



ÁREAS DE ENDEMISMO DE MAGNOLIOPHYTA EN EL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO

AREAS OF ENDEMISM OF MAGNOLIOPHYTA IN THE STATE OF MORELOS, MEXICO

 ANA SUSANA ESTRADA-MÁRQUEZ^{1*},  JOSÉ LUIS VILLASEÑOR¹,  TANIA ESCALANTE²

¹Instituto de Biología, Departamento de Botánica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

²Grupo de Biogeografía de la Conservación, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia: sambucusansu@yahoo.com.mx

Resumen

Antecedentes: Las provincias florísticas Cuenca del Balsas (CB) y Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVT) coinciden en el estado de Morelos y destacan por su riqueza y endemismo florístico. Documentar la distribución de su flora endémica aportaría elementos para evaluar su sensibilidad a la modificación de su entorno.

Preguntas: ¿El análisis de la distribución de especies de Magnoliophyta endémicas de México permite identificar áreas de endemismo en el estado de Morelos? ¿La distribución espacial de estas especies en Morelos posibilita identificar áreas de endemismo a escala fina?

Objetivos: Identificar áreas de endemismo a nivel nacional y Morelos utilizando especies de Magnoliophyta endémicas de México y presentes en la CB y la FVT.

Especies en estudio: 874 especies de Magnoliophyta endémicas de México.

Sitio de estudio: México y Morelos.

Métodos: Se analizaron 13,791 registros de 874 especies de Magnoliophyta y utilizando el programa NDM/VNDM se realizó un Análisis de Endemicidad para identificar áreas de endemismo en el país y el estado de Morelos.

Resultados: Cuatro áreas de endemismo fueron identificadas en el centro del país, Morelos formó parte de ellas. En Morelos también se encontraron cuatro áreas de endemismo, que concentran 17 % del endemismo empleado en el análisis. Tres áreas se ubicaron dentro de la FVT y otra en la CB.

Conclusiones: La flora de Morelos forma parte de una gran área de endemismo en el centro de México. Las áreas de endemismo identificadas en Morelos concentran especies cuya conservación es prioritaria, pues no se registran para las áreas naturales protegidas decretadas.

Palabras clave: Cuenca del Balsas, Distribución de especies, Especies endémicas, Faja Volcánica Trans-Mexicana, NDM/VNDM.

Abstract

Background: The Balsas Basin (BB) and Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) provinces stand out for their floristic richness and endemism. Documenting the distribution of its endemic flora will provide elements to assess its sensitivity to the modification of their environment.

Questions: Does the distribution analysis of the endemic Magnoliophyta species in Mexico identify areas of endemism in the Morelos state? Does the spatial distribution of these species in Morelos make it possible to identify areas of endemism on a finer scale?

Objectives: Identify areas of endemism at a national level and Morelos using Magnoliophyta species endemic to Mexico and occurring in the BB and the TMVB.

Species under study: 874 species of Magnoliophyta endemic to Mexico.

Study site: Mexico and the state of Morelos.

Methods: 13,791 records of 874 Magnoliophyta species were used, and through the NDM/VNDM program an Endemicity Analysis was carried out to identify areas of endemism in the country and the Morelos state.

Results: Four areas of endemism located in the center of the country were identified, Morelos being part of them. In Morelos, four areas of endemism were also found, which concentrate 17 % of the endemism used in the analysis. Three areas were located within the TMVB and another in the BB.

Conclusions: The flora of Morelos is part of a large area of endemism in central Mexico. The areas of endemism identified in Morelos concentrate species whose conservation should be a priority since they are not registered for the decreed protected natural areas.

Key words: Balsas basin, endemic species, NDM/VNDM, species distribution, Trans-Mexican Volcanic Belt.

Uno de los objetivos de la biogeografía es evaluar la distribución coincidente entre las especies (Morrone 2001), en especial los endemismos. Brown & Gibson (1983) definen al provincialismo o regionalización como la actividad de identificación de áreas con interés biogeográfico. Esto implica dividir un territorio en porciones que comparten, en este caso, especies en común (provincias) que no se observan en otras áreas del mismo territorio.

Los esquemas de regionalización tradicionalmente emplean criterios faunísticos, florísticos, ecológicos, fisiográficos o paleontológicos y en muchos casos estos sistemas están basados en la similitud faunística o florística (Escalante 2009). Por ejemplo, tomando en cuenta las afinidades geográficas de la flora mundial, así como la distribución de sus endemismos, Takhtajan (1986) dividió al mundo en 35 regiones florísticas. De forma similar, Rzedowski (1978) separó a México en cuatro regiones y 17 provincias florísticas.

Las Serranías Meridionales y la Cuenca del Balsas (CB) destacan entre las 17 provincias florísticas por su número de especies y endemismos. La provincia de las Serranías Meridionales incluye la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVT), que corre transversalmente de Nayarit, Jalisco y Colima a Veracruz, la Sierra Madre del Sur (Guerrero, Jalisco, Michoacán y Oaxaca) (Morrone 2019) y el complejo montañoso del norte de Oaxaca (Sierra de Juárez) (Rzedowski 1978). En esta provincia se encuentran las elevaciones más altas del país, así como áreas montañosas aisladas, lo cual propicia el desarrollo de numerosos endemismos (Rzedowski 1978). Por su parte, la CB se intercala entre la FVT y la Sierra Madre del Sur e incluye partes de Jalisco, Michoacán, Estado de México, Guerrero, Morelos, Puebla y Oaxaca e incluye igualmente un número importante de especies endémicas (Rzedowski 1978, Fernández-Nava et al. 1998). Bonilla-Barbosa & Villaseñor (2003) reportan, para la porción de las Serranías Meridionales que corresponde a la FVT, un número de 5,229 especies de plantas vasculares; por su parte, Fernández-Nava et al. (1998) reportan la presencia de 4,939 especies en la provincia CB.

Los análisis de regionalización biogeográfica indican que, como resultado tanto de procesos históricos como ecológicos comunes (Gámez et al. 2012), existen patrones en la distribución de distintas especies, por lo que se observan en un mismo espacio y tiempo (Morrone 2009). Documentar patrones en la distribución de la biodiversidad es parte fundamental para la priorización de áreas para su conservación y manejo sustentable (Villaseñor et al. 2007). Considerar los elementos endémicos es de suma importancia, ya que al ser dependientes de una sola área, son grupos de especies muy sensibles a la modificación de su entorno, sobre todo por agentes antropogénicos

(Alcántara & Paniagua 2007). Por tal motivo, se considera relevante evaluar la distribución espacial de las especies de plantas con flores (Magnoliophyta) y sus endemismos. Uno de los diversos enfoques para tal evaluación es mediante la identificación de áreas de endemismo.

El área de endemismo se define como aquella región que muestra la distribución congruente de dos o más especies endémicas dentro de sus límites (Platnick 1991, Morrone 1994). La congruencia geográfica no requiere la completa coincidencia dentro de sus límites en todas las escalas de mapeo posibles, pero sí donde exista una simpatria relativamente amplia en alguna escala (Platnick 1991). Bajo este contexto, las áreas de endemismo identificadas indicarían la coincidencia en la distribución de un conjunto de especies. En este trabajo se propone identificar las áreas de endemismo de especies selectas de Magnoliophyta dentro de porciones de las provincias florísticas CB y FVT. Para llevar a cabo dicho análisis, se empleó como caso de estudio al estado de Morelos, ya que presenta características que lo convierten en una unidad de muestreo adecuada y representativa.

En su superficie (4,950 km²), Morelos alberga alrededor de 3,219 especies de plantas con flor (Villaseñor & Ortiz 2014, Villaseñor 2016). Dicha riqueza se explica parcialmente por su posición geográfica, ya que en la entidad convergen dos de las provincias morfotectónicas más ricas en diversidad vegetal del país (Bonilla-Barbosa & Villaseñor 2003, Fernández-Nava et al. 1998): la FVT y la Sierra Madre del Sur (Ferrusquía-Villafranca 1990). A su vez, Morelos se encuentra inmerso en las provincias florísticas CB y Serranías Meridionales, que incluye la FVT y la Sierra Madre del Sur (Rzedowski 1978). Con base en estudios de la flora de Morelos, se estima que contiene alrededor del 48 % (2,490 especies) del total de especies de plantas vasculares registradas para la FVT y aproximadamente 58 % (2,886 especies) de las mencionadas para la CB (Bonilla-Barbosa & Villaseñor 2003, 2006, Villaseñor 2003, Contreras-MacBeath et al. 2006, Villaseñor & Ortiz 2014). En consecuencia, Morelos representa una adecuada unidad de estudio, donde se expresa de manera importante la riqueza florística de las dos provincias florísticas por analizar.

Los objetivos de este trabajo fueron 1) evaluar si la distribución espacial de un conjunto de especies de Magnoliophyta endémicas de México y registradas en Morelos, posicionaban al estado como un área de endemismo; la hipótesis a probar fue que al contar Morelos con especies endémicas de México, se le debe ubicar como un área de endemismo a nivel nacional; 2) identificar áreas de endemismo dentro de Morelos que permitan reconocer sitios de coincidencia en las distribuciones geográficas de dos o más especies. La identificación de áreas de endemismo aporta información relevante en la historia

biogeográfica de la región y sirve de apoyo a futuros estudios encaminados a la conservación de su riqueza florística (Munguía-Lino *et al.* 2016).

Materiales y métodos

La fuente principal de información fue una base de datos con 13,791 registros pertenecientes a 96 familias, 384 géneros y 874 especies de Magnoliophyta endémicas de México, distribuidas a lo largo del territorio mexicano incluyendo la CB, la FVT y registradas en el estado de Morelos (Supplementary data 1). De este conjunto de registros, 8,549 corresponden a localidades dentro de Morelos. La base de datos compiló registros del SNIB [Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México], de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, www.conabio.gob.mx], del Portal de Datos Abiertos de la Universidad Nacional Autónoma de México (datosabiertos.unam.mx), así como los registros de *Chusquea circinata*, obtenidos del trabajo de Ruíz-Sánchez *et al.* (2020). Los registros obtenidos fueron revisados para eliminar duplicados y uniformizar los nombres científicos válidos, los cuales fueron corroborados en tropicos (www.tropicos.org). Además, se verificó la información de las localidades, que en caso de carecer de coordenadas geográficas fueron calculadas con la ayuda de Google Earth (earth.google.com) y en otros casos se validó las que ya estaban georreferenciadas empleando ArcMap 10.1 (ESRI 2010).

Análisis de Endemicidad. A través del programa NDM/VNDM versión 3.0 (Szumik & Goloboff 2004), se aplicó el método de Análisis de Endemicidad (AE) para identificar áreas potenciales de endemismo a nivel nacional y en Morelos. Dicho método emplea un criterio de optimización, en el cual mediante un índice de endemicidad (E), se evalúa el número de endemismos y la restricción distribucional de los taxones en un área dada, de manera que las áreas con un valor mayor del índice serán postuladas como áreas de endemismo (Szumik *et al.* 2002, Szumik & Goloboff 2004, Escalante 2009, 2015). De forma individual, un taxón tendrá un valor *e* máximo de 1 si se encuentra presente en todas las celdas evaluadas y ausente en el resto de las celdas de la cuadrícula; por el contrario, si el taxón se encuentra solamente en algunas de las celdas evaluadas, el valor de *e* será menor. El valor de E depende del número de taxones incluidos en el área de estudio; es decir, mientras más taxones se consideren como endémicos, mayor será su valor (Szumik & Goloboff 2004, Noguera-Urbano & Escalante 2015).

El método de estimación de AE requiere que el área de estudio sea dividida en una cuadrícula definida previamente por el usuario, para evaluar áreas (conjunto de celdas) que

sean congruentes con la distribución de tantas especies como sea posible (Munguía-Lino *et al.* 2016). Por esta razón, en un primer análisis se dividió a México en una cuadrícula de 1° de latitud y 1° de longitud, obteniendo un total de 253 celdas (con superficie aproximada de 12,000 km²), con el fin de identificar áreas de endemismo a lo largo del territorio. Posteriormente, en un segundo análisis, se dividió a Morelos en una cuadrícula de 6' de latitud y 6' de longitud, obteniendo un total de 43 celdas (con superficie aproximada de 110 km²), con el propósito de reconocer áreas de endemismo dentro del estado.

El programa NDM/VNDM requiere una lista de especies con sus respectivas coordenadas geográficas, las cuales transforma automáticamente en una matriz de presencias (1) y ausencias (0) con respecto a cada una de las celdas del área de estudio (Szumik *et al.* 2002, Szumik & Goloboff 2004).

La configuración del programa se basó en las recomendaciones propuestas por Munguía-Lino *et al.* (2016), de manera que la superposición de subconjuntos se mantuvo si el 98 % de las especies que los definían eran únicas, además de que cada búsqueda se ejecutó empleando el efecto de borde. Del conjunto de áreas obtenidas, se eligieron aquellas especies con un puntaje mínimo de 0.6 y se calcularon las áreas de consenso considerando un 30 % de similitud bajo un consenso estricto.

Familias de Magnoliophyta y Áreas Naturales Protegidas presentes en las áreas de endemismo. Con el propósito de conocer la diversidad de familias de Magnoliophyta dentro de cada una de las áreas de endemismo identificadas, tanto a nivel nacional como en Morelos, se cuantificó la frecuencia en la repetición de familias por área de endemismo. Asimismo, se estimó la superficie de las áreas de endemismo identificadas dentro de Morelos y se sobrepuso con las Áreas Naturales Protegidas (ANP), con la intención de conocer cuántas especies están protegiendo dichas ANP.

Resultados

Análisis de Endemicidad. El primer análisis con los registros de las 874 especies de Magnoliophyta endémicas de México, distribuidas a lo largo del territorio mexicano, incluyendo la CB y la FVT así como el estado de Morelos, reveló la existencia de cinco áreas de endemismo ubicadas principalmente hacia el centro del país. Una de ellas se situó hacia el oeste, abarcando parte del territorio de Jalisco, Colima y el centro de Michoacán, mientras que las cuatro áreas restantes se situaron hacia el centro, comprendiendo porciones desde Michoacán hasta Hidalgo, incluyendo partes del Estado de México, Ciudad de México, Morelos, norte de Guerrero, suroeste de Puebla y Tlaxcala (Figura 1). Al aplicar el análisis de consenso estricto (con 30 % de

similitud), se obtuvieron cuatro áreas de consenso, cuyos valores máximos de endemidad variaron entre 2.65 y 40.67 ([Supplementary data 2](#)).

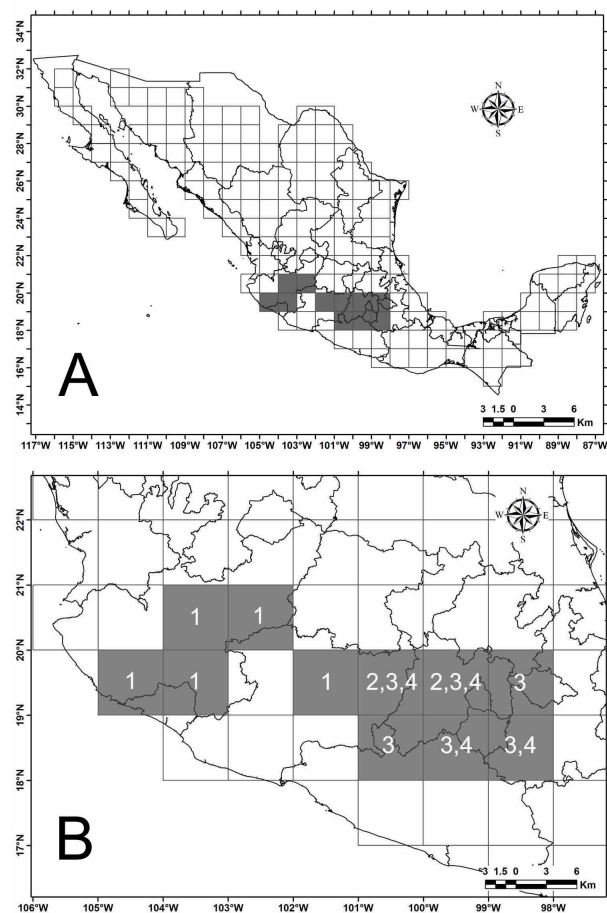


Figura 1. (A) Mapa que muestra las celdas de 1° de latitud y longitud con información (162 celdas) de las 874 especies de Magnoliophyta endémicas de México distribuidas en todo el territorio, incluyendo la Cuenca del Balsas y la Faja Volcánica Trans-Mexicana, así como el estado de Morelos, empleadas en el Análisis de Endemidad a nivel nacional. (B) Áreas de consenso identificadas a nivel nacional. En algunos casos existe coincidencia espacial entre las áreas de consenso, por lo cual las áreas sobrepuestas se indican separadas con una “coma”.

El número de especies que caracterizaron las áreas de consenso varió entre 3 y 62. El área de consenso 4 ubicada al centro del país registró el mayor número de especies endémicas (62), seguida por el área 3 (61) y el área 2 (12), mientras que el área 1, localizada hacia el oeste, se caracterizó por tres especies ([Supplementary data 2](#)).

Es importante señalar que, en este primer análisis de identificación de áreas de endemismo a nivel nacional, sí se recuperó a Morelos como parte de un área de endemismo.

Su territorio incluye tres de las cuatro áreas de endemismo identificadas (áreas 2, 3 y 4). Estas tres áreas de endemismo concentraron un número importante de especies de Magnoliophyta endémicas del país (12 a 62).

Una vez identificada la relevancia de Morelos como una región importante de endemismo, se llevó a cabo un AE al interior del estado. Para ello, del total de registros de la base de datos, se consideraron únicamente aquellos reportados para Morelos (8,549 registros), reportando la distribución de las 874 especies de Magnoliophyta endémicas al país dentro del estado. Dicho análisis identificó la existencia de 10 áreas de endemismo dentro de Morelos, seis de ellas ubicadas al norte y oeste del estado y tres más ubicadas al sur. Otra área identificada y situada al centro, fue descartada de los análisis posteriores ya que contenía únicamente una especie (*Bursera submoniliformis*), lo cual no cumple con el supuesto de considerar al menos dos especies para identificar un área de endemismo. Al aplicar el análisis de consenso estricto (con 30 % de similitud), se obtuvieron cuatro áreas de consenso, cuyos valores máximos de endemidad variaron entre 8.12 y 78.66 ([Tabla 1](#)). Solamente 154 especies (17.6 %) de las 874 empleadas para el análisis, presentaron valores de endemidad importantes para el reconocimiento de las áreas de endemismo ([Tabla 1](#)).

El número de especies que caracterizaron las cuatro áreas de consenso varió de 10 a 129. El área de consenso 1, ubicada al noroeste de Morelos, tuvo el mayor número de especies endémicas (129), mientras que el área 2, ubicada al sur del estado, se caracterizó únicamente por 10 especies ([Tabla 1](#); [Figura 2](#)). A continuación, se describen las áreas de consenso identificadas para Morelos, indicando las especies que las caracterizan en la [Tabla 1](#).

Área Noroeste. En la región norte y noroeste del estado coincidieron tres áreas de consenso (1, 3 y 4), las cuales en conjunto albergaron 145 especies (16.5 %) que no se compartieron con el resto de las áreas de consenso identificadas. El área 1 comprendió seis celdas cuya superficie se encontró mayoritariamente hacia la provincia de la FVT y una mínima fracción hacia la CB ([Figura 2](#)). Esta área contuvo 129 especies (14.7 % del total), que pertenecen a 38 familias ([Tabla 1](#)).

El área de consenso 3 abarcó cinco celdas, tres de ellas ubicadas al norte del estado, en la porción correspondiente a la provincia de la FVT, mientras que las dos celdas restantes se posicionaron hacia el oeste, situándose la mayor parte de su superficie en la provincia de la CB ([Figura 2](#)). Ésta área se definió por 15 especies (1.71 % del total) que pertenecen a 11 familias, de las cuales ninguna de ellas se compartió con otra área de consenso ([Tabla 1](#)). El área de consenso 4 comprendió cuatro celdas situadas al noroeste de Morelos, inmersas en la porción correspondiente a la FVT, salvo una

Tabla 1. Áreas de consenso de las Magnoliophyta de Morelos identificadas en el Análisis de Endemicidad (total de especies analizadas: 874). Los números de las áreas de endemismo corresponden a los de la [Figura 2](#).

Área de consenso	Número de especies que la conforman	Máxima puntuación	Especies endémicas y valores de endemicidad
Noroeste	1	78.66	<p>Apiaceae <i>Eryngium bonplandii</i> (0.750) <i>Eryngium columnare</i> (0.8) <i>Eryngium monocephalum</i> (0.833) <i>Eryngium subacaule</i> (0.875) <i>Rhodosciadium tolucense</i> (0.750)</p> <p>Apocynaceae <i>Gonolobus grandiflorus</i> (1.0) <i>Matelea chrysantha</i> (0.733)</p> <p>Asparagaceae <i>Agave horrida</i> (0.8) <i>Agave inaequidens</i> (1.0) <i>Echeandia durangensis</i> (0.750) <i>Echeandia mexicana</i> (0.667) <i>Furcraea parmentieri</i> (0.750)</p> <p>Asteraceae <i>Acourtia cuernavacana</i> (0.750) <i>Ageratina lucida</i> (0.667) <i>Ageratina oreithales</i> (0.833) <i>Ageratina rhomboidea</i> (0.750) <i>Ageratina rubricaulis</i> (0.875) <i>Aldama excelsa</i> (0.6) <i>Aldama morelensis</i> (0.667) <i>Bidens anthemoides</i> (0.875) <i>Bidens serrulata</i> (0.750) <i>Brickellia pendula</i> (0.6) <i>Cirsium jorullense</i> (0.833) <i>Coreopsis rhyacophila</i> (0.733) <i>Dahlia rudis</i> (0.667) <i>Desmanthodium ovatum</i> (0.750) <i>Dyssodia pinnata</i> (0.667) <i>Gutierrezia alamanii</i> (1.0) <i>Melampodium repens</i> (0.750) <i>Oteiza acuminata</i> (0.6) <i>Packera sanguisorbae</i> (0.6) <i>Piqueria pilosa</i> (0.6) <i>Psacalium peltatum</i> (0.8) <i>Psacalium silphiifolium</i> (0.7) <i>Pseudognaphalium inornatum</i> (0.750) <i>Roldana albonervia</i> (0.875) <i>Roldana candicans</i> (0.7) <i>Roldana chapalensis</i> (0.667) <i>Roldana platanifolia</i> (0.6) <i>Roldana reticulata</i> (0.750) <i>Senecio mulgediifolius</i> (0.667) <i>Solidago paniculata</i> (0.750) <i>Stevia iltisiana</i> (0.750) <i>Stevia purpusii</i> (0.6) <i>Steviopsis adenosperma</i> (0.750) <i>Trixis michuacana</i> (0.750)</p>

Áreas de endemismo en Morelos

Área de consenso	Número de especies que la conforman	Máxima puntuación	Especies endémicas y valores de endemidad
			<i>Verbesina klattii</i> (0.833)
			<i>Verbesina pterocaula</i> (0.667)
			<i>Verbesina seatonii</i> (0.6)
			<i>Viguiera tepoxtlensis</i> (0.667)
			Bromeliaceae
			<i>Pitcairnia pteropoda</i> (0.667)
			<i>Tillandsia prodigiosa</i> (0.750)
			<i>Tillandsia violacea</i> (0.750)
			Caprifoliaceae
			<i>Valeriana densiflora</i> (0.6)
			<i>Valeriana naidae</i> (0.667)
			Convolvulaceae
			<i>Ipomoea simulans</i> (0.833)
			Crassulaceae
			<i>Echeveria obtusifolia</i> (0.667)
			<i>Echeveria secunda</i> (0.750)
			<i>Sedum bourgaei</i> (0.833)
			<i>Sedum oxypetalum</i> (1.0)
			Cucurbitaceae
			<i>Cyclanthera tamnoides</i> (0.6)
			Cyperaceae
			<i>Eleocharis densa</i> (0.750)
			Dioscoreaceae
			<i>Dioscorea ulinei</i> (0.667)
			Ericaceae
			<i>Comarostaphylis polifolia</i> (0.6)
			Fabaceae
			<i>Astragalus micranthus</i> (0.833)
			<i>Dalea obreniformis</i> (0.750)
			<i>Dalea reclinata</i> (0.750)
			<i>Desmodium densiflorum</i> (0.750)
			<i>Marina nutans</i> (0.6)
			Gentianaceae
			<i>Gentiana bicuspidata</i> (0.750)
			<i>Gentiana spathacea</i> (0.833)
			Geraniaceae
			<i>Geranium latum</i> (0.875)
			<i>Geranium potentillifolium</i> (0.7)
			Iridaceae
			<i>Sisyrinchium angustissimum</i> (0.6)
			<i>Tigridia multiflora</i> (0.667)
			Lamiaceae
			<i>Cunila lythrifolia</i> (0.875)
			<i>Salvia concolor</i> (0.750)
			<i>Salvia oreopola</i> (1.0)
			<i>Salvia protracta</i> (0.833)
			<i>Salvia prunelloides</i> (0.750)
			<i>Salvia remota</i> (0.667)
			Liliaceae
			<i>Calochortus cernuus</i> (0.6)
			Linaceae
			<i>Linum orizabae</i> (0.750)
			Loranthaceae

Área de consenso	Número de especies que la conforman	Máxima puntuación	Especies endémicas y valores de endemidad
			<i>Cladocolea grahamii</i> (0.667)
			<i>Cladocolea microphylla</i> (0.833)
			Lythraceae
			<i>Cuphea bustamanta</i> (0.7)
			<i>Cuphea paucipetala</i> (0.833)
			Melanthiaceae
			<i>Anticlea frigida</i> (0.750)
			<i>Schoenocaulon pringlei</i> (0.750)
			Onagraceae
			<i>Oenothera deserticola</i> (0.875)
			Orchidaceae
			<i>Cyclopogon saccatus</i> (0.667)
			<i>Deiregyne albovaginata</i> (0.667)
			<i>Deiregyne densiflora</i> (0.750)
			<i>Malaxis ochreatea</i> (0.667)
			<i>Malaxis rosilloi</i> (0.6)
			<i>Maxillaria lezarzana</i> (0.667)
			<i>Oncidium unguiculatum</i> (0.667)
			<i>Prosthechea punctulata</i> (0.667)
			<i>Rhynchostele aptera</i> (0.750)
			<i>Rhynchostele cervantesii</i> (0.733)
			<i>Stelis oestlundiana</i> (0.667)
			<i>Trichocentrum pachyphyllum</i> (0.6)
			Orobanchaceae
			<i>Castilleja gracilis</i> (0.667)
			<i>Castilleja moranensis</i> (0.750)
			<i>Lamourouxia gracilis</i> (0.875)
			<i>Lamourouxia nelsonii</i> (0.833)
			<i>Pedicularis mexicana</i> (0.750)
			Pentaphragaceae
			<i>Cleyera integrifolia</i> (0.6)
			Plantaginaceae
			<i>Penstemon imberbis</i> (0.875)
			<i>Penstemon miniatus</i> (0.750)
			Poaceae
			<i>Peyritschia koelerioides</i> (0.875)
			<i>Trisetum virletii</i> (0.833)
			Polygalaceae
			<i>Monnina ciliolata</i> (0.8)
			Rosaceae
			<i>Fragaria mexicana</i> (0.750)
			<i>Potentilla candicans</i> (0.6)
			<i>Rubus pumilus</i> (0.750)
			Rubiaceae
			<i>Didymaea floribunda</i> (0.833)
			Salicaceae
			<i>Salix paradoxa</i> (1.0)
			Saxifragaceae
			<i>Heuchera orizabensis</i> (0.833)
			Smilacaceae
			<i>Smilax pringlei</i> (0.6)
			Solanaceae
			<i>Cestrum nitidum</i> (0.667)

Áreas de endemismo en Morelos

Área de consenso	Número de especies que la conforman	Máxima puntuación	Especies endémicas y valores de endemidad
			<i>Lycianthes rzedowskii</i> (0.833) <i>Physalis coztomatl</i> (0.667) <i>Physalis orizabae</i> (0.8) <i>Solanum cardiophyllum</i> (0.667) <i>Solanum iopetalum</i> (0.750) <i>Solanum verrucosum</i> (0.875) Verbenaceae <i>Verbena recta</i> (0.875) Violaceae <i>Viola hookeriana</i> (0.750)
3	15	9.53	Amaryllidaceae <i>Hymenocallis graminifolia</i> (1.0) Apocynaceae <i>Funastrum elegans</i> (1.0) Asteraceae <i>Acourtia dugesii</i> (0.8) <i>Acourtia glomeriflora</i> (0.794) <i>Montanoa bipinnatifida</i> (0.714) <i>Verbesina sphaerocephala</i> (0.706) Boraginaceae <i>Lithospermum exsertum</i> (0.714) Cactaceae <i>Opuntia auberi</i> (0.857) Convolvulaceae <i>Cuscuta gracillima</i> (0.706) Euphorbiaceae <i>Euphorbia umbellulata</i> (0.688) Fabaceae <i>Acaciella igualensis</i> (0.7) <i>Inga eriocarpa</i> (1.0) Myrtaceae <i>Eugenia crenularis</i> (0.857) Orchidaceae <i>Schiedeella affinis</i> (0.714) Piperaceae <i>Piper leucophyllum</i> (0.8)
4	97	67.27	Apiaceae <i>Eryngium bonplandii</i> (0.750) <i>Eryngium columnare</i> (0.8) <i>Eryngium monocephalum</i> (0.833) <i>Eryngium subacaule</i> (0.875) <i>Rhodosciadium toluicense</i> (0.750) Apocynaceae <i>Gonolobus grandiflorus</i> (1.0) Asparagaceae <i>Agave horrida</i> (0.8) <i>Agave inaequidens</i> (1.0) <i>Echeandia durangensis</i> (0.750) <i>Furcraea parmentieri</i> (0.750) Asteraceae <i>Acourtia cuernavacana</i> (0.778) <i>Ageratina oreithales</i> (0.833)

Área de consenso	Número de especies que la conforman	Máxima puntuación	Especies endémicas y valores de endemidad
			<i>Ageratina rhomboidea</i> (0.750)
			<i>Ageratina rubricaulis</i> (0.875)
			<i>Aldama morelensis</i> (0.6)
			<i>Bidens anthemoides</i> (0.875)
			<i>Bidens serrulata</i> (0.750)
			<i>Cirsium jorullense</i> (0.833)
			<i>Coreopsis rhyacophila</i> (0.6)
			<i>Desmanthodium ovatum</i> (0.778)
			<i>Gutierrezia alamanii</i> (1.0)
			<i>Melampodium repens</i> (0.750)
			<i>Oteiza acuminata</i> (0.6)
			<i>Packera sanguisorbae</i> (0.6)
			<i>Piqueria pilosa</i> (0.6)
			<i>Psacalium silphifolium</i> (0.7)
			<i>Pseudognaphalium inornatum</i> (0.778)
			<i>Roldana albonervia</i> (0.875)
			<i>Roldana candicans</i> (0.7)
			<i>Roldana chapalensis</i> (0.6)
			<i>Roldana platanifolia</i> (0.6)
			<i>Roldana reticulata</i> (0.750)
			<i>Senecio mulgediifolius</i> (0.667)
			<i>Solidago paniculata</i> (0.750)
			<i>Stevia iltisiana</i> (0.750)
			<i>Stevia purpusii</i> (0.6)
			<i>Steviopsis adenosperma</i> (0.778)
			<i>Verbesina klattii</i> (1.0)
			<i>Verbesina seatonii</i> (0.6)
			Bromeliaceae
			<i>Tillandsia prodigiosa</i> (0.667)
			<i>Tillandsia violacea</i> (0.778)
			Caprifoliaceae
			<i>Valeriana densiflora</i> (0.6)
			Convolvulaceae
			<i>Ipomoea simulans</i> (1.0)
			Crassulaceae
			<i>Echeveria obtusifolia</i> (0.778)
			<i>Echeveria secunda</i> (0.750)
			<i>Sedum bourgaei</i> (0.833)
			<i>Sedum oxypetalum</i> (1.0)
			Cyperaceae
			<i>Eleocharis densa</i> (0.750)
			Dioscoreaceae
			<i>Dioscorea ulinei</i> (0.667)
			Fabaceae
			<i>Astragalus micranthus</i> (1.0)
			<i>Dalea obreniformis</i> (0.778)
			<i>Dalea reclinata</i> (0.750)
			<i>Desmodium densiflorum</i> (0.750)
			<i>Marina nutans</i> (0.6)
			Gentianaceae
			<i>Gentiana bicuspidata</i> (0.750)
			<i>Gentiana spathacea</i> (0.833)
			Geraniaceae

Áreas de endemismo en Morelos

Área de consenso	Número de especies que la conforman	Máxima puntuación	Especies endémicas y valores de endemidad
			<i>Geranium latum</i> (0.875)
			<i>Geranium potentillifolium</i> (0.7)
			Iridaceae
			<i>Sisyrinchium angustissimum</i> (0.6)
			<i>Tigridia multiflora</i> (0.667)
			Lamiaceae
			<i>Cunila lythrifolia</i> (0.875)
			<i>Salvia concolor</i> (0.750)
			<i>Salvia oreopola</i> (1.0)
			<i>Salvia protracta</i> (1.0)
			<i>Salvia prunelloides</i> (0.6)
			Linaceae
			<i>Linum orizabae</i> (0.6)
			Loranthaceae
			<i>Cladocolea microphylla</i> (1.0)
			Lythraceae
			<i>Cuphea bustamanta</i> (0.7)
			<i>Cuphea paucipetala</i> (1.0)
			Melanthiaceae
			<i>Anticlea frigida</i> (0.6)
			<i>Schoenocaulon pringlei</i> (0.750)
			Onagraceae
			<i>Oenothera deserticola</i> (0.875)
			Orchidaceae
			<i>Deiregyne densiflora</i> (0.778)
			<i>Rhynchostele aptera</i> (0.6)
			<i>Rhynchostele cervantesii</i> (0.6)
			Orobanchaceae
			<i>Castilleja moranensis</i> (0.750)
			<i>Lamourouxia gracilis</i> (0.875)
			<i>Lamourouxia nelsonii</i> (1.0)
			<i>Pedicularis mexicana</i> (0.750)
			Plantaginaceae
			<i>Penstemon imberbis</i> (0.875)
			<i>Penstemon miniatus</i> (0.750)
			Poaceae
			<i>Peyritschia koelerioides</i> (0.875)
			<i>Trisetum virletii</i> (1.0)
			Polygalaceae
			<i>Monnina ciliolata</i> (0.8)
			Rosaceae
			<i>Fragaria mexicana</i> (0.750)
			<i>Potentilla candicans</i> (0.6)
			<i>Rubus pumilus</i> (0.750)
			Rubiaceae
			<i>Didymaea floribunda</i> (1.0)
			Salicaceae
			<i>Salix paradoxa</i> (1.0)
			Saxifragaceae
			<i>Heuchera orizabensis</i> (1.0)
			Solanaceae
			<i>Lycianthes rzedowskii</i> (1.0)
			<i>Physalis coztomatl</i> (0.667)

Área de consenso	Número de especies que la conforman	Máxima puntuación	Especies endémicas y valores de endemidad
			<i>Physalis orizabae</i> (0.8) <i>Solanum iopetalum</i> (0.750) <i>Solanum verrucosum</i> (0.875) Verbenaceae <i>Verbena recta</i> (0.875) Violaceae <i>Viola hookeriana</i> (0.750)
Sur	2	10	8.12 Acanthaceae <i>Carlowrightia pectinata</i> (1.0) Asteraceae <i>Pittocaulon bombycophole</i> (1.0) <i>Pittocaulon filare</i> (0.875) Convolvulaceae <i>Ipomoea intrapilosa</i> (0.833) Cucurbitaceae <i>Schizocarpum reflexum</i> (0.875) Fabaceae <i>Phaseolus microcarpus</i> (0.750) Malpighiaceae <i>Callaeum coactum</i> (1.0) <i>Heteropterys cotinifolia</i> (1.0) Orobanchaceae <i>Lamourouxia rhinanthifolia</i> (1.0) Rubiaceae <i>Randia tetraacantha</i> (0.750)

mínima fracción de la misma que se encontró en la CB ([Figura 2](#)). Dicha área contuvo 97 especies (11 %) pertenecientes a 32 familias de Magnoliophyta, todas ellas compartidas con el área de consenso 1 ([Tabla 1](#)).

Área Sur: Hacia la porción sur de Morelos, se situó el área de consenso 2, la cual albergó 10 (1.14 %) de las 874 especies analizadas, pertenecientes a ocho familias de Magnoliophyta ([Tabla 1](#)). Dicha área comprendió cuatro celdas ubicadas completamente dentro de la Cuenca del Balsas ([Figura 2](#)).

Familias de Magnoliophyta presentes en las áreas de endemismo. Las familias de Magnoliophyta más frecuentes en las áreas de endemismo identificadas a nivel nacional (presentes en tres de las cuatro áreas) fueron Amaryllidaceae y Poaceae, compartidas entre las áreas 1, 3 y 4; Apiaceae, Asteraceae, Crassulaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Onagraceae y Oxalidaceae, se compartieron entre las áreas 2, 3 y 4. Dentro de las familias menos frecuentes, restringidas a dos de las cuatro áreas de endemismo reconocidas en el análisis, se encontraron Bromeliaceae, Fabaceae y Orchidaceae, compartidas entre las áreas 3 y 4 ([Figura 3](#); [Supplementary data 2](#)).

Las áreas de endemismo ubicadas al centro del país registraron en conjunto 25 familias, entre las que destacan

Amaryllidaceae, Apiaceae y Asteraceae; en contraste, el área situada al oeste del país se caracterizó por la presencia de las familias Amaryllidaceae, Poaceae y Vitaceae, de las cuales Vitaceae no se incluyó en las áreas anteriormente señaladas ([Supplementary data 2](#)).

En el caso particular de las áreas de endemismo reconocidas en Morelos, las familias que más frecuentemente se encontraron fueron Asteraceae, Fabaceae y Convolvulaceae (registradas en las cuatro áreas). Adicionalmente, Orchidaceae se comparte entre las áreas 1, 3 y 4; Orobanchaceae y Rubiaceae, compartidas entre las áreas 1, 2 y 4. Dentro de las familias menos frecuentes, registradas en dos de las cuatro áreas, se encontraron Bromeliaceae, Lamiaceae, Poaceae y Solanaceae, compartidas entre el área 1 y 4, en tanto que Euphorbiaceae solamente se registró en el área 3 ([Figura 3](#); [Supplementary data 2](#)).

El área de endemismo ubicada al noroeste del estado de Morelos albergó 44 familias, entre las que destacaron Asteraceae, Fabaceae y Convolvulaceae ([Tabla 1](#)). Por otra parte, el área de endemismo situada al sur del estado se caracterizó por la presencia de ocho familias, de las cuales Acanthaceae y Malpighiaceae solamente se registraron de esta área ([Tabla 1](#)).

Áreas Naturales Protegidas y áreas de endemismo. La superficie total estimada para las cuatro áreas de endemismo identificadas en Morelos fue de 1,456.83 km², de la cual

Áreas de endemismo en Morelos

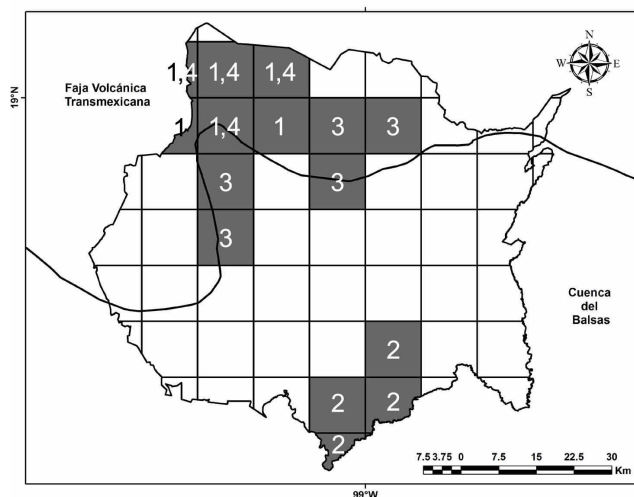


Figura 2. Áreas de consenso de las Magnoliophyta en el estado de Morelos. Los números dentro de las celdas indican el área de consenso a la cual pertenece. En algunos casos existe coincidencia espacial entre las áreas de consenso, por lo cual las áreas sobrepuestas se indican separadas con una “coma”.

678.25 km² se localizan dentro de las ANP federales (Corredor Biológico Chichinautzin, El Tepozteco, Lagunas de Zempoala y Sierra de Huautla) y 2.25 km² en una pequeña porción de ANP estatales (El Texcal y La Sierra de Montenegro) (Figura 4). Dentro de las cuatro áreas de endemismo incluidas en las ANP, se encontraron 154 especies de Magnoliophyta que corresponden al 17.6 % del total de especies analizadas en el estudio.

Discusión

El AE realizado con información geográfica de 96 familias de Magnoliophyta incluyó 874 especies endémicas de México distribuidas a lo largo del país y la zona de estudio (CB, FVT, Morelos). Los resultados a nivel nacional revelaron la existencia de sitios con distribución coincidente de un porcentaje importante de dichas especies (8 %). El análisis a escala nacional recuperó a Morelos como parte de un área de endemismo, identificando igualmente con la flora evaluada áreas de congruencia hacia el oeste del país, en territorio que corresponde a la FVT y hacia el centro del territorio mexicano, en donde se comparte superficie entre la CB y la FVT.

Tanto la CB como la FVT se han reportado como centros de alta riqueza de especies de plantas vasculares (Fernández-Nava *et al.* 1998, Bonilla-Barbosa & Villaseñor 2003). En este trabajo se identifican igualmente como áreas de endemismo importantes y dentro de ellas se encuentra inmerso el estado de Morelos, el cual también ha destacado por su particular riqueza de plantas vasculares, así como por sus características geográficas y ambientales (Bonilla-Barbosa & Villaseñor 2003, Villaseñor & Ortiz 2014, Villaseñor 2016). Los resultados del presente estudio ubican

al estado como una región de endemismo que merece análisis más detallados.

El AE dentro de Morelos reveló la existencia de áreas de endemismo soportadas por 154 de 874 especies. Se identificaron áreas hacia el norte y noroeste del estado, en territorio que corresponde a la FVT, donde se ubican principalmente los bosques templados y algunas pequeñas porciones con bosque húmedo de montaña (Rzedowski 1978, Flores-Villela & Geréz 1994, Bonilla-Barbosa & Villaseñor 2006). En esta región Asteraceae es una de las familias más importantes para la caracterización de las áreas de endemismo, la cual destaca por su preferencia hacia ambientes templados de regiones montañosas (Rzedowski 1978, Villaseñor 1990, Ramamoorthy *et al.* 1993).

Otra de las áreas de congruencia identificadas se sitúa principalmente hacia el sur del estado, en territorio que corresponde a la CB, cuya superficie se caracteriza principalmente por un ambiente cálido-semiseco, acentuándose más la condición de aridez hacia el este (Villaseñor 1987, Fernández-Nava *et al.* 1998). En dicha región también destaca la familia Asteraceae por el número de especies involucradas en la identificación de las áreas de endemismo (2). Estudios previos han discutido la correlación entre la riqueza de Asteraceae en un sitio con los otros componentes de la flora, como la riqueza total de especies (Villaseñor *et al.* 2007). Lo anterior indica que la identificación de un sitio con alta coincidencia de especies de esta familia permite suponer una alta riqueza de otros componentes de la flora estatal y los resultados aquí mostrados apoyan tal correlación. Lo mismo sucedió con otras dos familias que resultaron frecuentes en varias de las áreas de endemismo identificadas, Fabaceae y Poaceae (Figura 3), las cuales han sido también consideradas como

grupos predictores de riqueza de especies de plantas vasculares en diversas regiones de nuestro país (Villaseñor *et al.* 2007). La diversidad taxonómica evaluada (Tabla 1) es amplia (45 familias) y las áreas de endemismo identificadas muestran concentraciones de elementos florísticos de dicha diversidad.

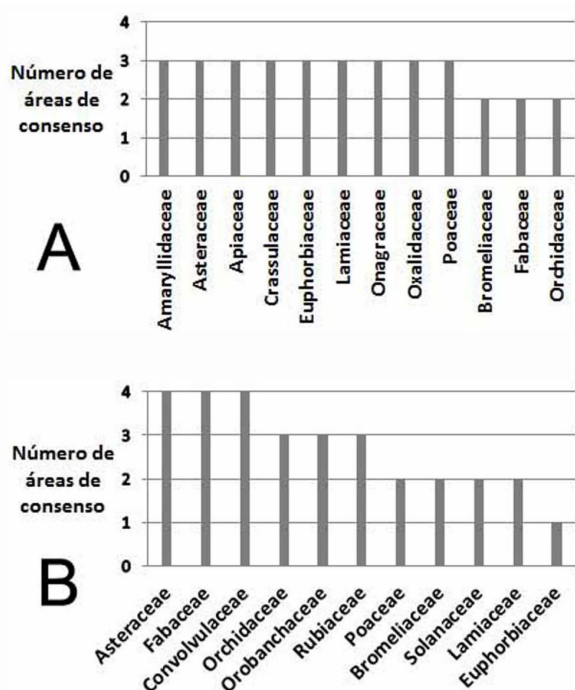


Figura 3. Familias de Magnoliophyta más frecuentes en las áreas de consenso identificadas a nivel nacional (A) y en Morelos (B).

La FVT está formada por un cinturón de volcanes que comenzaron a formarse durante el Oligoceno y el Mioceno temprano, hace aproximadamente 33.9 millones de años (Becerra 2005, Velasco *et al.* 2007). La actividad de sus volcanes ha ocurrido de manera asincrónica a lo largo de su territorio, comenzando en la porción oeste y continuando de manera más reciente hacia el este (Gámez *et al.* 2012); por tal motivo, la porción oeste de la FVT es considerada una formación más antigua (Marshall & Liebherr 2000). De igual manera, dentro de la FVT se ha observado que la edad de sus rocas también varía en orientación norte a sur, siendo más antigua por su composición la región norte, donde el intemperismo y la erosión han actuado intensamente, dando como consecuencia un relieve irregular, que se manifiesta en la presencia de numerosos valles y barrancas con fuertes pendientes (Velasco *et al.* 2007).

Por su parte, la CB es una región con pocas superficies planas, encontrando en ella una franja de rocas volcánicas de diversos tipos y estructuras, como derrames lávicos, tobas, brechas y cenizas volcánicas que fueron emitidas de

manera sucesiva por volcanes durante el Cenozoico y que actualmente forman una gruesa y extensa capa superpuesta en las rocas del Mesozoico (Fernández-Nava *et al.* 1998). De manera más particular, se han realizado dataciones de rocas de la porción de Morelos que se ubica en la CB, reportando que las regiones noroeste, centro y parte del sur contienen las rocas más antiguas, que datan del Terciario (aproximadamente 66 millones de años) al Cuaternario. En contraste, la región con rocas más jóvenes se ubica al noreste y este del estado (SPP 1981).

En general, las áreas de endemismo identificadas en Morelos que se ubican en la porción sur de la CB corresponden a zonas con mayor antigüedad considerando su historia geológica. Lo mismo ocurre con las áreas reconocidas en la porción norte y noroeste del estado, que conciernen a la porción de la FVT, una de las zonas más antiguas dentro del área de estudio. De las especies incluidas en el análisis, algunas se distribuyen hacia el oeste tanto de la FVT como de la CB, es decir, hacia las regiones más antiguas de dichas provincias. Tomando en cuenta únicamente su distribución, la cual se superpone con formaciones geológicas antiguas, tales especies probablemente no constituyan endemismos recientes (Noguera-Urbano 2017). Resultados similares fueron encontrados por Sosa *et al.* (2018), quienes identificaron áreas paleoendémicas al oeste de la Faja Volcánica Trans-Mexicana y de la Cuenca del Balsas, es decir, sitios cuyos taxa son antiguos y se restringen a un área geográfica pero que inicialmente presentaron amplias áreas de distribución, además de que son taxones que divergieron muy temprano y tienen distribuciones que se superponen con formaciones geológicas antiguas (Noguera-Urbano 2017). Ejemplos de especies distribuidas preferentemente hacia la porción occidental de la FVT son *Acourtia lepidopoda* (Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos y Puebla), *Ageratina perezii* (Guerrero, Estado de México, Michoacán y Morelos), *Habenaria rosulifolia* (Guerrero, Estado de México, Morelos y Puebla), *Malaxis lyonnetii* (Guerrero, Estado de México y Morelos), *Pectis exilis* (Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos y Puebla), *Stevia vernicosa* (Colima, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Morelos y Puebla) o *Thalictrum cuernavacantum* (Guerrero, Estado de México y Morelos). Entre las especies que se distribuyen particularmente hacia el este de la FVT, en las regiones geológicamente consideradas recientes (Noguera-Urbano 2017), se pueden citar a *Mesadenus tenuissimus* (Estado de México, Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla) y *Verbesina pterocaula* (Guerrero, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Oaxaca, Puebla y Veracruz).

Implicaciones para la conservación del endemismo en el estado de Morelos. El endemismo, debido a su restricción geográfica ha sido relevante para el diseño y la delimitación

Áreas de endemismo en Morelos

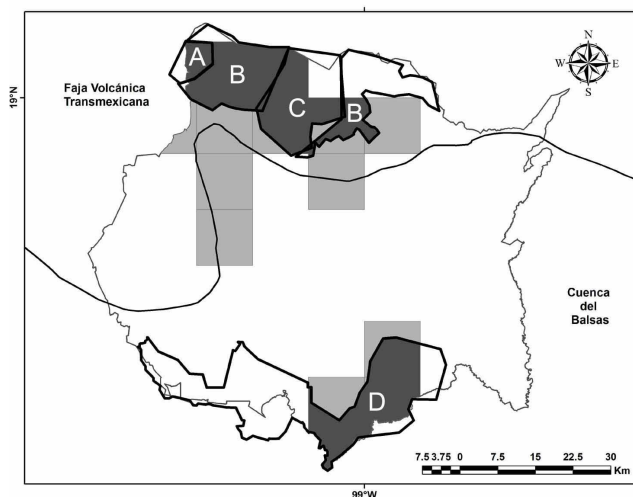


Figura 4. Mapa que indica las Áreas Naturales Protegidas Federales de Morelos. **A** = Lagunas de Zempoala, **B** = Corredor Biológico Chichinautzin, **C** = El Tepozteco, **D** = Sierra de Huautla. En gris claro se muestra la superficie de las áreas de consenso. En gris oscuro se indica la superficie de dichas áreas incluidas en las ANP's.

de áreas protegidas. Las especies endémicas constituyen un grupo de especies sensibles a la modificación de su entorno, en particular por agentes antropogénicos (Alcántara & Paniagua 2007). Las áreas de endemismo son sitios importantes para la conservación, donde la congruencia en la distribución de especies, en especial las endémicas, se hace evidente y las destacan como sitios potencialmente irremplazables, un criterio importante en la definición de zonas prioritarias para la conservación (Méndez-Larios *et al.* 2005).

Aproximadamente 25 % de la superficie total de Morelos (1,261.1 km²) corresponde a Áreas Naturales Protegidas (ANP) ya establecidas, tanto a nivel federal como estatal. Las cuatro áreas de endemismo cubren un área total estimada en 1,456.8 km² y alrededor del 46.6 % de dicha superficie (680.4 km²) se localiza dentro de las ANP (Figura 4). En dicha región, se registran alrededor de 154 especies de Magnoliophyta, que corresponden al 17.6 % del total de especies analizadas en este estudio.

Como muestran los resultados, las áreas de endemismo reconocidas en este trabajo coincidieron en parte con ANP ya establecidas hacia el norte y sur del estado. Sin embargo, menos de la mitad de su área total se encuentra bajo alguna protección y su papel en la conservación del endemismo no es satisfactorio, pues menos del 18 % de las especies estarían sujetas a algún esquema de protección dentro de su territorio.

Existen regiones hacia el oeste del estado identificadas como sitios de endemismo que no se encuentran bajo alguna categoría de protección. Ortiz-Hernández *et al.* (2015) destacan la riqueza de vertebrados en estas zonas; ellos reportan allí la presencia de alrededor del 35 % de los vertebrados registrados para el estado, mismo que no han

sido incluidos dentro de alguna ANP. En particular para el género *Bursera*, Hernández-Pérez *et al.* (2011) señalan que en el centro y sur de Morelos se registra entre 5 a 10 especies, encontrando otros sitios también importantes hacia el norte, en la Sierra de Tepoztlán. Resultados similares son observados en un análisis de la riqueza de Magnoliophyta (Estrada-Márquez *et al.* en preparación).

Gámez *et al.* (2012), al analizar los patrones de riqueza de la mastofauna de la Faja Volcánica Trans-Mexicana, encuentran que la porción este concentra el mayor número de especies (101-116). En dicha región se encuentra inmersa la porción noroeste de Morelos. De la misma manera, Feria & Peterson (2002), resaltan que la porción este de la CB alberga una riqueza de especies de aves (entre 1 a 19) y endemismos (16), cuya región incluye más de la mitad del territorio del estado.

La información conjunta de plantas y animales deberá considerarse en futuros estudios locales o regionales, encaminados a proponer estrategias de conservación en Morelos. Las amenazas constantes y crecientes de la biodiversidad de Morelos son patentes por actividades antropogénicas (agricultura, incendios provocados, turismo y urbanización) y más recientemente el cambio climático (Ortiz-Hernández *et al.* 2015). Por esta razón, se requiere de información más detallada del componente endémico para acciones de conservación más eficaces.

Agradecimientos

La primera autora agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México y a CONACYT por el apoyo económico (beca 330014) para realizar sus estudios de posgrado. También se

agradece el apoyo técnico brindado por Enrique Ortiz en diferentes facetas del trabajo y los comentarios constructivos de los compañeros del grupo de discusión semanal del cubículo A-218.

Supplementary data

Supplemental material for this article can be accessed here: <https://doi.org/10.17129/botsci.2492>

Literatura citada

- Alcántara O, Paniagua M. 2007. Patrones de distribución y conservación de las plantas endémicas. In: Luna I, Morrone JJ, Espinosa D, eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 421-438. ISBN: 978-970-32-4871-1
- Becerra JX. 2005. Timing the origin and expansion of the Mexican tropical dry forest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**: 10919-10923. DOI: <https://dx.doi.org/10.1073/pnas.0409127102>
- Bonilla-Barbosa JR, Villaseñor JL. 2003. *Catálogo de la flora del estado de Morelos*. Morelos, México: Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. ISBN: 968-878-116-7
- Bonilla-Barbosa JR, Villaseñor JL. 2006. Tipos de vegetación en el estado de Morelos. In: Rueda-Hurtado R. coord. *Atlas Municipal del Estado de Morelos*. México: Instituto de Geografía Tropical de la Habana - Praxis, pp. 126-140. ISBN: 970-682-277-1
- Brown JH, Gibson AC. 1983. *Biogeography*. St. Louis: Mosby. ISBN: 0-8016-0824-4
- Contreras-MacBeath T, Jaramillo-Monroy F, Boyás-Delgado JC, eds. 2006. *La diversidad biológica en Morelos. Estudio del Estado*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. ISBN: 970-9000-033-0
- Escalante T. 2009. Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **80**: 551-560. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.002.627>
- Escalante T. 2015. Parsimony analysis of endemism and analysis of endemism: A fair comparison. *Systematics and Biodiversity* **13**: 413-418. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14772000.2015.1046966>
- ESRI [Environmental Systems Research Institute]. 2010. ArcGIS 10.1. Redlands, California.
- Feria TP, Peterson T. 2002. Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions* **8**: 49-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1472-4642.2002.00127.x>
- Fernández-Nava R, Rodríguez-Jiménez C, Arreguín-Sánchez ML, Rodríguez-Jiménez A. 1998. Listado florístico de la Cuenca del Río Balsas, México. *Polibotánica* **9**: 1-151.
- Ferrusquía-Villafranca I. 1990. *Provincias Bióticas con énfasis en criterios morfotectónicos. Regionalización Biogeográfica, IV.8.10. Atlas Nacional de México. Vol II. Escala 1: 4,000,000*. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flores-Villela O, Geréz P. 1994. *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 968-36-3992-5
- Gámez N, Escalante T, Rodríguez G, Linaje M, Morrone JJ. 2012. Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **83**: 258-272. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.1.786>
- Hernández-Pérez E, González-Espinosa M, Trejo I, Bonfil C. 2011. Distribución del género *Bursera* en el estado de Morelos, México y su relación con el clima. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **82**: 964-976. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.694>
- Marshall CJ, Lieberr JK. 2000. Cladistic biogeography of the Mexican transition zone. *Journal of Biogeography* **27**: 203-216. DOI: <https://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00388.x>
- Méndez-Larios I, Villaseñor JL, Lira R, Morrone JJ, Dávila P, Ortiz E. 2005. Toward the identification of a core zone in the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve, Mexico, based on parsimony analysis of endemism of flowering plant species. *Interciencia* **30**: 267-274.
- Morrone JJ. 1994. On the identification of Areas of Endemism. *Systematic Biology* **43**: 438-441. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2413679>
- Morrone JJ. 2001. *Sistemática, biogeografía, evolución. Los patrones de la biodiversidad en tiempo-espacio*. México. DF: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. ISBN: 978-968-36-8600-8
- Morrone JJ. 2009. *Evolutionary biogeography: An integrative approach with case studies*. Nueva York: Columbia University Press. ISBN: 978-0-231-14378-3
- Morrone JJ. 2019. Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **90**: 1-68. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>

- Munguía-Lino G, Escalante T, Morrone JJ, Rodríguez A. 2016. Areas of endemism of the North American species of Tigridaeae (Iridaceae). *Australian Systematic Botany* **29**: 142-156. DOI: <https://dx.doi.org/10.1071/SB16002>
- Noguera-Urbano EA. 2017. El endemismo: diferenciación del término, métodos y aplicaciones. *Acta Zoológica Mexicana* **33**: 89-107.
- Noguera-Urbano EA, Escalante T. 2015. Áreas de endemismo de los mamíferos (Mammalia) Neotropicales. *Acta Biológica Colombiana* **20**: 47-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n3.46179>
- Ortiz-Hernández ML, Sánchez-Salinas E, Castrejón-Godínez ML, Romero-Aguilar M. 2015. *Los indicadores ambientales como herramienta para la sustentabilidad. Estudio de caso en Morelos*. Morelos: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. ISBN: 978-607-8434-13-8
- Platnick NI. 1991. On areas of endemism. *Australian Systematic Botany* **4**: 11-12.
- Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J. 1993. *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Nueva York: Oxford University Press. ISBN: 0-19-506674-X
- Ruiz-Sánchez E, Munguía-Lino G, Vargas-Amado G, Rodríguez A. 2020. Diversity, endemism and conservation status of native Mexican Woody bamboos (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae). *Botanical Journal of the Linnean Society* **192**: 281-295. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/botlinnean/boz062>
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. México DF: Limusa. ISBN: 968-18-0002-8
- Sosa V, De-Nova A, Vásquez-Cruz M. 2018. Evolutionary history of the flora of Mexico: Dry forests cradles and museums of endemism. *Journal of Systematics and Evolution* **56**: 523-536. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/jse.12416>
- SPP [Secretaría de Programación y Presupuesto]. 1981. *Síntesis geográfica de Morelos*. México. CDMX: Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. ISBN: 968-809-258-4
- Szumik CA, Cuezco F, Goloboff PA, Chalup AE. 2002. An optimality criterion to determine areas of endemism. *Systematic Biology* **51**: 806-816. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/10635150290102483>
- Szumik CA, Goloboff PA. 2004. Areas of endemism: an improved optimality criterion. *Systematic Biology* **53**: 968-977. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/10635150490888859>
- Takhtajan A. 1986. *Floristic regions of the world*. Berkeley: University of California Press. ISBN: 0-520-04027-9
- Velasco P, Arellano J, Silva-Pineda A, Guarneros S. 2007. Aspectos geológicos y paleontológicos. In: Luna I, Morrone JJ, Espinosa D. eds. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 25-38. ISBN: 978-970-032-4871-1
- Villaseñor JL. 1987. Clave genérica para las compuestas de la cuenca del río Balsas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* **47**: 65-86.
- Villaseñor JL. 1990. The genera of Asteraceae endemic to Mexico and adjacent regions. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany* **12**: 685-692. DOI: <https://dx.doi.org/10.5642/aliso.19901204.04>
- Villaseñor JL. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophytas de México. *Interciencia* **28**: 160-167.
- Villaseñor JL, Maeda P, Rosell JA, Ortiz E. 2007. Plant families as predictors of plant biodiversity in Mexico. *Diversity and Distributions* **13**: 871-876. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00385.x>
- Villaseñor JL, Ortiz E. 2014. Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **85**: 134-142. DOI: <https://dx.doi.org/10.7550/rmb.31987>
- Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**: 559-902. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

Editor de sección: Eduardo Ruíz Sánchez

Contribución de los autores: ASEM y JLV diseñaron el estudio y escribieron el manuscrito. ASEM llevó a cabo los análisis bajo la supervisión de TE. Todos los autores revisaron y aceptaron la versión final del documento.