MDFl	25791	\	4.52E-09	4.95E-11
MDFr	0.23942	0.9984	\	0.17358
MDP	1.237	0.99634	1.2387	\

Por debajo de la diagonal los valores de Phy, por arriba los valores de p los datos en rojo son significativos.

MDFo: medidas de distancia foliares; MDFl: medidas de distancia florales; MDFr: medidas de distancia del fruto; MDP: medida de distancia de perturbación.

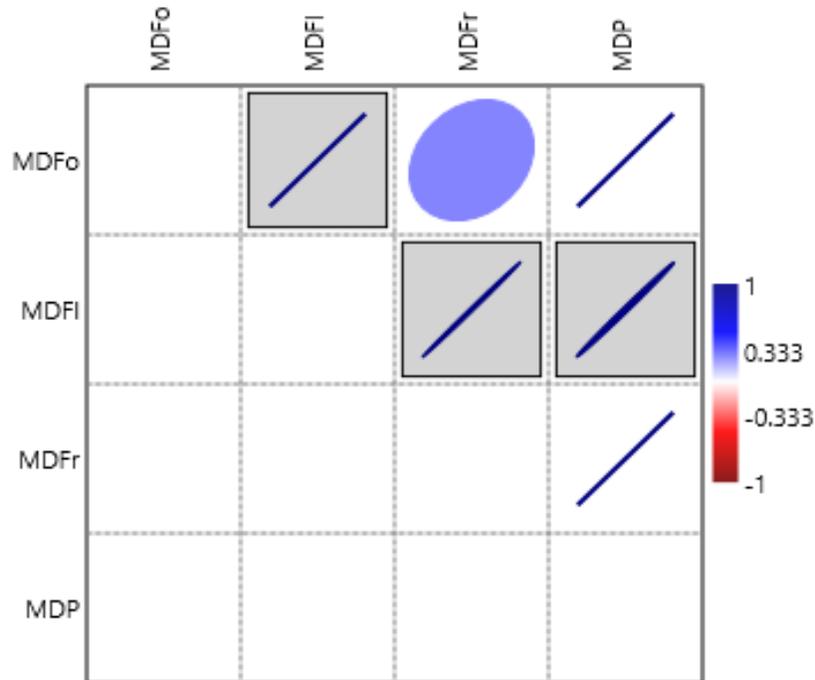


Figura 12. Diagrama de correlación con la prueba de Mantel.

DISCUSIÓN

Perturbación

El efecto de la perturbación sobre la especie es indiscutible, aunque no en todas las poblaciones se presentaron los mismos factores. Pese a eso hay variables que están presentes y afectan de mayor o menor medida, como es el caso de PC y TUP. Las variables de perturbación que presentan mayor amenaza para las poblaciones de *M. vovidesii* son WE y STM, esto coincide con lo reportado por Galván-Hernández et al. (2018) en la población de CO, resultando esta, como la población con mayor grado de disturbio. Las otras poblaciones llegan a tener un grado de perturbación similar, pero la fuente principal es diferente.

Dado que las poblaciones de *M. vovidesii* se distribuyen en uno de los ecosistemas más ricos en recursos, el incremento de actividades humanas, como lo es, la extracción de madera o leña para uso personal (WE), se ha llegado a identificar como una de las mayores amenazas para este tipo de ecosistemas (Toledo-Aceves, 2018). Por otra parte, la modificación completa o parcial de ciertas áreas próximas o dentro de las poblaciones (STM),

por ejemplo, para establecer cultivos, resulta ser una amenaza para las especies endémicas, tal como se encontró en tres especies de *Magnolia* en China (Song y Lui, 2019). En *M. vovidesii*, esto se observó en la población de CH durante la última visita a campo en abril de 2023, la cual paso de estar en un ambiente parcialmente conservado en el 2022 a estar fragmentada a causa de un cultivo de sandía/melón.

En la primera vista a CU en el año 2022, se identificó que la población presentaba estrés; en campo se llegó a apreciar que las hojas de *M. vovidesii* presentaban daño por herbívora, esto pudo estar asociado (además de factores de perturbación humana) con las fuertes lluvias ocasionadas por un huracán que impacto las costas del golfo en el año 2021, el cual provocó que se deslavara una parte del camino, provocando fragmentación de la población. Durante la última visita a esta localidad en abril de 2023 se logró observar cómo los individuos de *M. vovidesii* estaban recuperándose, también se encontraron plántulas no registradas el año anterior. Se ha documentado en otras magnolias que, tras el efecto de un disturbio por desastre natural, el reclutamiento se ve afectado tal como lo fue en *M. grandiflora* (Batista y Plant, 2003). Mientras que en otras magnolias se ha observado que el efecto de la perturbación antropogénica puede variar, como en *M. schiediana* (Vásquez-Morales et al., 2017) donde un disturbio moderado no afecta la regeneración. Por otra parte, tanto en *M. obovata* y *M. macrophylla* Michaux. se observó que presentan reclutamiento de plántulas rápido en respuesta a la perturbación del bosque, siendo la primera la que tiene mayor éxito de colonizar (Rounsaville, 2020).

Demografía

Con excepción de El Batda, las poblaciones de *M. vovidesii* registradas son pequeñas, donde la mayoría de los individuos son reproductivos, por lo que se considera poblaciones viejas. De acuerdo con Cicuzza et al. (2007) las poblaciones de magnolias se caracterizan por presentar en su mayoría individuos adultos, ya que la alta producción de semillas es una característica de especies que presentan una alta mortalidad o supervivencia de las plántulas que logran establecerse. Esa estrategia garantiza una continua producción de semillas por lo que no cuenta con un banco de germoplasma. De igual manera, esto genera una superposición generacional que lleva a una estructura demográfica estable con persistencia de adultos, pero con bajo reclutamiento.

Se ha evaluado la germinación de semillas de la población tipo (CO) de *M. vovidesii*, dando hasta un 100% de germinación después de pasar por un proceso pregerminativo (Corral-Aguirre y Sánchez-Velásquez, 2006), siendo un porcentaje elevado con respecto a lo reportado para *M. alejandrae* que presentó 76% de germinación (Gallardo-Yobal et al., 2022). Otros trabajos similares se han realizado para *M. schiedeana* obteniendo 84%, *M. iltisiana* 60% o *M. pugana* con 52 % (Saldaña et al., 2001; Vásquez-Morales y Sánchez-Velásquez, 2011; Jacobo-Pereira et al., 2016). Se ha observado que pese al alto porcentaje de germinación de *M. vovidesii*, esta presenta una mortalidad elevada en el mantenimiento y supervivencia de las plántulas y posterior transición de plántula a juvenil (Galván-Hernández et al., 2020). Estos datos sustentan el bajo reclutamiento esperado, más un alto potencial de manejo al contar con suficiente producción. Además, estos resultados también destacan la importancia de los adultos para la continuidad de la especie, haciendo necesaria su protección.

En la población de *Magnolia* sp. (BA) que puede ser una especie diferente, se observó una curva de crecimiento en *J* invertida, lo que indica una buena germinación, tal como ya se había determinado en *M. vovidesii* (Gutiérrez y Vovides, 1997; Galván-Hernández et al., 2020). Sin embargo, lo que destaca y hace a esta población completamente atípica en la elevada sobrevivencia de plántula y su transición a juveniles, situación que no comparte con otras plantas del género.

Por todo lo anterior, se puede asegurar que las poblaciones se sostienen por la presencia de los individuos reproductivos. No obstante, en campo se observó en la mayoría de los individuos una baja o nula producción de flores y por ende de frutos, de tal manera que las plántulas observadas proceden solo de poco individuos y encuentran emparentadas. Las actividades humanas parecen ser la causa de esta baja fecundidad pues, al menos en la población de CH, los habitantes informaron que días antes se habían cortado flores para la fiesta de semana santa, similar a lo que se ha reportado para *M. zoticla*, *M. mixteca*, además de usarlas con fines medicinales, alimenticios y ornamentales (Sánchez-González et al., 2021; Vázquez-García et al., 2021). Sumando a la baja supervivencia de plántulas y juveniles en CO, CH y Cu, afectadas principalmente por WE, PC y STM, genera una tasa reproductiva

baja y por ende un crecimiento poblacional negativo, aumentando el riesgo de extinción de *M. vovidesii* en sus áreas naturales.

Morfológico

La variación morfológica de los caracteres en las diferentes poblaciones de una misma especie puede estar influenciada por factores ambientales como la temperatura, humedad y disponibilidad de recursos, además de la propia genética de los organismos (Atkin et al., 2006; Gutiérrez-Lozano, 2018). Las diferencias entre los datos registrados de ciertos caracteres y la diagnosis de *M. vovidesii*, puede deberse a que, uno de los principales problemas al momento de describir una nueva especie, es el número limitado de muestras o pocos individuos que no llegan a contemplar toda la variación de los caracteres (Li y Coran, 2013; Wang et al., 2013).

Al respecto, el AA formó dos grupos: CO, CH, CU y el otro conformado únicamente por BA; lo cual, se puede observar nuevamente en los análisis multivariados, ya que, en el ACoP de las flores, la mayoría de los puntos pertenecientes al BA quedan distribuidos en un mismo plano, mientras que el AD de los frutos la ordenación de los puntos también se encuentra separados con respecto a las otras poblaciones. Lo cual, nos sugiere que la población ubicada en El Batda, Huayacocotla, podría tratarse de otra especie y no de *M. vovidesii*. No obstante, los caracteres vegetativos (hojas) no permiten hacer tal separación, por lo tanto, el diagnóstico taxonómico de *M. vovidesii* debe ser delimitado a partir de información reproductiva (flores y frutos).

La variación foliar es una respuesta a los gradientes de elevación y características ambientales como la temperatura o humedad (Sevik et al., 2021). Por eso las hojas no resultaron ser un atributo importante para separar las poblaciones, aunque se ha visto que, en algunas especies de magnolias, estas estructuras presentan mayor variación, pero está asociada al microhábitat (Rodríguez-Ramírez et al., 2021), tal como sucedió con *M. vovidesii*, ya que se pueden tener hojas maduras desde los 30 cm hasta los 60 cm. Las variables asociadas al tamaño foliar (LL y AML) si difieren entre las poblaciones, lo que puede ser atribuido a la latitud, tal como lo mencionan Tamaki et al. (2018), quienes encontraron que las hojas de *M. salicifolia* Maxim. son más grandes y anchas a medida que aumenta la latitud

entre las poblaciones, esto mismo se observó con las poblaciones de CO y BA poblaciones con distribución más al norte. DV es otro carácter foliar variable inter poblacional el cual se ha usado para distinguir entre especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla* (Rodríguez-Ramírez et al., 2021). Por el contrario, la LH mostró un intervalo menor en los máximos y mínimos, aun cuando este carácter se ha usado para agrupar o diferenciar entre poblaciones como en el caso de *M. mexicana* (Arteaga-Ríos et al., 2020, Gutiérrez-Lozano et al., 2021), y *M. rzedowskiana* (Gutiérrez-Lozano et al., 2020).

Por otra parte, se ha reconocido que el NE y NC, son caracteres florales diagnósticos para distinguir entre las especies pertenecientes a *Magnolia* sec. *Macrophylla* (García-Morales et al., 2017; Gutiérrez-Lozano et al., 2020; Sánchez-González, et al., 2021); tanto las tres poblaciones contempladas como *M. vovidesii* y el BA presentaron un rango mayor con respecto a lo reportado en la literatura, siendo más similar a lo presente en *M. rzedowskiana*, sin embargo en las flores de BA se encontraron estambres hasta de 2.5 cm, siendo mayor que cualquiera de las especies pertenecientes a *Magnolia* sec. *Macrophylla*.

Por otro lado, los frutos de BA tienden a ser más parecidos a los de *M. rzedowskiana* y *M. zoticla*. De igual manera el intervalo de tamaño de los frutos para *M. vovidesii* debe modificarse debido a que se encontraron frutos aún más grandes a lo reportado para la especie, siendo muy similares a los de *M. dealbata*. Además, también se ha usado el tamaño de las semillas para separar entre especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla*, aunque encontramos que no difieren tanto entre poblaciones. Sin embargo, las semillas de los frutos de BA suelen ser más anchas.

La variación morfológica encontrada podría asociarse con múltiples factores, tanto ambientales como de perturbación en el área de distribución de las poblaciones. Sin embargo, la información genética de las especies también influye en cuestiones de variación, entonces, para asegurar que la población en El Batda, Huayacocotla es otra especie, se necesitan realizar análisis genéticos para asociarla con otras especies geográficamente más próximas, debido a que se sabe que las magnolias son principalmente polinizadas por escarabajos y estos no suelen ser muy eficaces para intercambiar polen a grandes distancias (Thien, 1974; Gutiérrez 1993; Hirayama et al., 2005) lo cual no resulta beneficioso para la especie ya que

presenta una dependencia entre individuos reproductivos para poder realizar un intercambio genético (Galván-Hernández et al., 2020).

Correlación

Las hojas parecen no responder directamente ante la perturbación, debido a que existen muchos factores que pueden influir en sus características, tales como, cuestiones microambientales, la falta de recursos, y no solo factores antropogénicos.

Por el contrario, la variación morfológica de las flores presenta una correlación significativa con respecto al ID, explicado por la tala de adultos reproductivos y de otros ejemplares de especies acompañantes con fines maderables, así como la extracción de botones florales para uso tradicional o medicinal (Sánchez-González et al., 2021; Vázquez-García et al., 2021). Otros efectos, además de la fragmentación del hábitat, son los desastres naturales y cambios microambientales, que pueden generar retrasos de años para volver a tener la producción normal de flores y frutos (Law et al, 2001; Rojo et al., 2015). La correlación entre perturbación y variación frutal obedece también a los mismos criterios pues estas estructuras son producto de la polinización de las flores.

Por lo cual, se considera que las actividades humanas, principalmente la extracción de flores genera la mayor afectación en las poblaciones, sumado a variables como la superficie totalmente modificada, el parasitismo y la extracción de madera que también pueden afectar la cantidad y calidad de las flores y frutos dentro de las poblaciones de *M. vovidesii*.

CONCLUSIÓN

En *Magnolia vovidesii* la comparación de aspectos morfológicos entre poblaciones en su contexto ambiental y de perturbación y usando un mayor número de individuos permitió caracterizar de mejor manera la variación que existe entre poblaciones sugiriendo reajustes o actualizaciones en ciertos caracteres diagnósticos de las especies afines.

La perturbación presente en cada sitio ocasionó alta mortalidad en la transición de estadios en las especies, lo que apoya que la especie se enfrenta un riesgo de extinción, debido a la pérdida antrópica del hábitat y por actividades extractivas de flores que merman la producción de semillas, esenciales como parte del pull genético, lo que elimina la posibilidad de ingresar más individuos a las poblaciones, reduciendo la tasa de crecimiento poblacional.

La evidencia floral y frutal resultó ser de valor taxonómico, rechazándose la hipótesis de que las cuatro poblaciones estudiadas corresponden a la misma especie, *Magnolia vovidesii*. En contraste, se propone que las poblaciones de El Batda, Huayacocotla muy posiblemente corresponden a una entidad taxonómica aun no descrita, a reserva de contrastarla con otras especies distantes geográficamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga-Ríos, L. D., Mejía-Carraza, J., Piña-Escutia, J. L., González-Díaz, J. G. y Rivera-Colín, A. (2020). Comparación molecular y morfológica entre ejemplares de *Magnolia mexicana* “Yoloxóchitl” (Magnoliaceae) del estado de México y Veracruz. *Polibotánica*, 49: 107-124.
- Atkin, O. K., Loveys, B. R., Atkinson, L. J. y Pons, T. L. (2006). Phenotypic plasticity and growth temperature: understanding interspecific variability. *Journal of Botany*, 57: 267-281.
- Batista, W. B. y Platt, W. J. (2003). Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old-growth forest. *Journal of Ecology*, 92(2): 197-212.
- Bubb, P., May, I., Miles, L. y Sayer, J. (2004). Cloud Forest Agenda. The UN Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC), Cambridge.
- Castillo-Lara, P., Octavio-Aguilar, P. y De-Nova, J. A. (2017). *Ceratozamia zaragozae* Medellín-Leal (Zamiaceae), an endangered Mexican cycad: New information on 12 population structure and spatial distribution. *Brittonia*, 70(2): 155-165.
- Chávez-Cortázar, A., Oyama, K., Ochoa-Zavala, M., Mata-Rosas, M., Veltjen, E., Samain, M-S. y Quesada, M. (2021). Conservation genetics of relict tropical species of *Magnolia* (section *Macrophylla*). *Conservation Genetics*, 22: 259-273.
- Cicuzza, D., Newton, A. y Oldfield, S. (2007). Red list of the Magnoliaceae. *Cambridge, UK: Fauna & Flora International*. doi: 10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T193900A2290093.en
- Claerhout, T., Strubbe, D., Castillo Torres, R., Samain, M-S., Chatrou, L. W. y Veltjen, E. (2023). An integrative study of species distribution modelling and conservation genetics: *Magnolia* in Hispaniola. *Biodiversity Conservation*, 32: 1205-1231
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2010). El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. México, D. F. 197 p.

- Canabos, G. C. (1988). Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. Estado de México, México: McGrawHill/Interamericana de México, SA de CV. ISBN 858-451-856-0
- Corral-Aguirre, J. y Sánchez-Velásquez, L. R. (2006). Seed ecology and germination treatments in *Magnolia dealbata*: an endangered species. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 201(3): 227-232.
- Figlar, R. B. y Nooteboom, H. P. (2004). Notes on Magnoliaceae IV. *Blumea-Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 49(1): 87-100.
- Gallardo-Yobal, S. I., Rosa-Manzano, E. D. L., Castro-Nava, S., Reyes-Zepeda, F., Mora-Olivo, A. y Vázquez-García, J. A. (2022). Light quality and temperature fluctuation promote the germination of *Magnolia alejandrae* (Magnoliaceae, sect. *Macrophylla*), a critically endangered species endemic to northeast Mexico. *Botanical Sciences*, 100(3): 631-644.
- Galván-Hernández, D. M., Octavio-Aguilar, P., Bartolo-Hernández, C. de J., García-Montes, M. A., Sánchez-González, A., Ramírez-Bautista, A. y Vovides, A. (2020). Current Status of *Magnolia vovidesii* (Magnoliaceae, Magnoniales): New Data on Population Trends, Spatial Structure and Disturbance Threats. *Tropical Conservation Science*, 13: 1-12.
- García-Hernández, Ma. A. y Toledo-Aceves, T. (2020). Is there potential in elevation assisted migration for the endangered *Magnolia vovidesii*? *Journal for Nature Conservation*, 53.
- García-Morales, L. J., Iamónico, D. y Jiménez, J. G. (2017). Nomenclatural remarks on *Magnolia* sect. *Macrophylla* (Magnoliaceae), with description of a new species from North America (Tamaulipas, Mexico). *Phytotaxa*, 309(3): 238-244.
- Gehlhausen, S. M., Schwartz, M. W. y Augspurger, C. K. (2000). Vegetation and microclimatic edge effects in two mixed-mesophytic forest fragments. *Plant Ecology* 147: 21-35.
- 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 (CONABIO), México, D. F., 352 pp.

- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, 10(1).
- Gutiérrez, L. (1993). Estudio biológico de una especie forestal endémica (*Magnolia dealbata* Zucc.). Tesis, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Monterrey, N.L., México.
- Gutiérrez, L. y Vovides, A. P. (1997). An in-situ study of *Magnolia dealbata* Zucc. in Veracruz State: an endangered endemic tree of Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 6(1): 89-97.
- Gutiérrez-Lozano, M. (2018). Análisis de la variación morfológica de *Magnolia rzedowskiana* A. Vázquez, R. Domínguez & R. Pedraza (Magnoliaceae) en la Sierra Madre Oriental, México. Tesis de Maestría. UAEH. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Gutiérrez-Lozano, M., Sánchez-González, A., Vázquez-García, J. A., López-Mata, L. y Octavio-Aguilar, P. (2020). Diferenciación morfológica poblacional de *Magnolia rzedowskiana* (Magnoliaceae): especie endémica en peligro de extinción de la sierra Madre Oriental, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(2): 1-10.
- Gutiérrez-Lozano, M., Vázquez-García, J. A., Reyes-Ortiz, J. L., Aguilar, P. O., Galván-Hernández, D. M. y Sánchez-González, A. (2021). Variación en la morfología foliar, floral y frutal de *Magnolia mexicana* (DC.) G. Don (Sección *Talauma*, Magnoliaceae) en México. *Botanical Sciences*, 99(4): 955-975.
- Hammer Ø, Harper D. A. y Ryan P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4: 9.
- Hirayama, K., Ishida, K. y Tomaru, N. (2005). Effects of pollen shortage and self-pollination on seed production of an endangered tree, *Magnolia stellata*. *Annals of botany*, 95(6): 1009-1015.
- Ibarra-Martínez, M. V. (2020). Relaciones filogenéticas y filogeográficas de *Magnolia* sección *Macrophylla* en México. Tesis de Maestría. U de G. Guadalajara, Jalisco, México.
- Jacobo-Pereira, C., Romo-Campos, R. y Flores, J. (2016). Seed germination of *Magnolia pugana* (Magnoliaceae), an endemic and endangered species from Western Mexico. *Botanical Sciences*, 94(3): 575-584.

- Law, B., Mackowski, C., Schoer, L. y Tweedie, T. (2001). Flowering phenology of myrtaceous trees and their relation to climatic, environmental and disturbance variables in northern New South Wales. *Austral Ecology*, 25(2): 160-178.
- Li, J. y Conran, J. G. (2013). Phylogenetic relationships in Magnoliaceae subfam. Magnolioideae: a morphological cladistics analysis. *Plant Systematics and Evolution*, 242: 33-47. <https://doi.org/10.1007/s00606-003-0055-5>
- Ludwig, J. A. y Reynolds, J. F. (1988). Statistical ecology: a primer in methods and computing (Vol. 1). John Wiley & Sons.
- Malhi, Y., Gardner T. A., Goldsmith, G. R., Silman, M. R. y Zelazowski, P. (2014) Bosques tropicales en el Antropoceno. *Annual Review of Environment and Resources* 39:125-159.
- Martorell, C. y Peters, E. M. (2009). Disturbance-response analysis: a method for rapid assessment of the threat to species in disturbed areas. *Conservation Biology*, 23(2): 377-387.
- Rodríguez-Ramírez, E. C., Vázquez-García, J. A., Alcántara-Ayala, O. y Luna-Vega, I. (2018). Drought effects on vessel plasticity of two endemic *Magnolia* species in the tropical montane cloud forests of eastern Mexico. *Journal of Plant Ecology*, 13(3): 332-340. <http://doi.org/10.1093/jpe/rtaa019>
- Rodríguez-Ramírez E. C., García-Morales, L. J., Alcántara-Ayala, O., Vázquez-García, J. A. y Luna-Vega, I. (2021) Leaf Vein morphological variation in four endangered Neotropical *Magnolia* species along an elevation gradient in the Mexican tropical montane cloud forests. *Plants*, 10(12): 2595
- Rojo, J., Salido, P. y Pérez-Badia, R. (2015). Flower and pollen production in the ‘Cornicabra’ olive (*Olea europaea* L.) cultivar and the influence of environmental factors. *Trees* 29: 1235-1245.
- Rounsaville, T. J. (2020). Spatiotemporal recruitment patterns of two introduced *Magnolia* L. species in a disturbed oak forest. *Ecoscience*, 27(3): 165-176.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Sánchez-González, A., Gutiérrez-Lozano, M., Domínguez-Yescas, R., Hernández-Álvarez, A. G., Ortega-Peña A. S. y Vázquez-García, J. A. (2021). *Magnolia zoticla*

- (*Magnolia* sect. *Macrophylla*, Magnoliaceae): a new species from the southern Sierra Madre Oriental, México. *Phytotaxa*, 513(4): 271-281.
- 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(1): 203-210.
- Saldaña, A., Zuloaga, A. y Jardel, P. (2001). Germinación de *Acer skutchii* Rehder y *Magnolia iltisiana* Vázquez en la reserva de la biósfera Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Foresta Veracruzana*, 3(2): 1-8.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S. y Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7): 671–675. [doi:10.1038/nmeth.2089](https://doi.org/10.1038/nmeth.2089)
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H.B., Erbek, A. y Zeren Cetin, I. (2021). The effect of climate on leaf micromorphological characteristics in some broad-leaved species. *Environment, Development and Sustainability*, 23: 6395-6407.
- Song, C. y Liu, H. (2019). Habitat differentiation and conservation gap of *Magnolia biondii*, *M. denudata*, and *M. sprengeri* in China. *PeerJ*, 6, e6126.
- StatSoft Inc. (2010). STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com
- Tamaki, I., Kawashima, N., Setsuko, S., Itaya, A. y Tomaru, N. (2018). Morphological and genetic divergence between two lineages of *Magnolia salicifolia* (Magnoliaceae) in Japan. *Biological Journal of the Linnean Society*, 125(3): 475-490.
- Thien, L. B. (1974). Floral biology of *Magnolia*. *American Journal of Botany*, 61(10): 1037-1045.
- Toledo-Aceves, T. (2018). Regiones Prioritarias para la Conservación del Bosque Mesófilo de Montaña. *AgroProductividad*, 10(1): 10-13.
- Valdez-Tamez, V., Foroughbakhch-Pournavab, R. y Alanís-Flores, G. J. (2003). Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noreste de México. *Ciencia UANL*, 6(3): 360-365.
- Valladares, F., Sánchez-Gómez, D. y Zavala, M. A. (2006). Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology* 94: 1103-1116.

- Vásquez-Morales, S. y Sánchez-Velásquez, L. (2011). Seed ecology and pre-germinative treatments in *Magnolia schiedeana* Schlecht, an endangered species from Mexico. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9: 604-608.
- Vásquez-Morales, S. G., Sánchez-Velásquez, L. R., del Rosario Pineda-López, M., Díaz-Fleischer, F., Flores-Estévez, N. y Viveros-Viveros, H. (2017). Moderate anthropogenic disturbance does not affect the demography of *Magnolia schiedeana*, an endangered species from Mexico. *Flora*, 234: 77-83.
- Vázquez-García, J. A. (1994). Magnolia (Magnoliaceae) in Mexico and Central America: a synopsis. *Brittonia* 46: 1-23.
- Vázquez-García, J. A., Domínguez-Yescas, R., Luna-Vega, Isola, Rodríguez-Ramírez, E. C. y Rodríguez-Pérez, C. (2021). Corncob flower, *Magnolia mixteca* (*M. sect. Macrophylla*, Magnoliaceae) a new species endemic to the Alto Balsas Basin (Baja Mixteca), in the Pacific slopes of Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa*, 522(3): 200-210.
- Valverde, T., Cano-Santana, Z., Meave, J. y Carabias, V. (2005). Ecología y medio ambiente. Pearson Education, México.
- Wang, Y., Ejder, E., Yang, J., Kang, Y., Ye, W. y Zhang, S. (2013). *Magnolia sinostellata* and relatives (Magnoliaceae). *Phytotaxa* 154(1): 47-58.
- Wang, B., Ma, Y., Chen, G., Li, C., Dao, Z. y Sun, W. (2016). Rescuing *Magnolia sinica* (Magnoliaceae), a critically endangered species endemic to Yunnan, China. *Oryx*, 50: 446-449. <https://doi.org/10.1017/s0030605315000435>
- 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. *Genetic and Molecular Research*, 14(2): 6495-6508.

CAPÍTULO III:
Diversidad y estructura genética de *Magnolia*
vovidesii

RESUMEN

Los niveles de variación genética en especies amenazadas son un indicador fiable de su potencial evolutivo y constituyen datos primordiales para cualquier plan de manejo y conservación. *Magnolia vovidesii* es una especie endémica de varios municipios en Veracruz, México; cuyas poblaciones se han reducido en más del 50% en los últimos 10 años, por lo que se le considera en peligro de extinción de acuerdo con los lineamientos de la UICN. El objetivo de este capítulo fue evaluar la diversidad y estructura genética de cuatro poblaciones de este taxón mediante marcadores SSRs reportados para otras especies del género. Los resultados indican que *M. vovidesii* tiene diversidad genética extremadamente baja ($H_o: 0.047 \pm 0.016$) y niveles de endogamia alarmantes (0.912 ± 0.028) por lo que el riesgo de extinción es elevado. Sin embargo, los datos requieren una evaluación posterior incrementando la cantidad de marcadores y mejorando la amplificación de los marcadores pues en la mayoría de los casos solo se logró la amplificación del 50% de la muestra. No obstante, aún con lo limitado de los datos, es posible separar consistentemente a la población del Batda con respecto a las otras tres localidades analizadas, por lo que se puede asegurar que su identidad taxonómica no corresponde a la especie y amerita revisión morfológica.

INTRODUCCIÓN

Magnolia vovidesii es una de las nueve especies pertenecientes a la sec *Macrophylla*, es reportada como endémica del centro de Veracruz; con la población tipo ubicada en la localidad de Coyopolan, Ixhuacán de los Reyes, Veracruz. Se han realizado diversos estudios generando la información necesaria para clasificarla bajo la categoría P (en peligro de extinción) de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 y CR (en peligro crítico) de acuerdo con la IUCN (Bartolo-Hernández, 2019; Galván-Hernández et al., 2020; Rivers, 2016).

Los trabajos sobre la diversidad genética ayudan a conocer la historia de una población, a entender los problemas que podrían limitar su adaptación, distribución, mantenimiento y supervivencia a corto, mediano y largo plazo; con respecto a entornos estresantes o cambiantes (Frankham et al., 2012). La diversidad genética se ve afectada, principalmente por barreras al flujo de genes, la dispersión y deriva génica aleatoria, el aislamiento espacial, y en particular la fragmentación del hábitat (de Ita et al., 2012; Nunziata et al., 2016; Chávez-Cortázar et al., 2021).

Para el caso de las magnolias, se ha evaluado la diversidad genética con diferentes enfoques; los primeros trabajos genéticos se realizaron con especies asiáticas, por ejemplo, en *M. sieboldii* se usaron microsatélites para identificar la variación entre micropoblaciones (Kikuchi e Isagi, 2002), en *M. obovata* se evaluaron los patrones de polinización y las consecuencias de la fragmentación en la diversidad genética usando microsatélites (Isagi et al., 2004, 2007), en *M. stellata* (Setsuko et al., 2007; Tamaki et al., 2008) y *M. wufengensis* (Chen et al., 2014) se analizó la variación y flujo de genes. En la última década se ha evaluado la diversidad genética de diferentes especies neotropicales y del Caribe entre las que destacan *M. acuminata* (Budd et al., 2015; Wollaeger et al., 2011), *M. mexicana* (Medrano-Hernández, 2017; Arteaga-Rios et al., 2020), *M. cubensis* subsp. *acunae* (Hernández et al., 2020), *M. pacifica* (Muniz-Castro et al., 2020) y *M. tamaulipana* (García-Montes et al., 2022), en ellas se buscó la relación entre el riesgo de extinción y la degradación del hábitat.

Sin embargo, pese a la información obtenida en el género *Magnolia*, aún existen muchas especies de las cuales se desconoce su información genética, tal es el caso de *M.*

vovidesii la cual no ha sido objeto de estudio para este fin; el único trabajo actual donde se usaron algunas poblaciones pertenecientes a esta especie, fue para distinguir la variación genética existente entre algunas especies de *Magnolia* sec. *Macrophylla*, y comprobar si los grupos que se rescatan coinciden con los propuestos (Chávez-Cortázar et al., 2021). La integración de estos estudios genéticos a los trabajos ecológicos y morfológicos que se han realizado para la especie, ayudarían a precisar su estatus de conservación tanto en la normativa mexicana como en la internacional. Por lo que el objetivo en este capítulo es evaluar la diversidad y estructura genética de las poblaciones reportadas como *M. vovidesii* mediante el uso de marcadores moleculares SRR, con el fin de establecer la identidad taxonómica de cuatro de las poblaciones reportadas en la literatura como dicha especie.

MATERIAL Y MÉTODO

Colecta de material biológico

Se colectaron muestras foliares de individuos pertenecientes a cuatro poblaciones de *M. vovidesii* ubicadas en el estado de Veracruz. Según la literatura, estas se encuentran en la localidad de Coyopolan en Ixhuacán de los Reyes (población tipo), El Batda en Huayacocotla, Chapultepec el Chico en Magdalena y Cuacaballo en Zongolica. Durante las salidas de campo se seleccionaron 20 individuos por población, a los cuales con ayuda de una garrocha se les corto una hoja madura por individuo, evitando dañar las plantas; posteriormente, las hojas fueron transportadas en bolsas herméticas que contenían sílica gel para eliminar la humedad, y en el laboratorio se almacenaron a -80 °C hasta su uso.

Extracción y amplificación de DNA

Para la extracción de DNA se usó el protocolo propuesto por Doyle y Doyle (1987), agregando NaCl al 2%, purificando con Fenol: Cloroformo: Alcohol isoamílico (25:24:1), estas modificaciones se realizaron para obtener muestras de DNA con mayor pureza y concentración; las cuales se cuantificaron en un espectrofotómetro. Para el análisis genético, se seleccionaron 4 microsátélites polimórficos de los propuestos por von Kohn et al. (2018) para dos especies de la *Magnoliasec Macrophylla* (Tabla 18). A partir de estos se realizó la

estandarización de los primers. Una vez obtenidas las temperaturas de alineamiento para cada marcador, se seleccionaron solo cuatro de los diez marcadores estandarizados. Posteriormente, se realizó la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) con todos los individuos para cada primer; el volumen final de la reacción fue de 7µl, empleando 1.5µl de muestra de DNA (50 ng), 0.5µl del primer (forward y reverse de cada uno) a una concentración de 10 mg / mL, 0.3µl de dNTPs, 0.25µl de Taq polimerasa, 1.6 mL de MgCl, 2.3 mL de Buffer y para completar el volumen final se usó 0.5µl de dH₂O. Los amplificados se corrieron en geles de poliacrilamida al 16%, teñidos con bromuro de etidio para ser visualizados en un transiluminador. Finalmente, se fotografiaron para su posterior análisis.

Tabla 18. Marcadores moleculares utilizados para evaluar la diversidad genética en *Magnolia vovidesii*.

No	Marcador	Secuencia	Temperatura	PB	NA
1	MA3_7	F: CATGCTAACCCATCTAGTCACG R: TCCCAATACCCATCCCAGTA	64.7 °C	220-250	7
2	MA3_27	F: ATCACCGATTTTAGCCTCCA R: GACTGGCCCGTATGTTTGTC	65 °C	220-257	6
3	MA5-12	F: TCATTTTCGATAGGGGACCA R: AGTCGGACTTGGGTTGAGAA	63.1 °C	144–179	7
4	MA5_5	F: AACGTTTCAGCTTCTTGTTGGA R: AGTCCAAGACCGAGCGAGT	55.7 °C	296–312	4

Pb: Tamaño de los alelos en pares de bases reportados, NA: Número de alelos reportados por marcador. Los datos de PB y NA son lo que se mencionan en la literatura (von Kohn et al., 2018).

Análisis genético

Las frecuencias alélicas fueron calculadas para estimar el número promedio de alelos por locus (A), el número efectivo de alelos por locus (Ne), el porcentaje de loci polimórficos (P), el índice informativo de diversidad genética de Shannon (I), la heterocigosis observada (Ho) y esperada (He), la cantidad de alelos exclusivos (Ae) y el coeficiente de fijación ($f = 1 - [HO/HE]$). Con base en las diferencias significativas entre las frecuencias genotípicas observadas y esperadas se estimó el Equilibrio de Hardy-Weinberg (EHW) para cada

localidad. Los análisis se realizaron con el programa GenAEx v.641 (Peakall y Smouse 2006).

Las diferencias genéticas dentro y entre sitios fueron evaluadas mediante el cálculo de los índices de diferenciación/endogamia (F_{IT} , F_{IS} , F_{ST}) de forma pareada, lo que permite estimar la cantidad de individuos migrantes por generación ($Nm = 1 - \frac{F_{ST}}{4F_{ST}}$) (Slatkin y Barton, 1989), todo ello con el mismo programa. Se calcularon las distancias genéticas de Nei's y se realizó un dendrograma de Neighbour-Joining (NJ) no enraizado con un análisis de Bootstrap de 10,000 pasos para delimitar los grupos.

Se utilizó el programa STRUCTURE (Pritchard et al., 2000) para evaluar la cohesión genética entre los individuos dentro de las localidades y visualizar la dispersión de los grupos por medio de un análisis de asignación basado en el Modelo de Monte Carlo por 50,000 permutaciones y 50,000 pasos para el Bootstrap, repitiendo 10 iteraciones a fin de establecer el intervalo de confianza. El modelo asume de forma aditiva la identidad de los casos posterior a su asignación a un grupo considerando K grupos hipotéticos, que en este estudio consistió en 2 a 10 grupos (Falush et al., 2007). La cantidad de grupos formados fue evaluada mediante el método gráfico-acumulativo de probabilidad propuesto por Evanno et al. (2005). Las gráficas fueron generadas mediante el programa STRUCTURE SELECTOR (Li y Liu, 2018).

RESULTADOS

El análisis mostró un total de 27 alelos, todos los marcadores resultaron polimórficos y el marcador MA3_27 resultó el más variable con nueve alelos. En todas las poblaciones hay endogamia elevada ($F_{IS} = 0.912 \pm 0.028$). El Batda fue la población con mayor diversidad, seguida de Coyopolan (Tabla 19). No obstante, en promedio, la cantidad de individuos amplificados fue de 11.63, mucho menor de la cantidad evaluada. Las poblaciones de Cuacaballo y Chapultepec, mostraron índices informativos de Shannon menores a uno, lo cual está asociado con una disminución en su riqueza alélica. Finalmente, ningún marcador y ninguna población se encuentra en EHW.

Tabla 19. Indicadores de diversidad genética.

	N	A	Ne	I	Ho	He	Ae	F_{IS}
Batda	13.5 ± 0.29	4.25 ± 0.63	3.79 ± 0.57	1.34 ± 0.14	0.09 ± 0.04	0.72 ± 0.03	8	0.86 ± 0.05
Coyopolan	13 ± 0.41	4 ± 0.71	2.89 ± 0.52	1.13 ± 0.23	0.04 ± 0.04	0.6 ± 0.11	1	0.95 ± 0.05
Cuacaballo	10 ± 0.41	3 ± 1.08	2.53 ± 0.86	0.82 ± 0.35	0.03 ± 0.03	0.46 ± 0.17	2	0.93 ± 0.06
Chapultepec	10 ± 0.41	3 ± 1.08	2.45 ± 0.88	0.80 ± 0.35	0.03 ± 0.03	46 ± 0.18	0	0.91 ± 0.08

N: número de individuos amplificados por población; A: promedio de alelos por locus; Ne: Número efectivo de alelos por locus; I: Índice informativo de Shannon; Ho: Heterocigosis observada; He: Heterocigosis esperada, Ae: Alelos exclusivos; F_{IS}: Coeficiente de endogamia.

En cuanto a la divergencia, la población del Batda es la más distante (Distancias de Nei, promedio del Batda con respecto al resto de las poblaciones: 1.128 ± 0.04). Estas diferencias son significativas de acuerdo con el AMOVA (Fst: 0.086, p= 0.001), alcanzando hasta un 9% de la variación única en dicha población con respecto al resto (Fst: 0.089, p= 0.001). Por el contrario, las poblaciones más semejantes son Coyopolan, Chapultepec y Cuacaballo (Distancia de Nei: 0.190 ± 0.13), esto se aprecia en el dendrograma NJ (Fig. 13). De esta forma podemos decir que existen dos grupos sustentados por la probabilidad del análisis Bootstrap.

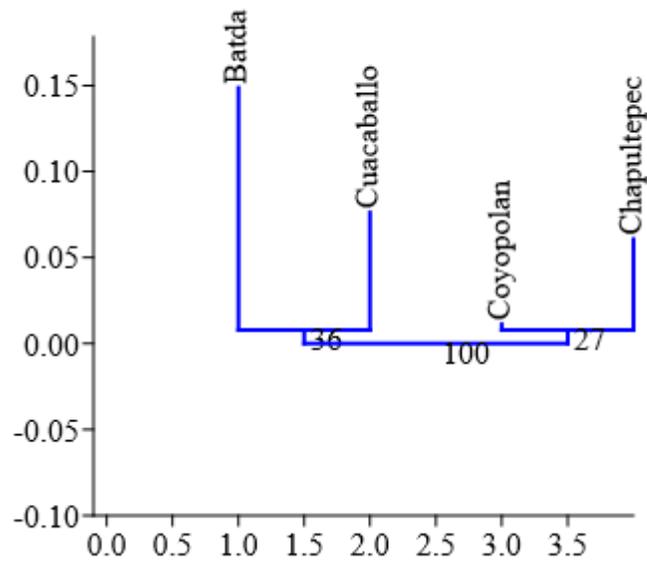


Figura 13. Análisis de agrupamiento considerando las distancias de Nei entre poblaciones mediante el algoritmo Neighbour-Joining.

Sin embargo, el análisis de asignación bayesiana sugiere la existencia de tres grupos ($\text{LnP}(k3) -416,37$; $\text{Ln}^{\prime}(k3): 73.41$, $\text{Delta } k3: 20.39$; Fig. 14a y 14b), no dependientes del origen poblacional esperado para $k = 4$ ($\text{LnP}(k4) -385,68$; $\text{Ln}^{\prime}(k4): 30.69$, $\text{Delta } k4: 4.34$; Fig. 14c). Aunque nuevamente la mayor divergencia se presenta en los individuos de la población del Batda. En este análisis la mayor similitud se encuentra entre las poblaciones de Cuacaballo y Chapultepec, ubicadas en la Sierra de Zongolica.

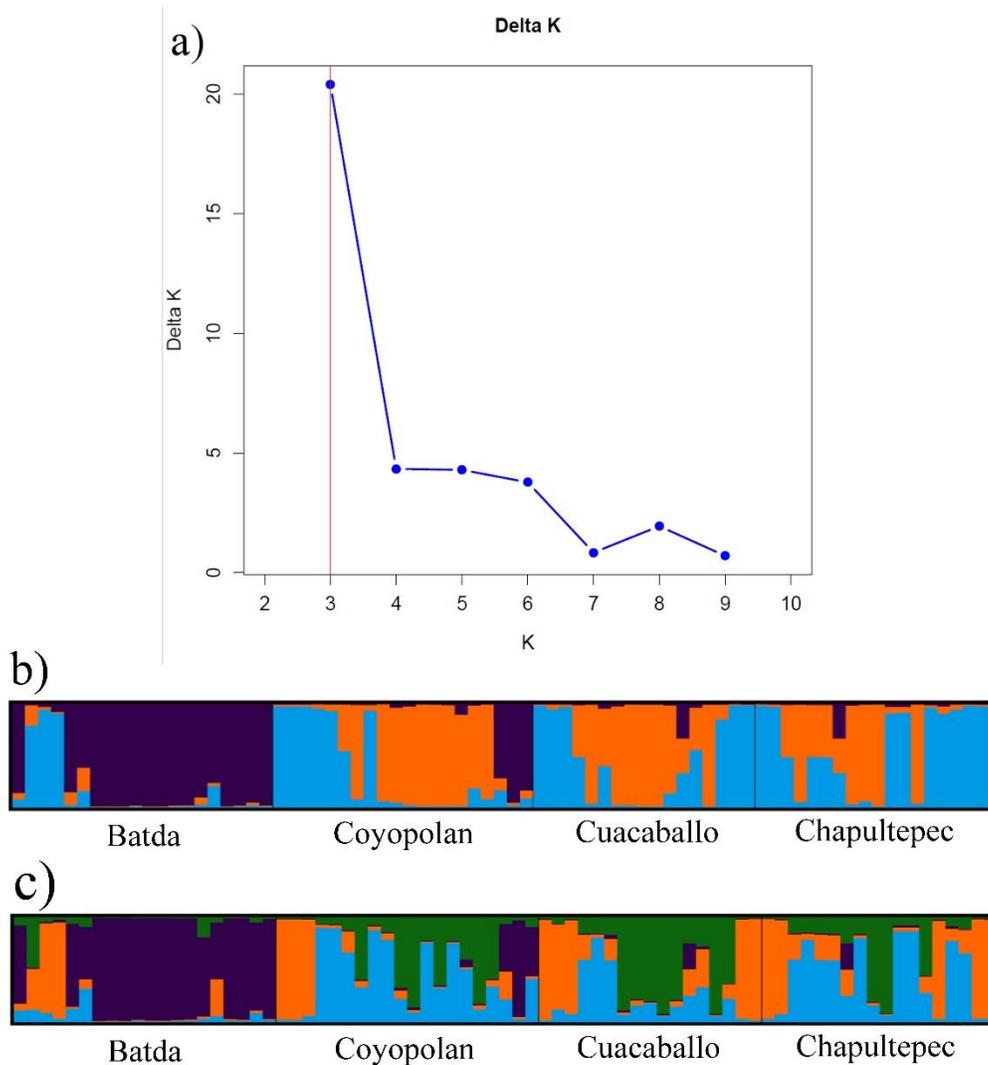


Figura 14. Análisis de asignación STRUCTURE. a) Gráfico de Evanno para determinar la cantidad de grupos genéticos. b) Asignación para $k=3$. c) Asignación para $k = 4$.

DICUSIÓN

El análisis genético mostró que las poblaciones tienen un nivel de diversidad genética en extremo baja y una alta estructura, esto podría relacionarse con especies que presentan individuos producto de auto fertilización, lo cual se correlaciona con floración múltiple y baja movilidad de los polinizadores (Isagi et al., 2000). Por lo anterior, el sistema de apareamiento de las plantas impacta en gran medida sobre su diversidad genética. En general, a mayor exocruza mayor diversidad, aunque en algunos casos, aún con niveles elevados de

endogamia existe un amplio potencial de incremento en la variación siempre que se rompan las barreras de consanguinidad (Schoen y Brown, 1991). Ante esta perspectiva, el efecto observado en *M. vovidesii* puede ser pasajero y basta un incremento en la floración durante un año favorable, para recuperar un nivel adecuado de heterocigosis. Esto es posible siempre y cuando los pobladores no extraigan demasiadas flores y que la continuidad en la matriz vegetal permita el intercambio de gametos. Además, se necesitaría que varios adultos espacialmente cercanos, florecieran al mismo tiempo.

De igual manera, la historia de perturbación en los sitios puede tener un impacto negativo sobre la diversidad genética, tal como se identificó en Coyopolan y Cuacaballo, una afectada por la poda indiscriminada de individuos adultos (Galván-Hernández et al., 2020), y la otra modificada por la eliminación de grandes extensiones de bosque por una catástrofe natural (huracán), estos hechos han reducido la cantidad de individuos reproductivos; un efecto similar se ha observado en otras especies, lo cual favorece la endogamia en cultivos de *Clarkia pulchella* (Newman y Pilson, 1997), la orquídea terrestre clonal *Cremastra appendiculata* (Chung et al., 2004) y *Taxus yunnanensis* (Miao et al., 2016). En todos estos casos, la reducción del tamaño poblacional se puede relacionar con cuellos de botella similares a los ya mencionados para ambas poblaciones.

Sin embargo, es necesario la evaluación de los cambios en las frecuencias alélicas en las poblaciones mediante un modelo de equilibrio entre deriva y mutación (Cornuet y Luikart, 1996) lo que podría establecer la intensidad de la reducción, para determinar si estos cambios son significativos y si reflejan cuellos de botella recientes o ancestrales. Se esperaría que la heterocigosis se incrementara de manera momentánea (una generación después de la reducción poblacional), o en su defecto disminuyera a largo plazo (varias generaciones después del cuello de botella) ante este tipo de fenómenos (Luikart y Cornuet, 1998). Desafortunadamente, la base de datos obtenida tiene pocos marcadores y existen varios individuos que no amplificaron con los SSRs probados. Por ello, la cantidad de ceros sobreestima el nivel de endogamia en las poblaciones y podría sugerir un cuello de botella mayor a lo que realmente sucedió, por lo tanto, es importante evaluar a los individuos faltantes e incrementar la cantidad de marcadores en futuros estudios.

Así mismo, la diversidad genética obtenida en este estudio podría estar sobreestimada. Un índice informativo de Shannon menor a uno es poco fiable ya que no es representativo de los loci evaluados y es extremadamente sensible al tamaño poblacional (Konopinski, 2020). Este indicador es particularmente bajo en Cuacaballo y Chapultepec, lo cual podría relacionarse al bajo número de individuos amplificados. Por su parte el índice de fijación (F_{ST}) es una medida de diferenciación genética obtenida a partir de la varianza de la frecuencia alélica lo cual nos indica la estructura entre las poblaciones, en este trabajo se determinó que existe diferenciación significativa entre los sitios (F_{st} : 0.086, $p= 0.001$) comparado con otras especies del género, como *M. acuminata* (Budd et al., 2015), *M. tamaulipana* (García-Montes et al., 2022), *M. mexicana* (Gutiérrez-Lozano et al., 2023) con valores de F_{st} : 0.212-0.32.

Finalmente, aún con las deficiencias en la base de datos, es posible reconocer en la población del Batda varios alelos exclusivos con frecuencias altas (0.299 ± 0.077), lo que implica que hasta 30% de los individuos evaluados los tienen, en esta población la divergencia genética es alta y significativa en todos los análisis de estructura genética, lo que separa consistentemente a esta localidad del resto, al menos a nivel genético. Lo anterior apoya las diferencias morfológicas florales y frutales mencionadas en el capítulo anterior.

CONCLUSIÓN

Magnolia vovidesii tiene una variación genética extremadamente baja y niveles de endogamia alarmantes por lo que el riesgo de extinción es elevado. No obstante, es necesario completar la base de datos para obtener resultados más robustos que nos permitan estimar mejor el riesgo en el que se encuentra. Aún con lo limitado de los datos genéticos, es posible separar consistentemente a la población del Batda con respecto a las otras tres localidades analizadas, por lo que su identidad taxonómica no corresponde a la especie de estudio lo cual corresponde con las diferencias morfológicas que se encontraron en el capítulo previo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga-Rios, L. D., Mejía-Carraza, J., Piña-Escutia, J. L., González-Díaz, J. G. y Rivera-Colín, A. (2020). Comparación molecular y morfológica entre ejemplares de *Magnolia mexicana* “Yoloxóchitl” (Magnoliaceae) del estado de México y Veracruz. *Polibotánica*, (49): 107-124.
- Bartolo-Hernández, C. de J. (2019). Evaluación del estado poblacional actual de *Magnolia vovidesii* en Ixhuacán de los Reyes, Veracruz. Tesis. ICBI, UAEH. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Budd, C., Zimmer, E. y Freeland, J. R. (2015). Conservation genetics of *Magnolia acuminata*, an endangered species in Canada: can genetic diversity be maintained in fragmented, peripheral populations?. *Conservation genetics*, 16: 1359-1373.
- Chávez-Cortázar, A., Oyama, K., Ochoa-Zavala, M., Mata-Rosas, M., Veltjen, E., Samain, M-S. y Quesada, M. (2021). Conservation genetics of relict tropical species of *Magnolia* (section *Macrophylla*). *Conservation Genetics*, 22: 259-273.
- Chen, L., Chen, F., He, S. y Ma, L. (2014). High genetic diversity and small genetic variation among populations of *Magnolia wufengensis* (Magnoliaceae), revealed by ISSR and SRAP markers. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17(6): 268-274.
- Chung, M. Y., Nason, J. D. y Chung, M. G. (2004). Implications of Clonal Structure for Effective Population Size and Genetic Drift in a Rare Terrestrial Orchid, *Cremastra appendiculata*. *Conservation Biology*, 18(6): 1515-1524. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00291.x>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2010). El bosque mesófilo de montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. México, D. F. 197 p.
- Cornuet, J. M. y Luikart, G. (1996). Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics*, 144(4): 2001-2014. <https://doi.org/10.1093/genetics/144.4.2001>
- Doyle, J. J. y Doyle, J. L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19: 11-15.

- Evanno, G., Regnaut, S. y Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular ecology*, 14(8): 2611-2620.
- Falush, D., Stephens, M. y Pritchard, J. K. (2007). Inference of population structure using multilocus genotype data: dominant markers and null alleles. *Molecular Ecology Notes* 7: 574-578. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01758.x>.
- Frankham, R., Ballou J.D. y Briscoe, D. A. (2012). Introduction to the Conservation Genetics. *Cambridge University Press*. 310 p.
- Galván-Hernández, D. M., Octavio-Aguilar, P., Bartolo-Hernández, C. de J., García-Montes, M. A., Sánchez-González, A., Ramírez-Bautista, A. y Vovides, A. (2020). Current Status of *Magnolia vovidesii* (Magnoliaceae, Magnoniales): New data on population trends, spatial structure and disturbance threats. *Tropical Conservation Science*, 13: 1-12.
- García-Montes, M. A., Cibrian-Jaramillo, A., Reyes-Zepeda, F., Chacón-Hernández, J. C., Vanoye-Eligio, V., Sanchez-Gonzalez, A. y Octavio-Aguilar, P. (2022). *Magnolia tamaulipana*: genetic evaluation shows high vulnerability in a narrow distribution. *International Journal of Plant Sciences* 183(2): 154-167.
- Gutiérrez-Lozano, M., Sánchez-González, A., Octavio-Aguilar, P., Galván-Hernández, D. M. y Vázquez-García, J. A. (2023). Genetic diversity and structure of *Magnolia mexicana* (Magnoliaceae): A threatened species in eastern Mexico. *Silvae Genetica*, 72: 132-142.
- Hernández, M., Palmarola, A., Veltjen, E., Asselman, P., Testé, E., Larridon, I. y González-Torres, L. R. (2020). Population structure and genetic diversity of *Magnolia cubensis* subsp. *acunae* (Magnoliaceae): effects of habitat fragmentation and implications for conservation. *Oryx* 54(4): 451-459.
- Isagi, Y., Kanazashi, T., Suzuki, W., Tanaka, H. y Abe, T. (2000). Microsatellite analysis of the regeneration process of *Magnolia obovata* Thunb. *Heredity*, 84(2): 143-151. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2000.00642.x>
- Isagi, Y., Kanazashi, T., Suzuki, W., Tanaka, H. y Abe, T. (2004). Highly variable pollination patterns in *Magnolia obovata* revealed by microsatellite paternity analysis. *International Journal of Plant Sciences*, 165(6): 1047-1053.

- Isagi Y, Tateno R., y Matsuki Y. (2007). Genetic and reproductive consequences of forest fragmentation for populations of *Magnolia obovata*. *Ecological Research* 22:382-389. <https://doi.org/10.1007/s11284-007-0360-5>
- de Ita, A. O., Oyama, K., Smith, T. B., Wayne, R. K. y Milá B. (2012). Genetic evidence for recent range fragmentation and severely restricted dispersal in the critically endangered Sierra Madre Sparrow, *Xenospiza baileyi*. *Conservation Genetics* 13: 283-291. <https://doi.org/10.1007/s10592-011-0283-0>
- Kikuchi S, e Isagi Y. (2002). Microsatellite genetic variation in small and isolated populations of *Magnolia sieboldii* ssp. *japonica*. *Heredity*, 88: 313-321. <https://doi.org/10.1038/sj/hdy/6800047>
- von Kohn, C., Conrad, K., Kramer, M. y Pooler, M. (2018). Genetic diversity of *Magnolia ashei* characterized by SSR markers. *Conservation Genetics* 19: 923-936.
- Konopinski, M. K. (2020). Shannon diversity index: a call to replace the original Shannon's formula with unbiased estimator in the population genetics studies. *PeerJ*, e9391. <https://doi.org/10.7717/peerj.9391>
- Li, Y. L. y Liu, J. X. (2018). StructureSelector: A web-based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods. *Molecular Ecology Resources* 18: 176-177.
- Luikart, G. y Cornuet, J. M. (1998). Empirical evaluation of a test for identifying recently bottlenecked populations from allele frequency data. *Conservation Biology*, 12(1): 228-237. <https://www.jstor.org/stable/2387479>
- Medrano-Hernández, J. M., Rodríguez de la O, J. L., Reyes-Trejo, B. y Peña-Ortega, M. G. (2017). Molecular characterization using ISSR primers of *Magnolia mexicana* DC. from two regions in Zongolica, Veracruz, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(3): 427-436.
- Miao, Y. C., Zhang, Z. J. y Su, J. R. (2016). Low genetic diversity in the endangered *Taxus yunnanensis* following a population bottleneck, a low effective population size and increased inbreeding. *Silvae Genica*, 65(1): 59-66. <https://doi.org/10.1515/sg-2016-0008>
- Muñiz-Castro, M. Á., Castro-Félix, P., Carranza-Aranda, A. S., Vázquez-García, J. A. y Santerre, A. (2020). Population genetics, species boundaries, and conservation in the

- Magnolia pacifica* species complex along a continentality and moisture gradient in western Mexico. *Botanical Sciences* 98(3): 500-516.
- Newman, D. y Pilson, D. (1997). Increased probability of extinction due to decreased genetic effective population size: experimental populations of *Clarkia pulchella*. *Evolution*, 51(2): 354-362. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1997.tb02422.x>
- Nunziata, S. O., Wallenhorst, P. y Barrett, M A. (2016). Population and conservation genetics in an endangered lemur, *Indri indri*, across three forest reserves in Madagascar. *International Journal Primatology* 37: 688-702.
- Peakall, R. O. D. y Smouse, P. E. (2006). GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular ecology notes* 6(1): 288-295.
- Pritchard, J. K., Stephens, M. y Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2): 945-959.
- Rivers, M. C. (2016). *Magnolia vovidesii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T67513624A67513853.en>.
- Schoen, D. J. y Brown, A. H. (1991). Intraspecific variation in population gene diversity and effective population size correlates with the mating system in plants. *PNAS*, 88(10): 4494-4497. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.10.449>
- Slatkin, M., y Barton, N. H. (1989). A comparison of three indirect methods for estimating average levels of gene flow. *Evolution*, 43(7): 1349-1368.
- 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 of Botany*, 94(1): 128-136.
- Tamaki, 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(4): 415-423.
- Wollaeger, H. (2011). Genetic variability in *Magnolia acuminata* (L.) populations in the Eastern United States. Undergraduate thesis. Universidad de Wittenberg, Washington D.C., EUA.

CAPÍTULO IV: Discusión General

DISCUSIÓN

El hábitat donde se encuentran las poblaciones de *M. vovidesii* sufren un incremento en las actividades humanas y el aprovechamiento de sus recursos, lo cual, sumando las fuentes de disturbio natural, genera una mayor alteración en la estructura y composición vegetal, además del funcionamiento de los ecosistemas, generando un aumento en el riesgo extinción de las especies (CONABIO, 2010; Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014; Malhi et al., 2014; Claerhout et al., 2023).

Las poblaciones estudiadas se ven afectadas principalmente por la presencia de PC, TUP, WE y STM, esto coincide con lo que se ha documentado para otras especies de magnolias y para el tipo de ecosistemas en los que se distribuyen (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2017; Toledo-Aceves, 2017; Song y Lui, 2019; Galván-Hernández et al., 2020). La extracción de madera o leña para uso personal (WE) y la modificación total o parcial de ciertas áreas próximas o dentro de las poblaciones (STM), se observó en todas las poblaciones de este estudio, afectando de manera directa o indirecta su persistencia.

Además, el disturbio natural y antropico humanas puede generar bajo rendimiento en el reclutamiento y regeneración de las poblaciones de *Magnolia* (Batista y Plant, 2003; Vásquez-Morales et al., 2017; Rounsaville, 2020). Se estima que las poblaciones de *M. vovidesii* se mantienen por el aporte de algunos individuos reproductivos, ya que la presencia de plántulas fue muy poca, caso contrario a lo registrado con la población del BA en la cual se identificaron varias plántulas. Particularmente, en la población de Chapultepec el Chico (CH) el bajo número de plántulas también podría deberse a la extracción de flores con fines religiosos como se ha documentado en otras especies, como *M. zotictla* y *M. mixteca* (Sánchez-González et al., 2021; Vázquez-García et al., 2021); en este sitio se encontró evidencia de flores y ramas cortadas, además de la mención por parte de las personas que habitan el predio sobre la venta de flores para la celebración de semana santa. Por esta razón, los estudios demográficos cobran mayor relevancia porque brindan información útil para la implementación de estrategias que permitan el aprovechamiento sustentable de los recursos sin llegar a la pérdida total. *Magnolia vovidesii* requiere manejo poblacional donde se preserven árboles adultos ya que son importantes para el reclutamiento de nuevos individuos,

pero también, es necesario garantizar la supervivencia de la transición de plántulas a juveniles para mantener la estructura poblacional.

Las cuestiones ambientales y el disturbio antropogénico pueden generar cambios o variaciones en la composición de la población y en sus rasgos morfológicos (Rojo et al., 2015; Wang et al., 2020). Además, se sabe que fuentes de perturbación, como lo es la STM, generan barreras que interrumpen el flujo genético, reduciendo la diversidad genética de las poblaciones por acción de la endogamia (de Ita et al., 2012; Nunziata et al., 2016; Chávez-Cortázar et al., 2021).

En cuanto a las características morfológicas, para el caso de *M. vovidesii* se logra identificar que las hojas no resultan ser informativas ya que presentan amplia variación dentro de las poblaciones, por su dependencia a las condiciones ambientales locales (Rodríguez-Ramírez et al., 2021; Sevik et al., 2021), aunque en otras especies de magnolias este componente vegetativo se ha empleado para separar a diferentes especies, como *M. nuevoleonensis*, *M. alejandrae*, *M. rzedowskiana* y *M. vovidesii* (Rodríguez-Ramírez et al., 2021). Nuestros resultados cuestionan la morfología de las hojas como elemento diagnóstico y sugieren una revisión detallada de la descripción de las especies mencionadas, basada en un incremento sustancial del tamaño de muestra.

Por su parte, las flores y frutos resultaron ser estructuras cuya variación sirve para agrupar las poblaciones que corresponden a las *M. vovidesii* y separar a la población del BA. Esto puede deberse a que son características funcionalmente importantes para el éxito reproductivo de los individuos, por tanto, la variación fenotípica en estos componentes puede reducirse entre organismos de la misma especie (Canché-Delgado et al., 2011; Gómez et al., 2020). Sin embargo, también se han encontrado en algunas especies vegetales una amplia variación en caracteres de las flores en diferentes poblaciones (Gómez et al., 2020; Gutiérrez-Lozano et al., 2021).

Los análisis multivariados permitieron corroborar el mismo resultado, agrupando a tres de las poblaciones (CO, CH y CU) que son correspondientes a *M. vovidesii*, sin embargo, en lo que respecta a las características diagnóstico, sus intervalos de variación son más amplios a los descritos para la especie, logrando separar a la población del BA, la cual, presenta

valores similares en ciertos caracteres diagnósticos propios de *M. rzedowskiana* o *M. zocitila*. Las diferencias entre los datos registrados con respecto a la diagnosis de *M. vovidesii* puede deberse al número limitado de muestras o pocos individuos analizados al momento de describir una nueva especie, tal como se menciona en la literatura, por tanto, uno de los principales problemas es que no llegan a contemplar toda la variación de los caracteres (Li y Coran, 2013; Wang et al., 2013).

Aunque los análisis morfométricos nos ayudan a distinguir entre las poblaciones, la influencia que puede tener el ambiente y la presencia de disturbio, tanto natural como antropogénico, podría ocasionar que los rasgos morfológicos pierdan resolución para definirla identidad taxonómica de las especies, por lo cual, la implementación de los análisis genéticos es necesario para poder esclarecer este aspecto (Xiang et al., 2020).

Con el análisis genético exploratorio, se puede rescatar el mismo resultado obtenido que con el análisis morfométrico; el cual, vuelve a englobar a las tres poblaciones (CO, CH y CU) como *M. vovidesii*, separando a la población del BA. De esta manera, podemos asegurar una identidad taxonómica de las poblaciones que corresponden a *M. vovidesii*, pero no es posible asignar a la población del BA con alguna especie de *Magnolia* sec. *Macrophylla*, por tanto, se recomienda realizar la comparación genética con respecto a las poblaciones más cercanas geográficamente a ella.

La diversidad genética es extremadamente baja y puede no ser representativa para la especie, sin embargo, esto puede estar relacionado con el número de marcadores moleculares que se usaron, cuestiones propias de especies que presentan floración múltiple, la baja movilidad de polinizadores, y, por último, el aislamiento de las poblaciones, causada por los desastres naturales o disturbios antropogénicos (Isagi et al., 2000; Xiang et al., 2020). Por lo tanto, se sugiere ampliar la información obtenida para tener certeza del nivel de riesgo con respecto a la pérdida de variación genética y su asociación a factores antropogénicos.

Estatus de Conservación

En la literatura se menciona que existen siete poblaciones pertenecientes a *M. vovidesii*, sin embargo, hay que tomar en cuenta que la población de El Batda, Huayacocotla de acuerdo con los análisis no pertenece a la especie *M. vovidesii*. Por otro lado, dos poblaciones

reportadas con coordenadas fueron descartadas, ya que en una no se encontró y la otra son individuos cultivados dentro de un jardín (Tequila, Veracruz). Se realizaron búsquedas de poblaciones no reportadas y se logró localizar una población extra en Chapultepec El Chico, Magdalena, dando en su totalidad cinco poblaciones para *M. vovidesii*.

Con base en los criterios para asignación de una categoría dentro de la Red List de la IUCN, y considerando los datos ecológicos y demográficos de *M. vovidesii* obtenidos en el presente estudio, partimos del criterio B, el cual se refiere al tamaño del rango geográfico, y el C que se enfoca en el tamaño pequeño y disminución de la población.

Debido a que anteriormente se había categorizado como En Peligro (EN) y en el 2020 se replanteaba una recategorización a Peligro Crítico (CR) (Standards and Petitions Working Group, 2006; Rivers, 2016; Galván-Hernández et al., 2020), con los datos obtenidos en el presente estudio se considera que la sugerencia de categorizarla en CR es adecuada ya que cumple los criterios **C1** presentando un tamaño poblacional <250 (esto solo correspondiendo a individuos adultos) y reducción poblacional de 25%; subsección **a(i)** número de individuos maduros en cada subpoblación, ya que cada una presenta menos de 50 individuos (CO: 37; CH: 38; CU: 25). También cumple con el criterio **B1** (área de presencia), subsección **a** (severamente fragmentada), **b** disminución continua observada (**iii**) calidad del hábitat, (**iv**) número de localidades o subpoblaciones y (**v**) número de individuos maduros.

En la Normativa Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), tanto *M. vovidesii* como otras especies descritas en los últimos 10 años no han sido consideradas bajo alguna categoría, pese a que se realizaron actualizaciones al Anexo Normativo III (Lista de Especies en Riesgo). Galván-Hernández y colaboradores (2020) mencionan que, de acuerdo con el Método de Evaluación del Riesgo de Extinción de Plantas en México (MER), *M. vovidesii* debería estar catalogada como En Peligro (P), aunque solo contemplan a la población tipo de la especie.

Reajustando el análisis, siguiendo el Anexo Normativo II (MER) con respecto a los datos del presente trabajo, se obtuvo un valor de 2.64 para *M. vovidesii*; que es mayor al valor de 2 que menciona para estar categorizado como P (valores para cada criterio A: 0.81, B: 0.66, C: 0.47, D: 0.7). Aunque también existe una forma de categorizarla directamente,

considerando **b**(II) cuando demográficamente, el número total de individuos sea igual o menor que 500, y (III) cuando el nivel de impacto de las actividades humanas sobre el hábitat del taxón, o el hábitat remanente no permite la viabilidad de las poblaciones existentes, lo cual sucede con *M. vovidesii*.

CONCLUSIÓN

Para las poblaciones de *M. vovidesii* las principales fuentes de perturbación resultaron ser extracción de madera (WE), presencia de corte (PC), superficie totalmente modificada (STM) y caminos usados por personas (TUP), la población tipo ubicada en Coyopolan, Ixhuacán de los Reyes, Veracruz fue la más afectada por estas variables; para el caso de la población del Batda solo se ve afectada por la WE y TUP.

Teniendo en cuenta a las tres poblaciones con las que se trabajaron en el presente estudio, la especie tiene alrededor de 170 individuos; presenta bajo reclutamiento con presencia de pocos adultos en cada una de las poblaciones. Los valores de R_0 resultaron bajos, por consiguiente, tiene tasa de crecimiento poblacional negativa, es decir, que la población no se encuentra en recuperación.

El componente foliar no es informativo taxonómicamente ya que este puede variar dependiendo de características ambientales o edad de la planta. Los caracteres florales y frutales son más informativos para *M. vovidesii*; donde las variables con mayor coeficiente de variación (CV) fueron longitud el pétalo externo (LPX), ancho del pétalo externo (APX) y longitud del pétalo interno (LPI) para el componente floral, y número de estambres (NS), longitud del fruto (LF), diámetro del fruto (DF) y longitud del pedúnculo (LPN) para el frutal.

Los análisis multivariados usando datos morfológicos permitieron identificar que solo tres de las poblaciones (CO, CH, CU) corresponden a *M. vovidesii*, mientras que la población del BA se separa del resto. Es necesario realizar un reajuste en los valores del intervalo de algunos caracteres diagnósticos de la especie, como lo son: el diámetro de las flores, tamaño de los pétalos externos, número de estambres y el tamaño de los frutos.

Pese a que la diversidad genética obtenida no es representativa para la especie, si nos ayuda a tener una idea de cómo se encuentran las poblaciones; además, de igual forma los resultados permitieron separar a las poblaciones que corresponden a *M. vovidesii* y abrir una interrogante sobre la afinidad de la población de El Batda a una de las especies que se encuentre geográficamente más cercana e indagar en la zona, ya que esta población mostro varios alelos exclusivos. De igual forma la comparación con especies lejanas geográficamente es una opción debido a que puede conservar alelos de especies o poblaciones que en un momento en el pasado geológico pudieron estar conectadas o que tuvieron flujo.

Dado los datos ecológicos, morfológicos y genéticos obtenidos, podemos precisar que de acuerdo con la Red List (IUCN), *M. vovidesii* debe estar catalogada como CR **C1a(i)**; **B1a+b (iii, iv)** y para la NOM-059 como P.

LITERATURA CITADA

- Batista, W. B. y Platt, W. J. (2003). Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old-growth forest. *Journal of Ecology*, 92(2): 197-212.
- Canché-Delgado, A., García-Jain, S. E., Vaca-Sánchez, M. S. y Cuevas-Reyes, P. (2011). Cambios en la morfología floral y foliar en *Crataegus tracyi*: importancia de la asimetría fluctuante como indicador de estrés ambiental. *Biológicas* 13: 44-49.
- Chávez-Cortázar, A., Oyama, K., Ochoa-Zavala, M., Mata-Rosas, M., Veltjen, E., Samain, M-S. y Quesada, M. (2021). Conservation genetics of relict tropical species of *Magnolia* (section *Macrophylla*). *Conservation Genetics*, 22: 259-273.
- Claerhout, T., Strubbe, D., Castillo Torres, R., Samain, M-S., Chatrou, L. W. y Veltjen, E. (2023). An integrative study of species distribution modelling and conservation genetics: *Magnolia* in Hispaniola. *Biodiversity Conservation*, 32: 1205-1231
- de Ita A. O., Oyama K., Smith T. B., Wayne R. K. y Milá B. (2012) Genetic evidence for recent range fragmentation and severely restricted dispersal in the critically endangered Sierra Madre Sparrow, *Xenospiza baileyi*. *Conservation Genetics* 13:283-291. <https://doi.org/10.1007/s10592-011-0283-0>
- Galván-Hernández, D. M., Octavio-Aguilar, P., Bartolo-Hernández, C. de J., García-Montes, M. A., Sánchez-González, A., Ramírez-Bautista, A. y Vovides, A. (2020). Current Status of *Magnolia vovidesii* (Magnoliaceae, Magnoniales): New Data on Population Trends, Spatial Structure and Disturbance Threats. *Tropical Conservation Science*, 13: 1-12.
- Gómez, J. M., Perfectti, F., Armas, C., Narbona, E., González-Megías, A., Navarro, L., De Soto, L. y Torices, R. (2020). Within-individual phenotypic plasticity in flowers fosters pollination niche shift. *Nature Communications* 11: 4019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17875-1>
- 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 (CONABIO), México, D. F., 352 pp.

- Gual-Díaz, M., y Rendón-Correa, A. (2017). Los bosques mesófilos de montaña de México. *Agroproductividad*, 10(1).
- Gutiérrez-Lozano, M., Vázquez-García, J. A., Reyes-Ortiz, J. L., Aguilar, P. O., Galván-Hernández, D. M. y Sánchez-González, A. (2021). Variación en la morfología foliar, floral y frutal de *Magnolia mexicana* (DC.) G. Don (Sec.ión *Talauma*, Magnoliaceae) en México. *Botanical Sciences*, 99(4): 955-975.
- Isagi, Y., Kanazashi, T., Suzuki, W., Tanaka, H. y Abe, T. (2000). Microsatellite analysis of the regeneration process of *Magnolia obovata* Thunb. *Heredity*, 84(2): 143-151.
- Li, J. y Conran, J. G. (2013). Phylogenetic relationships in Magnoliaceae subfam. Magnolioideae: a morphological cladistics analysis. *Plant Systematics and Evolution*, 242: 33-47.
- Malhi, Y., Gardner T. A., Goldsmith, G. R., Silman, M. R. y Zelazowski, P. (2014) Bosques tropicales en el Antropoceno. *Annual Review of Environment and Resources* 39:125-159.
- Nunziata, S. O., Wallenhorst, P., Barrett, M. A., Junge, R. E., Yoder, A. D. y Weisrock, D. W. (2016). Population and conservation genetics in an endangered lemur, *Indri indri*, across three forest reserves in Madagascar. *International Journal of Primatology*, 37, 688-702.
- Rivers, M. C. (2016). *Magnolia vovidesii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T67513624A67513853.en>.
- Rodríguez-Ramírez E. C., García-Morales, L. J., Alcántara-Ayala, O., Vázquez-García, J. A. y Luna-Vega, I. (2021) Leaf Vein Morphological Variation in Four Endangered Neotropical *Magnolia* Species along an Elevation Gradient in the Mexican Tropical Montane Cloud Forests. *Plants*, 10(12): 2595.
- Rojo, J., Salido, P. y Pérez-Badía, R. (2015) Flower and pollen production in the ‘Cornicabra’ olive (*Olea europaea* L.) cultivar and the influence of environmental factors. *Trees*, 29: 1235-1245.
- Rounsaville, T. J. (2020). Spatiotemporal recruitment patterns of two introduced *Magnolia* L. species in a disturbed oak forest. *Ecoscience*, 27(3): 165-176.
- Sánchez-González, A., Gutiérrez-Lozano, M., Domínguez-Yescas, R., Hernández-Álvarez, A. G., Ortega-Peña A. S. y Vázquez-García, J. A. (2021). *Magnolia zoticla*

- (*Magnolia* sect. *Macrophylla*, Magnoliaceae): a new species from the southern Sierra Madre Oriental, México. *Phytotaxa*, 513(4): 271-281.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación (DOF), 30 de diciembre 2010.
- Sevik, H., Cetin, M., Ozel, H.B., Erbek, A. y Zeren Cetin, I. (2021). The effect of climate on leaf micromorphological characteristics in some broad-leaved species. *Environment, Development and Sustainability*, 23: 6395-6407.
- Song, C. y Liu, H. (2019). Habitat differentiation and conservation gap of *Magnolia biondii*, *M. denudata*, and *M. sprengeri* in China. *PeerJ*, 6, e6126.
- Standards and Petitions Working Group. (2006). Guidelines for using the IUCN red list categories and criteria: version 6.1. *Standards and Petitions Working Group for the IUCN Species Survival Commission Biodiversity Assessments Subcommittee: Gland, Switzerland*.
- Toledo-Aceves, T. (2018). Regiones Prioritarias para la Conservación del Bosque Mesófilo de Montaña. *AgroProductividad*, 10(1): 10-13.
- Vásquez-Morales, S. G., Sánchez-Velásquez, L. R., del Rosario Pineda-López, M., Díaz-Fleischer, F., Flores-Estévez, N. y Viveros-Viveros, H. (2017). Moderate anthropogenic disturbance does not affect the demography of *Magnolia schiedeana*, an endangered species from Mexico. *Flora*, 234: 77-83.
- Vázquez-García, J. A., Domínguez-Yescas, R., Luna-Vega, Isola, Rodríguez-Ramírez, E. C. y Rodríguez-Pérez, C. (2021). Corncob flower, *Magnolia mixteca* (*M. sect. Macrophylla*, Magnoliaceae) a new species endemic to the Alto Balsas Basin (Baja Mixteca), in the Pacific slopes of Oaxaca, Mexico. *Phytotaxa*, 522 (3): 200-210.
- Wang, Y., Ejder, E., Yang, J., Kang, Y., Ye, W. y Zhang, S. (2013). *Magnolia sinostellata* and relatives (Magnoliaceae). *Phytotaxa* 154(1):47-58.
- Wang, Y. B., Liu, B. B., Nie, Z. L., Chen, H. F., Chen, F. J., Figlar, R. B. y Wen, J. (2020) Major clades and a revised classification of *Magnolia* and Magnoliaceae based on whole plastid genome sequences via genome skimming. *Journal Systematics and Evolution*, 58: 673-695.

Xiang, L., Li, X. L., Wang, X. S., Yang, J., Lv, K., Xiong, Z. Q. y Huang, C. M. (2020). Genetic diversity and population structure of *Distylium chinense* revealed by ISSR and SRAP analysis in the Three Gorges Reservoir Region of the Yangtze River, China. *Global Ecology and Conservation*, 21: e00805.

ANEXOS GENERALES

Anexo 1. Poblaciones de *Magnolia vovidesii* que se trabajaron en el presente estudio.

No	Municipio	Localidad	Código	Longitud	Latitud	Elevación	Vegetación
1	Ixhuacán de los Reyes	Coyopolan	CO	-97.067764	19.364349	1577	Bosque de niebla ⁱ Bosque de niebla ^c
2	Huayacocotla	El Batda	BA	-98.407222	20.553611	1740	Bosque pino-encino ⁱ Bosque de niebla ^c
3	Magdalena	Chapultepec el chico	CH	-97.046667	18.749444	1580	Bosque de niebla ⁱ S/D ^c
4	Zongolica	Cuacaballo	CU	-97.041286	18.681675	1821	Bosque de niebla ⁱ Bosque de niebla ^c

^c dato tomado de CONABIO; ⁱ dato tomado de las capas de tipo y uso de suelos de INEGI. S/D dato no disponible.

Anexo 2. Área de total de perturbación con respecto al área total analizado para cada variable en cada población de *Magnolia vovidesii*.

	Coyopolan			Chapultepec			Cuacaballo			El Batda		
	Σ Área afectada	% de afectación	Frecuencia promedio	Σ Área afectada	% de afectación	Frecuencia promedio	Σ Área afectada	% de afectación	Frecuencia promedio	Σ Área afectada	% de afectación	Frecuencia promedio
PC	118	23.6	11.8	41	8.2	4.1	13	2.6	1.3	1	0.2	0.1
EF	0	0	0	2	0.4	0.2	2	0.4	0.2	0	0	0
WE	117	23.4	11.7	0	0	0	29	5.8	2.9	57	11.4	5.7
TUP	248	49.6	24.8	24	4.8	2.4	17	3.4	1.7	31	6.2	3.1
UD	500	100	50	500	100	50	500	100	50	500	100	50
HD	45	9	4.5	8	1.6	0.8	14	2.8	1.4	14	2.8	1.4
HR	3	0.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TUC	63	12.6	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CD	20	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0.2	0.1
GD	0	0	0	0	0	0	3	0.6	0.3	0	0	0
SC	63	12.6	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESS	20	4	2	0	0	0	26	5.2	2.6	0	0	0
STM	78	15.6	7.8	42	8.4	4.2	42	8.4	4.2	0	0	0
EP	32	6.4	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DP	0	0	0	0	0	0	20	4	2	0	0	0

Anexo 3. Valores promedio cada variable por población. El valor promedio y la desviación para la especie.

POB	LH	LL	AML	LP	DP	DV	LLA	LPe	DPe	LEF	LS	AS	LPX	APX	LPI	API
CO	524.663	465.656	249.311	84.321	4.883	3.617	228.969	66.038	14.695	65.959	130.404	43.931	143.635	70.681	131.154	54.574
CH	533.703	471.440	244.896	87.559	4.471	3.455	223.157	60.256	14.261	68.486	140.949	45.247	162.227	66.260	150.269	49.245
CU	488.317	423.798	261.099	79.996	4.590	3.772	198.554	59.001	14.317	66.389	135.096	44.359	146.984	66.417	134.894	48.853
BA	537.977	484.490	254.569	87.970	4.233	3.440	213.934	51.255	17.537	69.831	145.953	45.487	157.311	70.895	146.718	54.836
\bar{X}	521.165	461.346	252.469	84.962	4.544	3.571	216.154	59.137	15.202	67.666	138.100	44.756	152.539	68.563	140.759	51.877
DE	22.591	26.242	6.981	3.691	0.270	0.156	13.266	6.083	1.568	1.817	6.783	0.734	8.694	2.571	9.176	3.271

POB	NE	LE	AE	NC	LC	AC	CVLE	CVAE	NF	NS	LSe	DS	LF	DF	LgP	AnP
CO	386.471	13.066	1.984	66.588	7.765	1.967	0.087	0.136	75.944	100.722	15.192	7.937	128.160	77.538	71.178	16.569
CH	393.286	13.170	1.997	69.214	7.939	2.164	0.078	0.125	60.533	69.667	13.346	8.097	102.060	58.319	67.622	14.960
CU	383.000	14.363	2.115	66.000	7.688	2.024	0.070	0.123	66.600	64.200	13.180	7.471	102.524	61.244	75.206	14.231
BA	414.429	20.808	2.763	69.429	6.665	1.582	0.201	0.337	64.067	40.800	13.619	8.786	102.737	62.649	65.746	18.443
\bar{X}	394.296	15.352	2.215	67.808	7.514	1.934	0.109	0.180	66.786	68.847	13.834	8.073	108.870	64.938	69.938	16.051
DE	14.085	3.685	0.370	1.766	0.576	0.249	0.062	0.105	6.593	24.664	0.923	0.544	12.863	8.592	4.172	1.870

Los valores de \bar{X} y DE se usaron para ortogonalizar los datos de la matriz de valores promedio y realizar el AA.

Anexo 4. Tabla con los valores de \bar{X} , DE, y rangos de cada una de las variables por población.

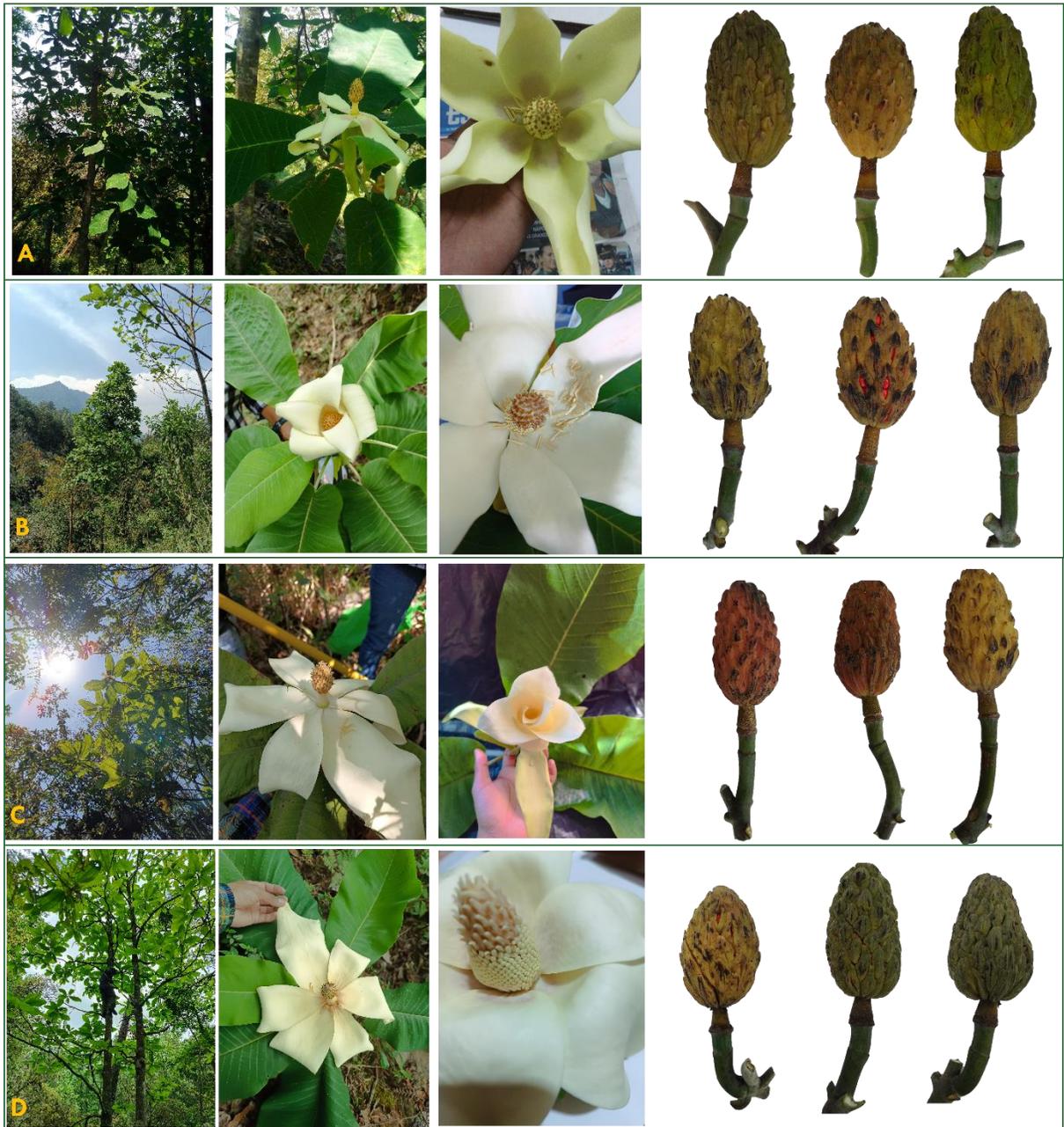
POB	CO	CH	CU	BA	Especie
LH	523.80 ± 60.47	533.7 ± 38.87	488.32 ± 35.05	537.98 ± 52.62	520.98 ± 52.52
	442.8 – 602.14	469.44 – 603.73	424.09 – 542.19	425.71 – 632.76	424.09 – 632.76
LL*	4654.81 ± 57.61	471.44 ± 34.07	423.8 ± 40.01	484.49 ± 50.44	461.2 ± 50.56
	388-15 – 546.7	414.71 – 531.89	361.8 – 491.19	386.83 – 566.71	361.8 – 566.71
AML*	249.74 ± 33.18	244.9 ± 15.27	261.1 ± 15.42	254.57 ± 28.06	252.58 ± 24.28
	190.81 – 305.62	210.14 – 265.51	227.55 – 282.55	212.28 – 305.64	190.81 – 305.64
LP	84.41 ± 11.25	87.56 ± 9.5	80 ± 9.08	87.97 ± 13.66	84.92 ± 11.18
	71.96 – 107.23	68.24 – 101.57	62.39 – 99.9	70.142 – 113.86	62.32 – 113.86
DP	4.9 ± 0.69	4.47 ± 0.39	4.59 ± 0.43	4.23 ± 0.47	4.55 ± 0.55
	4.03 – 6.34	3.69 – 5.16	3.55 – 5.15	3.62 – 5.36	3.55 – 6.34
DV*	3.65 ± 0.69	3.45 ± 0.29	3.77 ± 0.32	3.44 ± 0.33	3.57 ± 0.45
	2.95 – 5.14	2.66 – 3.78	3.18 – 4.24	2.9 – 3.99	2.66 – 5.14
LLA	230.44 ± 34.46	223.26 ± 25.3	198.55 ± 17.21	213.93 ± 23.50	216.05 ± 27.66
	164.58 – 34.46	182.92 – 262.93	170.08 – 232.1	184.24 – 252.45	164.58 – 288.24
LPe*	64.04 ± 16.45	60.26 ± 7.77	59 ± 2.89	51.25 ± 6.30	58.60 ± 11.35
	37.42 – 98.95	45.79 – 70.68	53.06 – 62.88	41.29 – 66.12	37.42 – 98.95
DPe	14.70 ± 1.63	14.26 ± 1.51	14.32 ± 1.54	17.54 ± 1.52	15.46 ± 2.11
	10.3 – 16.37	11.99 – 17.22	11.36 – 16.71	14.42 – 20.68	10.3 – 20.68
LEF	65.96 ± 5.24	68.49 ± 4.4	66.39 ± 8.59	69.83 ± 4.47	67.86 ± 5.74
	58.63 – 75.25	60.38 – 74.97	47.02 – 79.94	60.13 – 78.14	47.02 – 79.94
LS	130.40 ± 14.67	140.95 ± 19.22	135.1 ± 20.15	145.95 ± 20.32	138.69 ± 19.3
	104.46 – 149.21	104.47 – 187.13	111.77 – 172.93	105.04 – 177.48	104.46 – 187.13

AS	43.93 ± 3.57 36.26 – 48.04	45.25 ± 8.68 36.02 – 65.79	44.36 ± 6.43 36.36 – 54.34	45.49 ± 5.9 36.9 – 56.95	44.81 ± 6.12 36.02 – 65.79
LPX*	143.64 ± 11.38 119.89 – 167.45	162.23 ± 28.42 106.95 - 203.53	146.98 ± 25.98 114.2 – 182.93	157.31 ± 20.38 104.87 – 184.9	152.82 ± 22.47 104.87 – 203.54
APX*	70.68 ± 6.92 61.8 – 80.57	66.26 ± 13.21 48.11 – 87.37	66.42 ± 14.78 50.26 – 92.81	70.89 ± 9.5 49.01 – 85.21	68.98 ± 10.95 48.12 – 92.81
LPI*	131.15 ± 13.58 112.68 – 157.15	150.27 ± 22.02 105.15 – 184.6	134.89 ± 21.11 109.02 – 163.14	146.72 ± 17.22 100.25 – 164.84	141.14 ± 19.55 100.25 – 184.6
API	54.57 ± 8.18 42.14 – 78.8	49.24 ± 8.11 34.35 – 60.62	48.85 ± 11.92 34.39 – 69.2	54.84 ± 7.23 38.94 – 65.15	52.42 ± 8.94 34.36 – 78.8
NE	386.47 ± 43.92 318 – 480	393.29 ± 20.79 354 – 424	383 ± 42.71 310 – 477	414.43 ± 37.17 364 – 496	396.48 ± 38.83 310 – 496
LE*	13.07 ± 1.83 10.11 – 17.97	13.17 ± 0.91 11.8 – 14.47	14.36 ± 1.23 11.86 – 16.94	20.81 ± 2.47 15.56 – 24.86	15.87 ± 3.94 10.11 – 24.86
AE*	1.98 ± 0.18 1.60 – 2.35	2 ± 0.18 1.76 – 2.28	2.11 ± 0.14 1.81 – 2.29	2.76 ± 0.49 2.13 – 3.77	2.27 ± 0.47 1.6 – 3.77
NC	66.59 ± 8.40 52 – 82	69.21 ± 7.08 60 – 84	66 ± 5.61 58 – 75	69.43 ± 6.37 58 – 78	67.98 ± 7 52 – 84
LC	7.76 ± 0.82 6.15 – 9.15	7.94 ± 0.88 6.89 - 10.05	7.69 ± 0.93 6.25 – 9.27	6.66 ± 1.23 4.46 – 8.98	7.43 ± 1.12 4.46 – 10.05
AC	1.97 ± 0.17 1.69 – 2.28	2.16 ± 0.87 1.7 – 5.15	2.02 ± 0.68 1.43 – 4.09	1.58 ± 0.30 1.03 – 2.06	1.89 ± 0.57 1.03 – 5.16
NF	75.94 ± 8.83 55 – 89	60.53 ± 6.27 48 – 68	66.6 ± 12.91 46 – 90	64.067 ± 12.19 41 – 83	67.22 ± 11.70 41 – 90

NS*	100.72 ± 24.35 31 – 130	69.67 ± 41.09 19 – 112	64.2 ± 41.09 20 – 165	40.8 ± 28.65 20 – 112	70.37 ± 38.16 19 – 165
LSe	15.192 ± 0.83 13.14 – 16.03	13.346 ± 0.89 11.8 – 14.96	13.18 ± 0.66 12.16 – 14.31	13.619 ± 1.24 11.5 – 16.06	13.9 ± 1.23 11.59 – 16.27
ASe	7.937 ± 0.27 7.36 – 8.44	8.097 ± 0.44 7.2 – 8.8	7.471 ± 0.39 6.7 – 8.1	8.786 ± 0.87 7.16 – 10.27	8.07 ± 0.70 6.7 – 10.27
LF*	128.160 ± 14.13 88.09 – 153.11	102.06 ± 13.76 75.7 – 120.9	102.524 ± 14.31 84.08 – 130.4	102.737 ± 14.34 80.5 – 123.88	109.79 ± 18.09 75.7 – 153.11
DF*	77.538 ± 6.93 62.99 – 89.47	58.319 ± 9.18 39.14 – 68.9	61.244 ± 5.93 53.4 – 73.9	62.648 ± 8.51 48.7 – 74.71	65.54 ± 10.84 39.14 – 89.47
LgP*	71.178 ± 12.48 52.66 – 97.8	67.622 ± 5.72 58.4 – 74.56	75.206 ± 13.14 61.22 – 100.53	65.746 ± 6.73 53.7 – 75.62	70 ± 10.6 52.66 – 100.53
AnP	16.569 ± 1.3 14.46 – 19.27	14.96 ± 1.55 11.8 – 16.96	14.231 ± 1.35 12.34 – 16.5	18.443 ± 1.72 14.24 – 21.25	16.08 ± 2.15 11.89 – 21.25

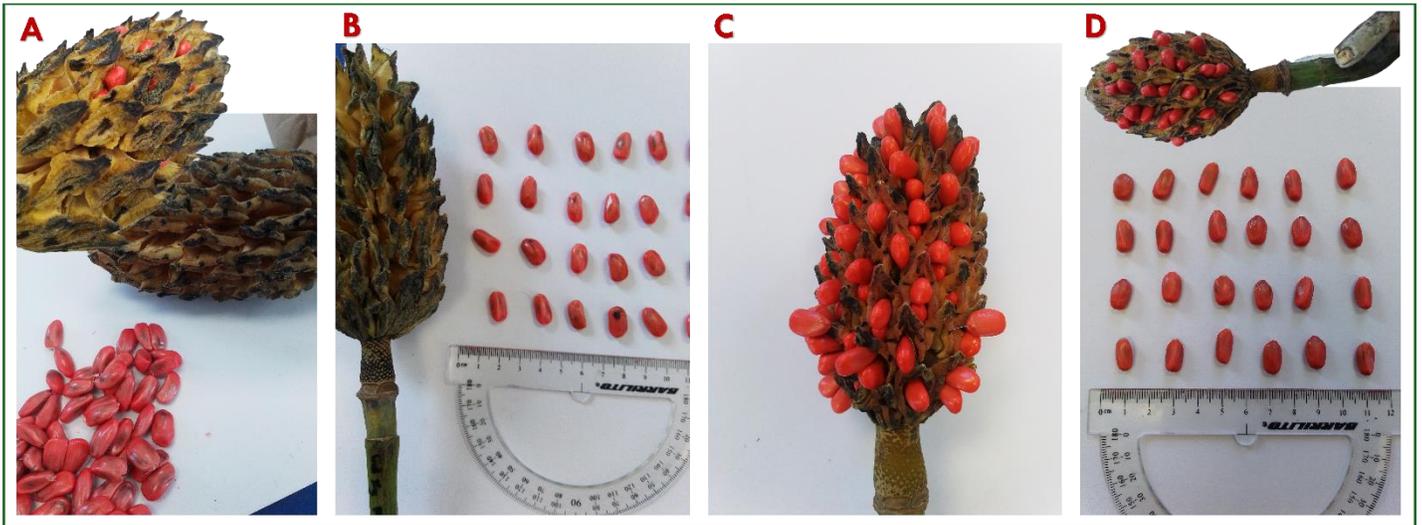
*Variables con mayor intervalo de variación. Las medidas están tomadas en *mm*, ya que algunos caracteres eran muy pequeños y para tener una medida uniforme se usó esta.

Anexo 5. Fotografías de *Magnolia vovidesii*.



Fotografías tomadas correspondientes a *Magnolia vovidesii*; de izquierda a derecha: individuo adulto, flor fotografiada en campo, fotografía de flor abierta, frutos. A: Coyopolan; B: Chapultepec; C: Cuacaballo; D: El Batda.

Anexo 6. Fotografías de frutos maduros y semillas de *Magnolia vovidesii*.



A: fruto y semillas de Coyopolan; B: fruto y semillas de Chapultepec; C: fruto con semillas de Cuacaballo; D: fruto y semillas de El Batda.

Anexo 7. Protocolo de extracción de DNA modificado de Doyle y Doyle (1987)

1. Tomar tejido evitando las áreas dañadas y venas gruesas, colocarlo en un mortero y macerar con nitrógeno líquido hasta tener una consistencia de polvo.
2. Agregar 1mL de CTABLA-PVP 2x + 1µL de B-mercaptoetanol, seguir macerando hasta que la solución y la muestra este bien mezclada, recuperar en un tubo de 2mL.
 - i) Agregar 100 µL de Buffer SDS directamente al tubo y mezclar en el bortex.
3. Centrifugar a 8000rpm durante 8min.
 - ii) Decantar el sobrenadante de un movimiento, ya que en la parte superior se genera una especie de tapón por causa del Buffer SDS.
 - iii) Si es necesario se le da un segundo lavado solo con 1mL de CTABLA_PVP 2x.
4. Decantar el sobrenadante, y agregar 1mL de CTABLA-PVP 2x + 250 µL de Cloruro de sodio (mezclar la muestra en bortex), y centrifugar a 8000rpm durante 8min.
5. Centrifugar a 9000 rpm durante 8 min (la parte orgánica blanca o verde muy tenue, parte acuosa verde; si la parte acua y orgánica aun presentan un color verde intenso repetir el paso).
6. Eliminar el sobrenadante y agregar 600µL de CTABLA-PVP 2x + 10µL de RNA'sa 10mg/mL e incubar durante una hora a 37°C (en tehermoblock y se le aplico movimiento).
7. Agregar 10µL de Proteinasa K 10mg/mL e incubar durante una hora con movimiento.
8. Agregar 600µL de Fenol: Cloroformo: Alcohol isoamil (25:24:1) agitar (se debe observar un aspecto lechoso).
9. Centrifugar a 10 000 rpm durante 10 min, la muestra presenta tres fases, la superior debe ser trasparente.
10. Recuperar de la fase trasparente 600 µL en un tubo nuevo de 1.5mL.
11. Agregar 400 µL de Isopropanol helado y 65 µL de Acetato de sodio, dejar reposar toda la noche a -20 °C.
12. Centrifugar a 12 000 rpm durante 10 min, decantar el sobrenadante (durante este paso debe empezar a verse el pellet de color blanco o hialino).
13. Agregar etanol al 75% frio y centrifugar a 14 000 rpm durante 10 min.
14. Eliminar el sobrenadante lo más que se pueda y secar en Speevan a temperatura media durante 10 min (en caso de que la muestra no este seca ir aplicando de 3 en 3 min).
15. Re suspender el pellet en 50 µL de buffer TE.