

## DIVERSIDAD DE PLANTAS VASCULARES DE LA PROVINCIA FISIAGRÁFICA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, MÉXICO

## DIVERSITY OF VASCULAR PLANTS OF THE PHYSIOGRAPHIC PROVINCE OF THE SIERRA MADRE ORIENTAL, MEXICO

MARÍA MAGDALENA SALINAS-RODRÍGUEZ<sup>1\*</sup>, LUIS HERNÁNDEZ-SANDOVAL<sup>1</sup>, PABLO CARRILLO-REYES<sup>2</sup>,  
 HUGO ALBERTO CASTILLO-GÓMEZ<sup>1</sup>, ARTURO CASTRO-CASTRO<sup>3</sup>, EDUARDO ESTRADA-CASTILLÓN<sup>4</sup>,  
 DANTE SAMUEL FIGUEROA-MARTÍNEZ<sup>2</sup>, IVONNE NAYELI GÓMEZ-ESCAMILLA<sup>5</sup>, MARTHA GONZÁLEZ-ELIZONDO<sup>3</sup>,  
 JOSÉ SAID GUTIÉRREZ-ORTEGA<sup>6</sup>, JULIÁN HERNÁNDEZ-RENDÓN<sup>2</sup>, GUADALUPE MUNGUÍA-LINO<sup>2</sup>,  
 JOSÉ ARTURO DE-NOVA<sup>7</sup>, JUAN PABLO ORTIZ-BRUNEL<sup>2</sup>, GABRIEL RUBIO-MÉNDEZ<sup>1</sup>, EDUARDO RUIZ-SÁNCHEZ<sup>2</sup>,  
 CRISTÓBAL SÁNCHEZ-SÁNCHEZ<sup>8</sup>, TECOATLAYOPEUH NELLY SANDOVAL-MATA<sup>1</sup>, RAFAEL SOLTERO-QUINTANA<sup>2</sup>,  
 VÍCTOR STEINMANN<sup>1</sup>, SUSANA VALENCIA-A<sup>9</sup> Y SERGIO ZAMUDIO-RUIZ<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Juriquilla, Querétaro, México.

<sup>2</sup> Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México.

<sup>3</sup> Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango, Durango, Durango, México.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México.

<sup>5</sup> Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Ciudad de México, México.

<sup>6</sup> Laboratorio de Ecología de Comunidades, Facultad de Ciencias, Universidad de Chiba, Chiba, Región de Kantō, Japón.

<sup>7</sup> Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

<sup>8</sup> Jardín Etnobotánico Francisco Peláez R., San Andrés Cholula, Puebla, México.

<sup>9</sup> Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

<sup>10</sup> Investigador Independiente, Pátzcuaro, Michoacán, México.

\*Autor para la correspondencia: [manesalinas@outlook.com](mailto:manesalinas@outlook.com)

### Resumen

**Antecedentes:** La Sierra Madre Oriental es una Provincia Fisiográfica ubicada en el noreste de México con características geológicas, climáticas y edáficas distintivas. La flora de esta región aún no ha sido inventariada en conjunto.

**Preguntas:** ¿Cuál es la diversidad florística de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental? ¿Cuál es la afinidad geográfica de sus géneros?

**Sitio y años de estudio:** Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental. El trabajo se desarrolló desde agosto del 2012 a diciembre del 2020.

**Métodos:** Se hizo una búsqueda exhaustiva de información en diversas fuentes como herbarios, bases de datos, trabajos florísticos y monografías. Para cada especie, se registró la vegetación, afinidad geográfica del género y endemismo.

**Resultados:** Se registran 6,981 especies de las cuales 1,542 son endémicas. Las familias más ricas en especies son Asteraceae (1,000 especies), Fabaceae (495), Cactaceae (365) y Poaceae (328). Los bosques templados registran el mayor número de especies (2,906). Querétaro fue el estado con más especies (2,803), seguido de Coahuila (2,710) y Nuevo León (2,406). La Sierra Madre Oriental comprende una mayor cantidad de especies con géneros de afinidad geográfica boreal (2,742), seguidas por especies de afinidad tropical (2,020), especies endémicas de México (1,227), cosmopolitas (803) y de los desiertos del mundo (189).

**Conclusiones:** La Sierra Madre Oriental alberga más de la cuarta parte de la flora vascular y un 13 % de las plantas endémicas del país. Es un área que reúne géneros de diferentes afinidades geográficas en su mayoría boreales, seguidos de tropicales y endémicos.

**Palabras clave:** Endemismo, flora, inventario, montaña, vegetación.

### Abstract

**Background:** The Sierra Madre Oriental is a Physiographic Province located in northeastern Mexico and has distinctive geological, climatic, and edaphic characteristics. The flora in this region has not been inventoried as a whole.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



**Question:** What is the floristic diversity of the Physiographic Province of the Sierra Madre Oriental? What is the geographic affinity of its genera?

**Site and years of study:** The Physiographic province of the Sierra Madre Oriental. The work was conducted from August 2012 to December 2020.

**Methods:** An exhaustive search for information was carried out using various sources such as herbaria, databases, floristic works, and monographs. To each species was registered the type of vegetation, geographic affinity and endemism.

**Results:** A total of 6,981 species are registered; 1,542 are endemic to the Sierra Madre Oriental. The most diversity families were Asteraceae (1,000 species), Fabaceae (495), Cactaceae (365) and Poaceae (328). The temperate forests housed the greatest number of species (2,906). Querétaro was the richest state (2,803), followed by Coahuila with (2,710) and Nuevo León (2,406). The greatest number of genera of the species in the Sierra Madre Oriental have geographical boreal affinity (2,742), followed by species with tropical affinity (2,020), endemics to Mexico (1,227), with a cosmopolitan distribution (803), and from the deserts of the world (189).

**Conclusions:** The Sierra Madre Oriental is home to more than a quarter of the vascular flora and 13 % of the endemic plants from Mexico. The area combines genera of different geographic affinities, mostly boreal, followed by tropical and endemic.

**Keywords:** Endemism, flora, inventory, mountain, vegetation.

Las montañas han sido consideradas como áreas que concentran biodiversidad (Körner 2000, Körner 2004, Mutke & Barthlott 2005, Körner & Spehn 2019, Rahbek *et al.* 2019). Los factores que generan esta concentración se deben a la presencia de cinturones termales (Körner *et al.* 2011), heterogeneidad topográfica (Ricklefs 1977, Richerson & Lum 1980, Burnett *et al.* 1998, Nichols *et al.* 1998, Badgley *et al.* 2017), heterogeneidad climática (Suárez-Mota *et al.* 2017), microclimas (Kutzbach *et al.* 1993, Raupach & Finnigan 1997, Lembrechts *et al.* 2019), diferencias en radiación solar (Bennie *et al.* 2008), geodiversidad (During & Willems 1984, Brooks 1987, Gray 2004, Hjort *et al.* 2015, Moreno *et al.* 2020, Van Santen & Linder 2020) y diferencias en elevación y pendiente (Zhironova *et al.* 2020). También la geología, la heterogeneidad del relieve y la mezcla de tipos de suelo han sido correlacionados con la diversidad (Hoorn *et al.* 2013, Antonelli 2015, Payne *et al.* 2017, Zizka & Antonelli *et al.* 2018, Körner & Spehn 2019, Rahbek *et al.* 2019, Silveira *et al.* 2019, Perrigo *et al.* 2020). Por ejemplo, ciertos procesos como la disolución de la roca sedimentaria por acción del intemperismo, han generado paisajes kársticos y sustratos compuestos con un alto contenido de carbonatos de calcio como calizas, lutitas, areniscas y yesos, entre otros, que hacen heterogéneos los hábitats (Mason 1946, Clements *et al.* 2006, Li *et al.* 2013, Feng *et al.* 2020), factor importante para muchas especies microendémicas de plantas (Meyer *et al.* 1992, Sosa & De-Nova 2012, Salinas-Rodríguez *et al.* 2017). En este contexto, las montañas, su posición, su extensión y su historia geológica (Hoorn *et al.* 2013, Antonelli 2015, Zizka & Antonelli *et al.* 2018, Hobohm *et al.* 2019, Rahbek *et al.* 2019, Silveira *et al.* 2019, Perrigo *et al.* 2020) han tenido un impacto directo en la evolución y distribución de la biota mexicana y la diversidad de plantas vasculares podría correlacionarse también a rasgos fisiográficos (Harrison *et al.* 2004, Kruckeberg 2004, Clements *et al.* 2006, Salinas-Rodríguez *et al.* 2017, Rahbek *et al.* 2019).

Existen varias propuestas de delimitación para la Sierra Madre Oriental (SMOr) basadas en rasgos fisiográficos, geológicos, biológicos etc. (Rzedowski 1978, Casas-Andreu & Reyna-Trujillo 1990, Cervantes-Zamora *et al.* 1990, Ferrusquía-Villafranca 1990, Ramírez & Castro 1990, CONABIO 2008, Espinosa *et al.* 2004, Morrone 2005, Morrone *et al.* 2017). Sin embargo, presentan diferencias y aún hoy los límites exactos y sus posibles subdivisiones siguen siendo imprecisas y suscitan discusiones (Lugo-Hubp 1990). En este trabajo se ha decidido usar como polígono de estudio la Provincia Fisiográfica de la SMOr que de forma general es un conjunto de cadenas montañosas ubicadas en el noreste del país, producto de orogenias ocurridas desde el periodo Cretácico (Eguiluz-De Antuñano *et al.* 2000) que culminaron en un complejo arreglo geomorfológico compuesto de rocas de origen sedimentario en forma de pliegues surcadas por llanuras, valles y lomeríos (Álvarez 1961), éstas se agrupan por la edad e historia de los sustratos, mucho más antiguos que otras cadenas de montañas de México.

La delimitación de esta Provincia abarca una extensión de alrededor de 22,015,151 hectáreas o el 11 % de la superficie continental del país y fue propuesta por Cervantes-Zamora *et al.* (1990) y retomada por el INEGI (2001a, b). Esta delimitación se refiere a una visión general de las formas del relieve que integran conjuntos paisajísticos sobre áreas muy extensas, los cuales se unificaron considerando las topoformas, la geología, la climatología, la hidrología

y la edafología que derivó en unidades relativamente homogéneas llamadas Provincias Fisiográficas (INEGI 2001a, b, d). Para unificar las Provincias Fisiográficas de México se hizo un análisis integral de mapas topográficos, refiriéndose a un sistema de topoformas que incluyó para la SMOr en orden de abundancia decreciente: a) sierras, que se refiere a las montañas, ya fueran altas escarpadas, plegadas, complejas, de laderas convexas etc. (54 %), b) bajadas, que se refiere a las laderas o pie de monte de la topoforma sierra (20 %), c) llanuras, que son áreas planas intermontanas o rodeadas de sierras (17 %), d) valles, que se refiere a zonas planas estrechas y/o alargadas intramontanas (3 %), e) lomeríos, que son zonas onduladas entre las sierras (2 %), f) mesetas, que son áreas planas en la parte alta de las sierras, y g) cañones, que se refiere a áreas angostas de paredes verticales intramontanas que han sido esculpidas por la acción erosiva del agua (1 %) (INEGI 2001c). La Provincia Fisiográfica de la SMOr quedó conformada por ocho Subprovincias Fisiográficas que de noroeste a sureste son: a) Serranía del Burro, b) Sierras y Llanuras Coahuilenses, c) Sierra de La Paila, d) Pliegues Saltillo-Parras, e) Sierras Transversales, f) Gran Sierra Plegada, g) Sierras y Llanuras Occidentales, y h) Carso Huasteco (INEGI 2001d). A diferencia de otras delimitaciones de la SMOr que se basan en lo que correspondería a la Subprovincia del Carso Huasteco y la Gran Sierra Plegada, la delimitación de Provincia Fisiográfica de la SMOr (Cervantes-Zamora *et al.* 1990, INEGI a, b) incluye sierras calcáreas transicionales del norte de México en los estados de Coahuila, Zacatecas, Durango, Nuevo León y San Luis Potosí, así como valles intermontanos y lomeríos con matorrales, en donde se traslapan elementos asociados al Desierto Chihuahuense (Rzedowski 1973, Villaseñor *et al.* 2020) que se asocian a sitios fisiográficamente considerados como sierra, pero que ecológica y biogeográficamente no lo son.

Sin embargo, desde su identidad biogeográfica, Espinosa *et al.* (2004) utilizan el polígono Fisiográfico de la SMOr y con base en la distribución de conjuntos importantes de endemismos de flora y fauna, recalcan una evidente división en dos subprovincias: meridional y septentrional, que se divide con el cauce del río Moctezuma (Pánuco medio). La Provincia Meridional se divide en los distritos de Sierra Gorda y Huayacocotla, la cual está relacionada con Mesoamérica y las Antillas, mientras que la Provincia Septentrional se divide en los distritos de Parras-Saltillo y Potosí, relacionados con la Sierra Madre Occidental y las zonas áridas del sureste de Estados Unidos, estos resultados también se sustentaron en los de Luna-Vega *et al.* (2000) quienes mencionan que los cañones del río Pánuco de frente a la vertiente oriental de la SMOr, son el límite norte de distribución de varias especies de flora tropical como *Ageratina ligustrina*, *Aporocactus flageliformis*, *Campyloneurum angustifolium*, *Clethra mexicana*, *Fleischmannia pycnocephala*, *Oreopanax xalapensis*, *Palicourea padifolia*, *Smilax mollis* y *Solanum appendiculatum* y que incluso marca el límite norte de organismos vágiles como mariposas, cuya distribución está desde Centroamérica hacia el norte, pero se interrumpe en los cañones del río Pánuco, de la misma manera que con especies como *Quercus rysophila* que se distribuyen hacia el norte de este acotamiento.

En cuanto a diversidad, Luna-Vega *et al.* (2004) mencionan que un área similar a la Provincia Fisiográfica de la SMOr alberga más de 2,500 especies de plantas vasculares nativas, Mittermeier (2004) propone que el Hotspot de Bosques Madrenses de Pino y Encino, alberga más de 5,300 especies de las cuales 3,975 (75 %) son endémicas. También ha sido considerada una región rica en endemismos de plantas insectívoras del género *Pinguicula* (Zamudio 2005), tejocotes (*Crataegus*) (Phipps 1997) y cactáceas, e incluso se plantea la hipótesis de que la tribu Cacteeae pudo haberse originado en la SMOr y posteriormente dispersarse a lo que hoy es el Altiplano o la Meseta Mexicana durante el Mioceno - Plioceno (Vázquez-Sánchez *et al.* 2013, Guerrero *et al.* 2019, Villaseñor *et al.* 2020), además se considera a la SMOr junto con el Altiplano Mexicano (Hernández & Bárcenas 1995, Santa Anna-Del Conde *et al.* 2009) como grandes centros de diversificación.

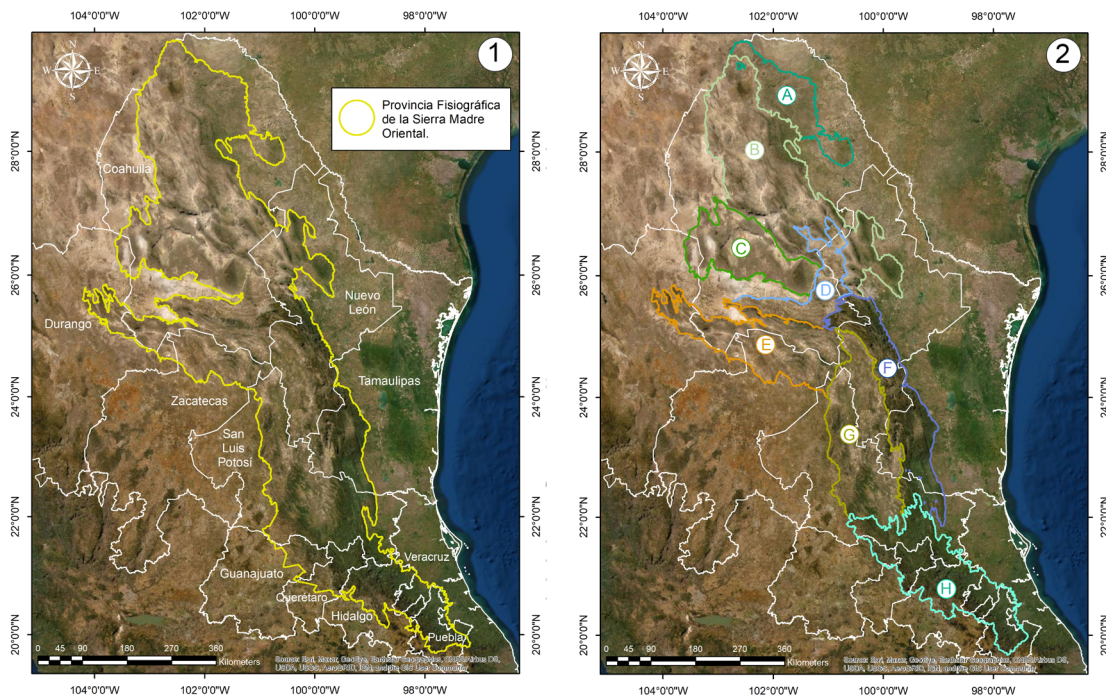
Otras investigaciones botánicas que toman a la SMOr como un polígono de estudio incluyen en orden cronológico: la composición florística y estructura de los bosques mesófilos de montaña (Rzedowski 1996, Luna-Vega *et al.* 2001), las especies de gimnospermas (Contreras-Medina *et al.* 2004), las plantas vasculares acuáticas (Bonilla-Barbosa 2004), un análisis biogeográfico de sus cactáceas y su representatividad en las áreas de conservación (Santa Anna-Del Conde *et al.* 2009), la biogeografía de *Hunnemannia fumarifolia* (Ruíz-Sánchez *et al.* 2012), la estructura de los piñonares de *Pinus pinceana* (Villarreal-Quintanilla *et al.* 2009), las poblaciones de *Taxus globosa* (García-Aranda *et al.* 2012), la biogeografía de diversas especies de helechos (Sanginés-Franco *et al.* 2011), los árboles silvestres

endémicos (Rzedowski 2015a), la flora vascular de distribución restringida (Rzedowski 2015b, Salinas-Rodríguez *et al.* 2017), los dominios climáticos y su relación con la diversidad florística (Suárez-Mota *et al.* 2017) y la efectividad de sus áreas naturales protegidas en la conservación de sus endemismos (Salinas-Rodríguez *et al.* 2018).

El objetivo de la presente investigación fue elaborar el inventario florístico de esta Provincia Fisiográfica, así como una actualización de sus endemismos y las afinidades geográficas de sus géneros.

## Materiales y métodos

**Área de estudio.** El polígono utilizado en esta investigación corresponde al mapa de las Provincias y Subprovincias Fisiográficas de México de Cervantes-Zamora *et al.* (1990) e INEGI (2001a, b, d) (Figura 1), el cual se basa en la dominancia del sustrato geológico que corresponde al periodo Cretácico y pendientes mayores a 30 ° C de inclinación y una extensión de 22,015,151 hectáreas. Su altura promedio es de 1,313 m snm, su altura mínima es de 119 m snm (vertiente oriental de la Sierra del Abra Tanchipa en San Luis Potosí) y su altura máxima es de 3,709 m snm (cerro del Potosí en Nuevo León) (INEGI 2017a).



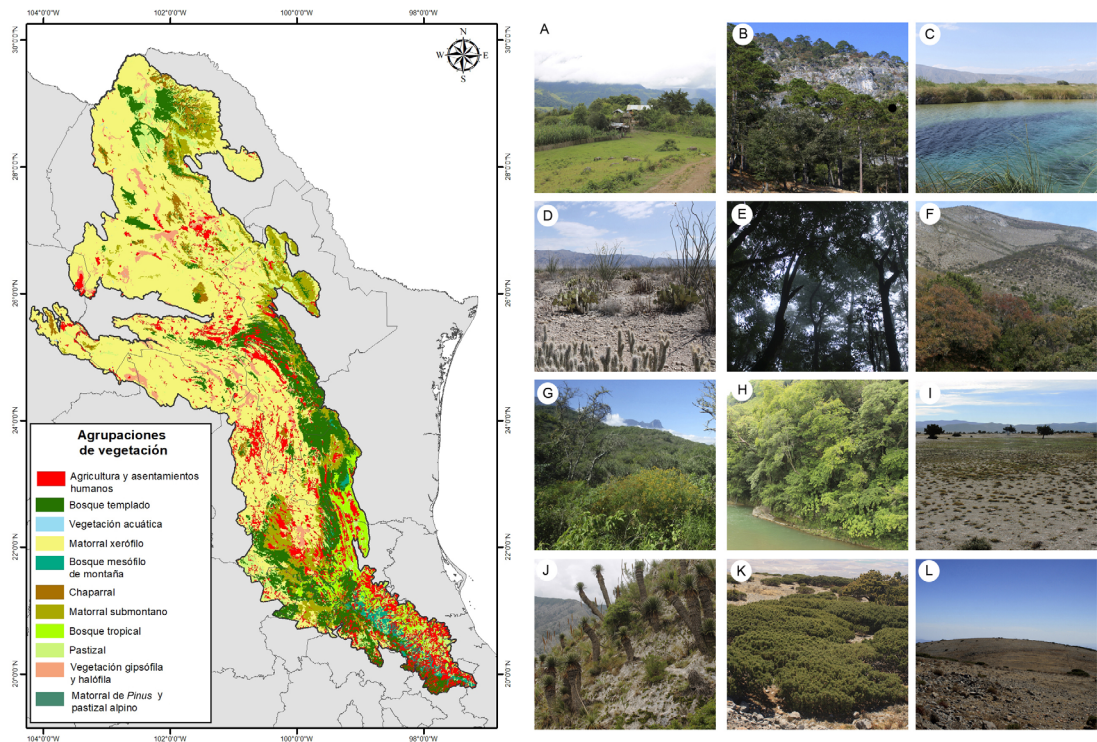
**Figura 1.** Mapa de localización de la Sierra Madre Oriental. 1. Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (Cervantes-Zamora *et al.* 1990, INEGI 2001a, b). 2. Subprovincias Fisiográficas de la Sierra Madre Oriental: A) Serranía del Burro, B) Sierras y Llanuras Coahuilenses, C) Sierra de La Paila, D) Pliegues Saltillo-Parras, E) Sierras Transversales, F) Gran Sierra Plegada, G) Sierras y Llanuras Occidentales, H) Carso Huasteco (INEGI 2001d).

Su clima es complejo ya que posee la mayoría de los tipos climáticos de México que pueden agruparse en cuatro zonas térmicas: a) la cálida con temperaturas de 22 a 26 ° C que se extienden en la vertiente oriental de la sierra y que reciben la influencia directa de los vientos alisios, b) la semi cálida de 18 a 22 ° C que es la región más amplia y se ubica en la vertiente occidental de la sierra, donde predominan las zonas áridas, un máximo de temperatura, altas subtropicales y un régimen pluviométrico muy variable, pero que por lo general las precipitaciones son notablemente menores que en la franja anterior, c) la templada de 12 a 18 ° C que se distribuye de manera fragmentada en las regiones elevadas de las montañas y d) la semi fría de 5 a 12 ° C, únicamente en las cimas de las montañas más



altas donde la principal característica es la predominancia de temperaturas bajas y presencia recurrente de heladas (Hernández & Carrasco 2004).

Las unidades de vegetación propuestas en este trabajo se agrupan de acuerdo con la clasificación de Rzedowski (1978) y la capa de uso de suelo y vegetación del INEGI (2017b) Serie VI (Figura 2, Tabla 1).



**Figura 2.** Agrupaciones de vegetación de la Sierra Madre Oriental basadas en Rzedowski (1978) e INEGI (2017b): A) agricultura y asentamientos humanos, B) bosque templado, C) vegetación acuática, D) matorral xerófilo, E) bosque mesófilo de montaña, F) chaparral, G) matorral submontano, H) bosque tropical, I) pastizal, J) vegetación gipsófila y halófila, K) matorral de *Pinus* y l) pastizal alpino.

**Tabla 1.** Correspondencia en las agrupaciones de la vegetación de la SMO. Se simplifican los tipos de vegetación en agrupaciones, basándonos en Rzedowski (1978) e INEGI (2017b). Serie VI

Agrupación usada en esta investigación	Rzedowski (1978)	INEGI Serie VI (2017b)
Bosque tropical	bosque tropical perennifolio	selva alta perennifolia, selva alta subperennifolia, selva mediana perennifolia, selva baja perennifolia
	bosque subcaducifolio, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso	selva mediana subcaducifolia, selva mediana caducifolia, selva baja subcaducifolia, selva baja caducifolia, selva baja espinosa subperennifolia, selva baja espinosa caducifolia.
Bosque mesófilo de montaña	bosque mesófilo de montaña	bosque mesófilo de montaña
Bosque templado	bosque de <i>Quercus</i> , bosque de coníferas	bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de oyamel, bosque de táscate, bosque de cedro, bosque de ayarín.

Agrupación usada en esta investigación	Rzedowski (1978)	INEGI Serie VI (2017b)
Matorral de <i>Pinus</i> y pastizal alpino	Matorral de <i>Pinus</i>  pastizal	matorral de coníferas  pradera de alta montaña
Pastizal	pastizal	pastizal natural
Matorral xerófilo	matorral xerófilo	matorral crasicaule, matorral desértico rosetófilo, matorral desértico micrófilo, matorral subtropical, mezquital
Chaparral	matorral xerófilo	chaparral
Matorral submontano	matorral xerófilo	matorral submontano
Vegetación acuática	vegetación acuática y sub-acuática	selva de galería, bosque de galería, vegetación de galería
Vegetación gipsófila y halófila	matorral xerófilo  pastizal	vegetación halófila, vegetación gipsófila  pastizal halófilo

*Elaboración del inventario.* Se consideraron las especies de plantas vasculares nativas, endémicas de México y endémicas de la SMOr. Se desarrolló una base de datos a partir de la búsqueda de información digital contenida en herbarios (AAU, ANSM, ARIZ, ASU, BH, CFNL, IBUG, MO, MEXU, NY, QMEX, UAMIZ, TEX) desde las bases de datos en línea, principalmente de Tropicos y Global Biodiversity Information Facility, así como artículos científicos, tesis, listados florísticos regionales, monografías y tratados taxonómicos. La nomenclatura se corroboró con ayuda del International Plant Name Index y Taxonomic Name Resolution Service v4.0. Posteriormente pasó por la revisión de cada grupo con los especialistas y se enlistaron con base en la clasificación de licofitas y helechos de Christenhusz *et al.* (2011) y angiospermas de APG IV (Chase *et al.* 2016).

Al anterior inventario también se añadió la afinidad geográfica actual a la que se relacionan los géneros en a) boreal: elementos de afinidades neárticas y paleárticas (holárticas), b) endémico mexicano: con elementos mexicanos, c) tropical: elementos de afinidades neotropicales, paleotropicales y pantropicales, d) cosmopolita: con elementos que incluyen una amplia distribución en todo el mundo y e) géneros con afinidades geográficas de las zonas áridas de Sudamérica, África y Australia.

## Resultados

*Riqueza taxonómica.* Los resultados obtenidos sirvieron para elaborar un listado con 6,981 especies nativas de México (Tabla S1), con nombres aceptados según IPNI, pertenecientes a 225 familias y 1,521 géneros (Tabla 2). Del total, 543 tienen categorías infra específicas, 214 son subespecies y 329 variedades. Además se registraron nueve híbridos.

Las familias más ricas fueron Asteraceae (1,000 especies), Fabaceae (495 especies), Cactaceae (354), Poaceae (328), Orchidaceae (189), Euphorbiaceae (178), Lamiaceae (176), Solanaceae (174), Malvaceae (160), Rubiaceae (136), Cyperaceae (131), Asparagaceae (117), Acanthaceae (107), Rosaceae (101) y Crassulaceae (101), en la Tabla 3 se muestran más. Las primeras tres familias representarían una cuarta parte de toda la flora de la SMOr con 26 %.

Los géneros con mayor número de especies son *Euphorbia* (93 especies), *Quercus* (84), *Mammillaria* (81), *Salvia* (70), *Solanum* (65), *Dalea* (64), *Carex* (58), *Ipomoea* (55) y *Ageratina* (53) (Tabla 4).

**Tabla 2.** Riqueza de especies de plantas vasculares nativas por grupo taxonómico. Este listado resulta de las especies nativas de México que tienen parte de su distribución dentro de los límites de la SMOr.

Grupo taxonómico	Familias	Géneros	Especies
Helechos y afines	30	77	356
Gymnospermas	6	13	62
Magnólidas	9	22	118
Monocotiledóneas	30	252	1,061
Dicotiledóneas	150	1157	5,384
<b>Total</b>	<b>225</b>	<b>1,521</b>	<b>6,981</b>

**Tabla 3.** Riqueza por familia. Se muestran las 30 familias más ricas en especies de plantas vasculares nativas de la SMOr.

Familia	Especies	Familia	Especies	Familia	Especies
Asteraceae	1,000	Cyperaceae	131	Verbenaceae	86
Fabaceae	495	Asparagaceae	117	Fagaceae	85
Cactaceae	365	Acanthaceae	107	Plantaginaceae	78
Poaceae	328	Rosaceae	101	Bromeliaceae	74
Orchidaceae	189	Crassulaceae	101	Apiaceae	61
Euphorbiaceae	178	Convolvulaceae	99	Polypodiaceae	61
Lamiaceae	176	Pteridaceae	98	Caryophyllaceae	60
Solanaceae	174	Apocynaceae	90	Amaranthaceae	60
Malvaceae	160	Boraginaceae	90	Nyctaginaceae	53
Rubiaceae	136	Brassicaceae	90	Orobanchaceae	52

**Tabla 4.** Riqueza por género. Se muestran los 30 géneros más ricos en especies de plantas vasculares nativas de la SMOr.

Género	Especies	Género	Especies	Género	Especies
<i>Euphorbia</i>	93	<i>Opuntia</i>	43	<i>Nama</i>	33
<i>Quercus</i>	84	<i>Sedum</i>	43	<i>Asclepias</i>	32
<i>Mammillaria</i>	81	<i>Muhlenbergia</i>	42	<i>Cyperus</i>	32
<i>Salvia</i>	70	<i>Tillandsia</i>	41	<i>Echeveria</i>	32
<i>Solanum</i>	65	<i>Agave</i>	40	<i>Lithospermum</i>	32
<i>Dalea</i>	64	<i>Brickellia</i>	40	<i>Senna</i>	32
<i>Carex</i>	58	<i>Echinocereus</i>	37	<i>Desmodium</i>	31
<i>Ipomoea</i>	55	<i>Erigeron</i>	37	<i>Penstemon</i>	31
<i>Ageratina</i>	53	<i>Turbinicarpus</i>	36	<i>Astragalus</i>	30
<i>Verbesina</i>	44	<i>Physalis</i>	35	<i>Stevia</i>	30

**Riqueza de endemismos.** Se registran 1,542 especies endémicas de la provincia fisiográfica de la SMOr en sentido estricto. Las familias con mayor riqueza de endemismos son Asteraceae (328 especies), Cactaceae (193), Fabaceae (94), Lamiaceae (78), Crassulaceae (64) y Asparagaceae (53) que en conjunto suman 810 especies o más del 50 % del total de endemismos de la SMOr.

Los géneros más ricos en especies endémicas son *Mammillaria* (52 especies), *Turbinicarpus* (36), *Sedum* (27), *Salvia* (26), *Erigeron* (25), *Pinguicula* (24), *Agave* (22), *Ageratina* (22), *Echinocereus* (22), *Echeveria* (21), *Dalea* (20) y *Verbesina* (20) (Figura 3).





**Figura 3.** Géneros de plantas vasculares endémicas más diversas de la Sierra Madre Oriental. En orden decreciente de riqueza fue A) *Mammillaria* (52 especies), B) *Turbinicarpus* (36), C) *Sedum* (27), D) *Salvia* (26), E) *Erigeron* (25), F) *Pinguicula* (24), G) *Agave* (22), H) *Ageratina* (22), I) *Echinocereus* (22), J) *Echeveria* (21), K) *Dalea* (20), L) *Verbesina* (20).

Los géneros más ricos en endemismos de la familia Asteraceae son *Acourtia*, *Ageratina*, *Brickellia*, *Cirsium*, *Dahlia*, *Erigeron*, *Flourensia*, *Grindelia*, *Packera*, *Senecio*, *Stevia*, *Thelesperma*, *Verbesina* y *Vernonia* con alrededor de 50 % de las especies. Cinco géneros (*Acourtia*, *Cirsium*, *Dahlia*, *Senecio* y *Verbesina*) tienen especies endémicas distribuidas más al sur de San Luis Potosí, el resto de los géneros más ricos se distribuyen en su mayoría en zonas de clima templado y árido de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Los géneros más ricos en especies en esta zona son *Ageratina*, *Erigeron* y *Verbesina*, distribuidos en suelos calcáreos.

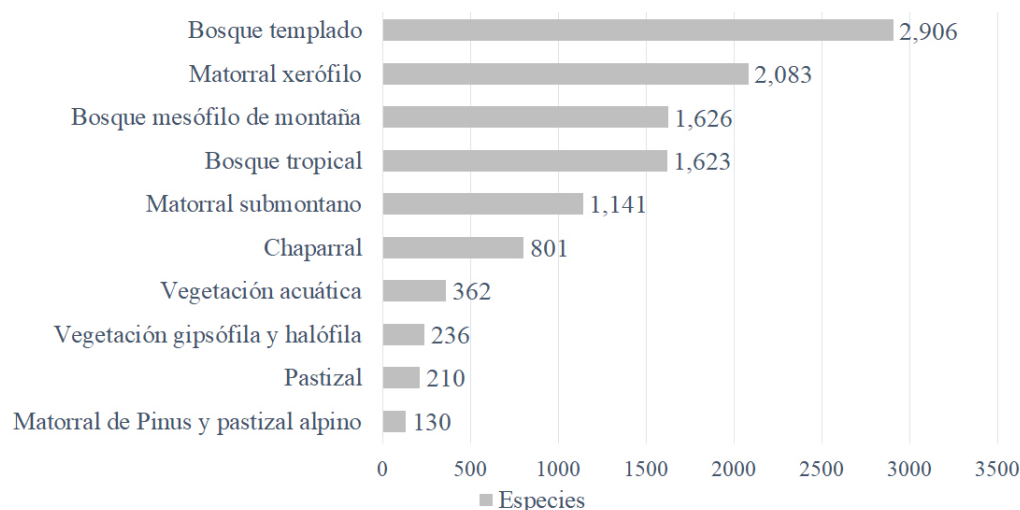


Para la familia Cactaceae, los géneros más ricos en endemismo son *Coryphantha*, *Echinocereus*, *Mammillaria*, *Thelocactus* y *Turbinicarpus* con 134 especies, lo que representa casi 70 % del total, distribuidos principalmente en zonas con fisiografía valles intermontanos, cañones, laderas abruptas y lomeríos de Durango, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo asociados a las zonas de clima árido y agrupaciones de vegetación de matorral xerófilo, así como en bosques templados pero en menor proporción. Las tres especies microendémicas de *Aztekium* se distribuyen únicamente en el estado de Nuevo León, en cañones de paredes de conglomerado yesoso. *Turbinicarpus* es un género endémico de la SMOr y alcanza su mayor riqueza en las sierras de San Luis Potosí (18) y Tamaulipas (13).

Para la familia Fabaceae, cinco géneros (*Astragalus*, *Bauhinia*, *Dalea*, *Lupinus* y *Phaseolus*) representan 58 % de las especies endémicas de esta familia, distribuidas principalmente en la zona norte en los estados de Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas, así como en Guanajuato y Querétaro, y aunque también abarcan zonas del Carso Huasteco en estos dos últimos estados, el 63 % de *Astragalus* y 88 % son de distribución nortea. Por otro lado, las especies endémicas de *Lupinus* habitan los boques de clima frío en la parte alta de las montañas de la Gran Sierra Plegada y el Carso Huasteco, mientras que las de *Phaseolus* habitan bosques templados, mesófilo de montaña e incluso matorral submontano en el estado de Durango.

Para la familia Lamiaceae, los géneros *Hedeoma*, *Salvia*, *Scutellaria* y *Stachys* aglutinan 85 % de las especies endémicas de esta familia en los bosques templados de la Gran Sierra Plegada, Sierras y Llanuras Coahuilenses, Sierras y Llanuras Occidentales y Carso Huasteco. Cabe destacar que el género *Hedeoma* es diverso en la SMOr. En México existen alrededor de 29 especies, de las cuales 72 % (21 especies) están distribuidas en la SMOr y 44 % (13) son endémicas, a excepción de tres especies, todas se distribuyen en Coahuila y Nuevo León. Las especies endémicas de *Salvia* (26) se distribuyen principalmente en sierras de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Querétaro y Guanajuato. Para *Scutellaria*, la mayoría de las especies restringen su distribución a la subprovincia fisiográfica de la Gran Sierra Plegada en Nuevo León y Coahuila.

**Riqueza por agrupación de vegetación.** Las cuatro agrupaciones que registran la mayor cantidad de especies son el bosque templado con 2,906 especies, seguido del matorral xerófilo con 2,083 especies, el bosque mesófilo de montaña con 1,626 especies y el bosque tropical con 1,623 especies (Figura 4).



**Figura 4.** Riqueza de especies de plantas vasculares endémicas de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental por agrupación vegetal en orden decreciente.

*Diversidad por estado.* La riqueza de estados se distribuyó de mayor a menor riqueza como sigue: Querétaro (2,803 especies), Coahuila (2,710), Nuevo León (2,406), Hidalgo (1,851), San Luis Potosí (1,659), Tamaulipas (1,506), Puebla (1,165), Guanajuato (919), Veracruz (686), Zacatecas (438) y Durango (295).

*Afinidad geográfica de los géneros.* El 39 % de los géneros (2,742 especies) pertenecen presentan afinidad geográfica boreal (neártica o paleártica). Después, el 29 % (2,020) presentan distribución geográfica tropical, que incluye al neotrópico, paleotrópico y todas las demás zonas tropicales del planeta. Posteriormente están los géneros con afinidad geográfica endémica de México con un 17 % (1,227), los cosmopolitas con un 12 % (803) y los géneros que comparten su afinidad geográfica con los desiertos de Argentina, Chile, Sudáfrica y Australia con 3 % (189) (Tabla 5).

**Tabla 5.** Afinidad geográfica del género. Se muestra la riqueza de especies por su afinidad geográfica actual. Boreal se refiere a la región holártica y paleártica, tropical al neotrópico y paleotrópico, endemismo mexicano al territorio de México, cosmopolita a todo el mundo y desiertos del mundo a regiones desérticas de Sudamérica, África y Australia.

Afinidad de los géneros	Total de Especies
Boreal	2,742
Tropical	2,020
Endémico mexicano	1,227
Cosmopolita	803
Desiertos del mundo	189

## Discusión

*Riqueza taxonómica.* Para México se estima una riqueza de 24,728 especies de plantas vasculares nativas (incluyendo categorías infra específicas), 297 familias y 2,854 géneros, (Villaseñor 2016, Sosa *et al.* 2018); por lo tanto, la lista presentada en este trabajo de la flora vascular en la SMOr (6,981 especies) constituye alrededor del 28 % de la flora nacional. Las 225 familias representan alrededor del 75 % y los 1,521 géneros el 53 %. Consecuentemente, la provincia fisiográfica de la SMOr alberga casi una tercera parte de la flora mexicana, rebasando ampliamente la cifra estimada por Luna-Vega *et al.* (2004) de alrededor de 2,500 especies para esta región.

*Riqueza por familias.* La repartición de especies por familia sigue la misma tendencia registrada a nivel del país (Rzedowski 1991, Villaseñor 2004, 2016). Sin embargo, la diferencia es que en la SMOr la tercera familia más rica la integra Cactaceae con 365 especies, cuya distribución es transicional hacia el Desierto Chihuahuense (Vázquez-Sánchez *et al.* 2013).

Las plantas de la familia Asteraceae registradas en la SMOr (1,000) representan alrededor del 32 % de la riqueza nacional (3,057), son en su mayoría hierbas anuales o perennes que ocasionalmente pueden formar estructuras leñosas y con porte arbustivo y predominan en todos los tipos de vegetación. Los géneros más ricos son *Ageratina* (53), *Verbesina* (44), *Brickellia* (40), *Erigeron* (37), *Stevia* (30), *Senecio* (29), *Acourtia* (23), *Baccharis* (19), *Pseudognaphalium* (19), *Cirsium* (19), *Roldana* (17), *Dahlia* (16) y *Bidens* (15). Los géneros más ricos de esta familia se distribuyeron también sobre suelos calcáreos (Villaseñor 2018).

La familia Fabaceae en la SMOr representa 26 % de las 1,903 especies de México (Villaseñor 2016). Se distribuyen en vegetación de clima templado y húmedo. Cuatro géneros de Fabaceae: *Dalea* (64 especies), *Senna* (32), *Desmodium* (31) y *Astragalus* (30) representan una tercera parte de la riqueza de la familia. *Dalea* y *Astragalus* se distribuyen principalmente en valles intermontanos de las Sierras y Llanuras Coahuilenses, mientras que otros géneros también altos en riqueza como *Mimosa* (24) y *Phaseolus* (22) se distribuyen en laderas de clima cálido y húmedo en la Gran Sierra Plegada y el Carso Huasteco, lo cual concuerda con resultados de otros autores (Salinas-Rodríguez *et al.* 2017).

La familia Cactaceae se distribuye principalmente en la vertiente seca de la SMOr en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo; en muchos casos en las laderas bajas de la sierra que forman una franja transicional con la región biogeográfica del Desierto Chihuahuense, en donde tiene importantes concentraciones de endemismos asociados a cañones con depósitos edáficos endurecidos provenientes del carbonato de calcio en forma de conglomerados, yesos y caliche. Para esta familia, en México se estima la existencia de alrededor de 677 especies, de las que las de la SMOr representan alrededor del 52 %. Los géneros *Mammillaria* (81 especies), *Opuntia* (42), *Echinocereus* (37), *Coryphantha* (29) y *Turbinicarpus* (36) son los géneros más ricos de esta familia en la zona y representan la tercera parte del total. Varias contribuciones botánicas (Johnston 1943, Hernández & Godínez 1994, Hinton & Hinton 1995, Villarreal-Quintanilla & Encina-Domínguez 2005, Martínez-Avalos & Jurado 2005, Santa Anna-Del Conde *et al.* 2009, Villarreal-Quintanilla & Estrada-Castillón 2008, Rzedowski *et al.* 2012) resaltan que las regiones áridas con vegetación xerófila que se ubican en los valles intermontanos de la SMOr, especialmente en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas, Querétaro e Hidalgo como hábitat de cactáceas que también biogeográficamente pertenecen al Desierto Chihuahuense. Lo anterior se debe a que como mencionan Vázquez-Sánchez *et al.* (2013) y Guerrero *et al.* (2019) la tribu Cactaeae pudo haber tenido su origen en los enclaves de la SMOr hace aproximadamente 15 millones de años y posteriormente se extendieron al Altiplano Norte (Chihuahuense) y Altiplano Sur (Zacatecano - Potosino) y más tarde, el levantamiento de la Sierra Madre Occidental, aumentó la aridez, promoviendo la expansión de la mayoría de las especies suculentas durante la transición del Mioceno - Plioceno. La región de sotavento de la sierra, correspondiente a zonas áridas y semiáridas con fisiografía de valles intermontanos, lomeríos y bajadas con vegetación de matorral xerófilo, pastizal gipsófilo, pastizal halófilo y chaparral comparte una gran cantidad de especies de esta familia con lo que biogeográficamente se denomina Desierto Chihuahuense o altiplano norte y sur, coincidiendo con los resultados de Villaseñor *et al.* (2020).

Otras familias de número importante de especies son Poaceae (328 especies), Orchidaceae (189) y Euphorbiaceae (178). La familia Poaceae en México tiene alrededor de 1,216 especies (Dávila *et al.* 2018) y las especies de la SMOr representan 26 %, se distribuyen en todas las agrupaciones de vegetación y forman pastizales naturales entre las sierras en el valle de Cuatro Ciénegas y el valle de Colombia en el estado de Coahuila, con los géneros *Muhlenbergia* (42 especies), *Bouteloua* (25), *Aristida* (14), *Bromus* (11), *Eragrostis* (11) y *Achnatherum* (7). Al sur de Nuevo León y norte de San Luis Potosí forman pastizales gipsófilos y halófilos con géneros como *Sporobolus* (12 especies), *Digitaria* (7), *Pappophorum* (3) y *Distichlis* (2), así como también pastizales alpinos con géneros como *Muhlenbergia* (3), *Festuca* (2), *Piptochaetium* (2), *Trisetum* (1), *Brachypodium* (1), *Calamagrostis* (1) y *Koeleria* (1) en la cima de las montañas de los Estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. En el estado de Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, los pastizales naturales son mucho más escasos y la mayoría son pastizales inducidos para el ganado, podemos encontrar géneros como *Aristida*, *Bouteloua*, *Eragrostis* y *Muhlenbergia*.

La familia Orchidaceae presenta 189 especies en la SMOr, y 15 % de las 1,213 especies que hay en el país (Hágsater *et al.* 2005). Las condiciones climáticas de los bosques templados de *Quercus* y *Pinus*, chaparrales y matorrales submontanos propician la riqueza de especies de orquídeas terrestres de géneros como *Malaxis* (16 especies), *Corallorhiza* (9), *Schiedeella* (8), *Govenia* (7), *Habenaria* (7), *Bletia* (6), *Hexalectris* (5), *Ponthieva* (5), *Platanthera* (3) y *Tamayorkia* (3); mientras que las altitudes menores a 800 m snm y las condiciones tropicales de barlovento de laderas y cañones con vegetación de bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, bosque tropical subcaducifolio y bosque tropical perennifolio del Carso Huasteco en los estados de San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Veracruz y Puebla, propician la riqueza de epífitas de géneros como *Epidendrum* (11 especies), *Prosthechea* (8), *Trichocentrum* (5), *Encyclia* (4), *Laelia* (4), *Oncidium* (4), *Isochilus* (3), *Lepanthes* (3) y *Lycaste* (2).

La familia Euphorbiaceae en la SMOr también tiene una participación importante en la riqueza y representa alrededor del 25 % de las especies que hay en México (Martínez-Gordillo *et al.* 2002). Su riqueza se ve reflejada en las áreas con vegetación de bosque tropical que incluye bosque tropical caducifolio, bosque tropical subcaducifolio y bosque tropical perennifolio, así como el matorral xerófilo y el matorral submontano. Los géneros más ricos son *Euphorbia* (93 especies), *Croton* (25) y *Acalypha* (16).

**Géneros.** El género más rico de la SMOr es *Euphorbia* (93 especies), género cosmopolita muy variable, representado por plantas por herbáceas que en su mayoría habitan bosques templados y bosques tropicales, aunque también se encuentran en matorrales xerófilos, especialmente en las regiones en transición con zonas de climas secos (Martínez-Gordillo *et al.* 2002).

Después está *Quercus* (84 especies), un género de afinidades boreales que tiene una alta riqueza en México. Es el principal componente del dosel arbóreo de los bosques templados de encino o mixtos con coníferas, así como los chaparrales o también llamados encinares arbustivos de la SMOr (Sabás-Rosales *et al.* 2015, Pérez-Mojica & Valencia-A 2017, Morales-Pacheco *et al.* 2018). De acuerdo con varios autores, este género se ha diversificado ampliamente en las regiones montañosas de México, adaptándose a las condiciones climáticas de cada región, por lo que presenta características distintivas en cada ecosistema que habita (Valencia-A 2004). La mayor riqueza se ubica en los bosques mixtos de *Quercus* y *Pinus*, como por ejemplo *Quercus crassifolia*, *Q. crassipes*, *Q. laceyi*, *Q. laeta* y *Q. laurina*, aunque algunas especies son más afines a agrupaciones de vegetación más húmedas como el bosque mesófilo de montaña donde destacan *Q. affinis*, *Q. castanea*, *Q. germana*, *Q. insignis*, *Q. obtusata*, *Q. rysophylla*, *Q. sartorii* y *Q. xalapensis*, mientras que otros habitan vegetaciones más frías y secas como el chaparral: *Q. arizonica*, *Q. deserticola*, *Q. emory*, *Q. rugosa*, *Q. sideroxyla*, *Q. stratula* y *Q. vaseyana*.

*Mammillaria* (81 especies) es un género de cactáceas para el que se ha propuesto un origen reciente de finales del Mioceno, se cree que se diversificó en las zonas semiáridas del norte de México (Hernández *et al.* 2001, Hernández & Gómez-Hinostrosa 2011, Hernández & Gómez-Hinostrosa 2015), aprovechando la heterogeneidad ambiental que le proporcionó la vertiente occidental de la SMOr en donde ocurre la transición con el Desierto Chihuahuense, con quien comparte numerosos elementos (Villaseñor *et al.* 2020) y en donde se registran altas concentraciones de especies de cactáceas, que muestran afinidad por los ambientes rocosos que facilitan la germinación de sus semillas (Peters *et al.* 2008). Hernández & Gómez-Hinostrosa (2015) mencionan la existencia de seis áreas de alta riqueza del género en México, de las cuales cuatro están dentro de la provincia fisiográfica de la SMOr: a) Jaumave, b) Guadalcázar, c) San Luis Potosí y d) subregión meridional, ésta última región correspondería al desierto Queretano-Hidalgense.

*Salvia* (70 especies) es un género cosmopolita y el más rico de México. Presenta alta diversidad de especies en las áreas templadas y semiáridas, con especies como *Salvia amarissima*, *S. chamaedryoides*, *S. coulteri*, *S. elegans*, *S. jaimenhintoniana*, *S. melissodora*, *S. mexicana*, *S. serpyllifolia*, *S. stachyoides* y *S. urolepis* (Martínez-Gordillo *et al.* 2013) y algunas como *S. buechananii*, *S. carranzae*, *S. calderoniae*, *S. huastecana*, *S. xolocotzi* y *S. zamoranensis* son microendemismos del Carso Huasteco y habitan los bosques templados de las montañas de Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí e Hidalgo.

**Endemismo.** Se calcula que más de 12,900 especies son endémicas de México, o 49-51 % del total de su flora (Rzedowski 1991, Sosa & De-Nova 2012, Villaseñor 2016, Sosa *et al.* 2018), de las cuales 1,542 son exclusivas de la SMOr (13 % de la flora endémica mexicana), pertenecientes a 109 familias y 484 géneros. Además, la SMOr aglomera 1,455 especies endémicas de México y 3,984 especies nativas que se comparten con Estados Unidos y en menor proporción con Centroamérica.

Rzedowski (2015b) menciona 672 especies endémicas exclusivas en la SMOr. En el presente trabajo se registró más del doble; sin embargo, hemos abarcado un área mayor. Concordamos con Rzedowski (2015b) en que la riqueza de familias la comparten Asteraceae, Cactaceae, Lamiaceae y Fabaceae, y las agrupaciones de vegetación más ricas en endemismos son los bosques templados y los matorrales xerófilos.

Sosa *et al.* (2018) mencionan que los bosques de encino y pino en las sierras kársticas de la SMOr son áreas de concentración de endemismos y mezcla de neo y paleo endemismos de México, esto concuerda con nuestros resultados. Los mismos autores destacan que las zonas montañosas de clima tropical son las áreas más importantes para el endemismo filogenético, asociadas a la complejidad topográfica y donde las regiones tropicales y subtropicales se traslapan.

Se registran 18 géneros endémicos para la SMOr de los cuales 11 coinciden con Rzedowski (2015b) y se añaden cuatro más a los señalados por Salinas-Rodríguez *et al.* (2017), así mismo se añaden dos géneros recientemente sepa-



rados de *Turbinicarpus* (Vázquez-Sánchez *et al.* 2019). En orden de riqueza los géneros endémicos son: *Turbinicarpus* (36 especies), *Rapicactus* (6), *Kadenicarpus* (4), *Aztekium* (3), *Mimophytum* (3), *Strombocactus* (3), *Geohintonia*, *Greenmaniella*, *Jaimehintonia*, *Mathiasella*, *Obregonia*, *Pseudonemacladus*, *Rzedowskia*, *Strotheria*, *Velascoa*, *Viereckia*, *Vigethia* y *Villarrealia* (1 especie cada uno).

*Mammillaria* (52 especies), *Turbinicarpus* (36) y *Echinocereus* (22), son géneros especialmente diversos en la confluencia de los estados de Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí (Hernández *et al.* 2001, Hernández & Gómez-Hinostrosa 2011, Vázquez-Sánchez *et al.* 2013, Hernández & Gómez-Hinostrosa 2015, Guerrero *et al.* 2019, Vázquez-Sánchez *et al.* 2019).

*Echeveria* (21 especies) es un género *cuasi* endémico de México mientras que *Sedum* (27) se distribuye en las regiones templadas de todo el planeta; ambos presentan una alta riqueza en México. Son géneros adaptados particularmente a crecer en ambientes rupícolas con sustrato de rocas calizas, en laderas pedregosas, riscos y paredes verticales de la SMOr, en bosques templados, bosques tropicales y matorrales xerófilos con climas estacionales (Pérez-Calix 2008).

*Salvia* (26 especies) se asocia a bosques templados y fríos de coníferas, bosques de encinos y chaparrales, así como a matorrales xerófilos (Martínez-Gordillo *et al.* 2013).

*Erigeron* (25 especies), *Ageratina* (22) y *Verbesina* (20) son géneros americanos de asteráceas de amplia distribución en México, pero la mayor riqueza se concentra en bosques de clima templado y frío del centro del país. Sin embargo, en la SMOr también presentan una alta riqueza de endemismos, muchos de ellos se distribuyen en bosque templado con encinos y vegetación gipsófila, así como matorrales de clima semiárido (Suárez-Mota *et al.* 2017, Villaseñor 2018).

*Pinguicula* (24 especies) es un género de afinidad boreal y presenta su mayor riqueza en México en la SMOr, la estrecha relación entre varias especies, por ejemplo *Pinguicula bustamanta*, *P. lilacina* y *P. takakii*, podría estar indicando diversificación reciente, estimulada probablemente por el aislamiento geográfico de poblaciones derivadas de un ancestro común, después de la última glaciación (Zamudio 2005, Zamudio & Neváres-De los Reyes 2020).

*Agave* (22 especies) es un género considerado joven que se originó hace menos de 7 millones de años (Good-Avila *et al.* 2006, Eguiarte *et al.* 2021) derivado de una diversificación reciente por los cambios climáticos del pasado y asociado a la alta heterogeneidad ambiental y climática. Su diversidad se ubica principalmente en los bosques templados y en matorrales xerófilos, casi siempre sobre lechos rocosos, cuyas poblaciones a menudo crecen en paredes de 90 ° de inclinación (Salinas-Rodríguez *et al.* 2017). El hecho de que sea uno de los géneros con más endemismos de la SMOr concuerda con los hallados por Eguiarte *et al.* (2021) quienes reportan que la diversidad de agaves puede ser alta (más de 20 especies coexistiendo) en algunas áreas dentro de la provincia fisiográfica de la SMOr como porciones de San Luis Potosí y la Barranca de Metztitlán, en Hidalgo.

**Concentración de endemismos.** Casi la mitad de los endemismos se concentra en la Gran Sierra Plegada (45 %) al norte de la SMOr, en los estados de Coahuila (sierra del municipio de Arteaga), Nuevo León (sierras áridas de los municipios de Galeana, Aramberri, Zaragoza, Doctor Arroyo y Mier y Noriega) y Tamaulipas (valles intermontanos y sierras de los municipios de Jaumave, Miquihuana, Palmillas, Bustamante y Tula) (Salinas-Rodríguez *et al.* 2017). Dentro de esta misma Subprovincia Fisiográfica hay concentraciones de especies endémicas alpinas que se ubican en las montañas con mayor elevación como el cerro el Potosí (3,722 m snm), la Viga (3,710 m snm), la Marta (3,685 m snm), San Antonio Peña Nevada (3,550 m snm), el Coahuilón (3,545 m snm) y el Viejo (3,492 m snm) en la agrupación de matorral de *Pinus* y pastizal alpino.

La segunda región con alta riqueza de endemismos es la subprovincia fisiográfica del Carso Huasteco (33 %) al sur de la SMO en los estados de Querétaro, San Luis Potosí e Hidalgo, en zonas de orografía abrupta paisajes kársticos y clima cálido húmedo, con bosques tropicales, bosques templados y un enclave de matorrales xerófilos y matorrales submontanos que se comparten entre Landa de Matamoros en Querétaro y Pacula en Hidalgo (Sosa & De-Nova 2012, Salinas-Rodríguez *et al.* 2017). Las áreas que concentraron la riqueza se ubican en las montañas altas entre

los municipios de Landa de Matamoros en el estado de Querétaro y el municipio de Xilitla en San Luis Potosí, así como los matorrales xerófilos de Querétaro e Hidalgo, que abarcan el Área Natural Protegida Barranca de Metztitlán.

Se registró cierto contraste entre las áreas que concentraron la diversidad y las áreas que concentraron endemismo. Las áreas de alta diversidad, pero con bajo endemismo se ubican en la vertiente de barlovento en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Veracruz y Puebla, en las regiones que abarcan la agrupación de los bosques tropicales con climas cálido-húmedos.

Por el contrario, las áreas de baja diversidad pero alto endemismo se concentran en la vertiente de sotavento en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo, con climas templados y semiáridos y las agrupaciones de matorral xerófilo, chaparral, vegetación gipsófila y halófila, tendencia que no es exclusiva de la SMOr sino de otras áreas montañosas del mundo (Orme *et al.* 2005).

*Diversidad por agrupación de vegetación.* La mayoría de las especies son exclusivas de una agrupación de vegetación o máximo dos (85 %), hecho que denota una alta especificidad por su hábitat como también sugieren otras investigaciones (Rzedowski 1991, Villaseñor 2004, Cruz-Cárdenas *et al.* 2013, Villaseñor 2016). Comparando las agrupaciones vegetales con Villaseñor (2016) la agrupación más rica fue el bosque templado con 2,906 especies, o aproximadamente 50 % de la flora de este ecosistema en México (5,823), seguido del matorral xerófilo con 2,083 especies o 45 % del total para México (4,614). Hay que destacar que ésta última agrupación cubre aproximadamente un 29 % de la vegetación primaria. Aunque abarcan un 0.3 y 3.2 % de la vegetación primaria, las comunidades de bosque mesófilo de montaña y bosque tropical albergan 1,626 y 1,623 especies respectivamente, y el 25 y el 40 % de las especies a nivel país (Luna-Vega *et al.* 2000).

En la SMOr hay dos agrupaciones de vegetación cuasi endémicas. La primera la denominamos matorral submontano siguiendo a Rzedowski (1978), que se caracteriza por ser un matorral del piedemonte de la SMOr que rara vez sobrepasa los 2,000 m snm, con especies con hojas más grandes que las de los matorrales xerófilos micrófilos, con especies adaptadas a climas subtropicales que pierden sus hojas durante la temporada seca del año y que se ubica entre el matorral espinoso tamaulipeco hacia la Llanura Costera del Golfo y los bosques de encino de las laderas más escarpadas de la SMOr, así como en los cañones estrechos y valles intermontanos en las sierras de Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo (Estrada-Castillón *et al.* 2012). Este tipo de vegetación presentó una riqueza de 1,143 especies. La segunda agrupación es un archipiélago de matorrales de *Pinus* compuestos por poblaciones de pino enano (*Pinus culminicola*), endémico de las cimas de las montañas más elevadas de los estados de Nuevo León y Coahuila. Rzedowski (1978) lo nombró matorral de *Pinus* por la intrincada estructura, en esta investigación registramos junto con la pradera alpina, un total de 134 especies, la mayoría endémicas.

En contraste a lo anterior, cabe destacar que más del 56 % de la superficie de la SMOr está ocupada por vegetación secundaria y áreas transformadas por las actividades antropogénicas.

*Diversidad por estado.* La subprovincia fisiográfica del Carso Huasteco formada por la porción sur de la SMOr ubicada en los estados de Querétaro (2,803 especies) (Rzedowski *et al.* 2012), Hidalgo (1,851) (Luna-Vega *et al.* 2000), San Luis Potosí (1,659), Puebla (1,165) y en menor proporción Guanajuato (919) y Veracruz (686) concentra la mayor cantidad de especies. Esto se explica porque aquí se encuentran matorrales xerófilos en la vertiente occidental, bosques templados en las áreas elevadas, bosques tropicales caducifolios en los valles intermontanos y elementos de bosque mesófilo de montaña y de bosque tropical perennifolio en la vertiente oriental de la SMOr (Rzedowski 1963).

La segunda área de alta riqueza es la Subprovincia Fisiográfica denominada Gran Sierra Plegada entre los estados de Coahuila (2,707 especies), Nuevo León (2,402) y Tamaulipas (1,506), también con un amplio gradiente de elevación y a diferencia del Carso Huasteco hay presencia recurrente de heladas. En la vertiente occidental de esta región se encuentran varios tipos de vegetación como: matorral xerófilo, chaparral o encinar arbustivo y vegetación gipsófila y halófila; en las zonas medias se presenta el matorral submontano y en las partes altas de las montañas están los bosques templados, matorral de *Pinus* y pastizal alpino. Además, en esta subprovincia llega el límite bo-

real de los bosques tropicales subperennifolios en la Reserva de la Biosfera el Cielo (Valiente-Banuet *et al.* 1995). Cabe mencionar que la presencia de cañones es común en estos estados y han servido como refugio para las especies endémicas (Hinton & Hinton 1995, Villarreal-Quintanilla & Encina-Domínguez 2005, Villarreal-Quintanilla & Estrada-Castillón 2008, Estrada-Castillón *et al.* 2012).

Las áreas con menor riqueza de especies se ubican en los valles contiguos a la vertiente de sotavento, en los estados de Zacatecas (438) y Durango (295), aquí la SMOr tiene poca extensión sobre la subprovincia de las Sierras Transversales, donde la sombra orográfica y el efecto de la continentalidad propician condiciones de aridez y un amplio intervalo termal diario.

*Afinidad de los géneros.* De acuerdo con nuestros resultados, los géneros con distribución geográfica boreal se encuentran en las áreas de mayor elevación de las montañas, en donde predominan climas templados con lluvias estacionales y presencia recurrente de heladas (Hernández & Carrasco 2004, Suárez-Mota *et al.* 2017). Están ligados al bosque templado, chaparral, matorral de *Pinus* y pastizal alpino. En este grupo predominan géneros como *Alnus*, *Amelanchier*, *Arctostaphylos*, *Berberis*, *Carya*, *Cupressus*, *Heuchera*, *Juglans*, *Juniperus*, *Penstemon*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Quercus*, *Ramunculus*, *Taxus*, *Vaccinium* y *Viola*, algunos de ellos con distribución que se extiende hasta las zonas subtropicales y templadas de África, China y Eurasia (Contreras-Medina *et al.* 2004, Villarreal-Quintanilla *et al.* 2009, García-Aranda *et al.* 2012).

Los géneros con distribución geográfica tropical se ubican en la vertiente oriental de la sierra, en la zona de influencia de los vientos alisios húmedos provenientes del Golfo de México, con climas cálido-húmedos y templado-húmedos (Hernández & Carrasco 2004, Suárez-Mota *et al.* 2017), con influencia continua de neblinas en las zonas medias de las montañas, geomorfología compleja con sierras, cañones, así como relieves kársticos como sótanos, mogotes calizos, dolinas, lapiares, uvalas y poljes, éstos cuatro últimos localmente denominados “hoyas” que son valles aislados entre las montañas (Clements *et al.* 2006, Li *et al.* 2013, Feng *et al.* 2020). En este grupo se observa un aumento en los géneros de afinidad neotropical, pantropical, incluyendo algunas otras de distribución antillana, africana y asiática, así como una mezcla de especies boreales en la franja de bosques mesófilos de montaña, con riqueza de especies pertenecientes a géneros como *Annona*, *Bauhinia*, *Begonia*, *Ceratozamia*, *Citharexylum*, *Desmodium*, *Dioscorea*, *Elaphoglossum*, *Ficus*, *Heliconia*, *Leucaena*, *Magnolia*, *Mimosa*, *Peperomia*, *Psychotria*, *Senna* y *Vachellia* (Rzedowski 1996, Luna-Vega *et al.* 2000, Luna-Vega *et al.* 2001, Espinosa *et al.* 2004, Morrone 2005, Morrone *et al.* 2017, Villaseñor *et al.* 2020).

El elemento endémico mexicano con géneros como *Agave*, *Ariocarpus*, *Coryphantha*, *Cylindropuntia*, *Dasyli- rion*, *Echeveria*, *Echinocereus*, *Hechtia*, *Hunnebmanna*, *Kadenicarpus*, *Leucophyllum*, *Mammillaria*, *Pachyphytum*, *Perymenium*, *Rapicactus*, *Thelocactus*, *Turbinicarpus*, *Vauquelinia*, *Yucca* y *Zaluzania*, se ubican principalmente en la vertiente de sotavento, con geoformas de valles intermontanos, cañones, mesetas y lomeríos ondulados, con clima árido y vegetación de chaparral, matorral xerófilo, pastizal, vegetación gipsófila y halófila, pero también está muy presente en los bosques tropicales caducifolios y en las áreas transicionales a los encinares (Santa Anna-Del Conde *et al.* 2009, Ruíz-Sánchez *et al.* 2012). El hecho anterior concuerda con lo encontrado por Villaseñor *et al.* (2020) en donde muchos de los linajes endémicos en la SMOr se compartieron estrechamente con los del Desierto Chihuahuense, denominado por ellos como Altiplano Norte y Altiplano Sur.

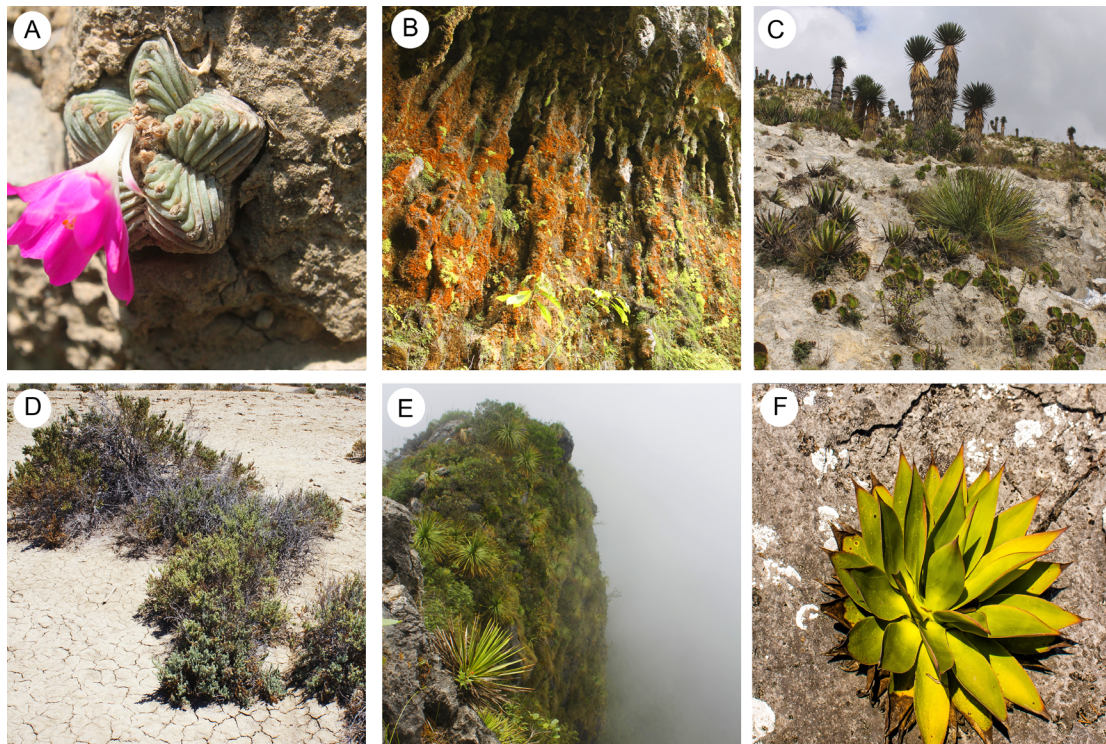
Los representantes de los géneros cosmopolitas se encuentran dispersos en todas las agrupaciones vegetales, pero especialmente en los bosques templados, matorrales xerófilos y áreas ribereñas de los principales ríos de la SMOr, incluyendo la vegetación acuática (Bonilla-Barbosa 2004). Destacan géneros como *Abutilon*, *Argemone*, *Aristida*, *Asclepias*, *Asplenium*, *Azolla*, *Carex*, *Cyperus*, *Eleocharis*, *Erigeron*, *Euphorbia*, *Juncus*, *Ipomoea*, *Lemna*, *Plantago*, *Portulaca*, *Potamogeton*, *Selaginella*, *Schoenoplectus*, *Solanum* y *Utricularia*.

Los géneros relacionados con el bioma global de los desiertos fue el menos rico, se distribuye principalmente en los matorrales de los lomeríos de Coahuila, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo, cuyos representantes se comparten con los desiertos de Sudamérica, Australia y Sudáfrica, destacando géneros como *Al- lionia*, *Bahia*, *Bouchetia*, *Carlowrightia*, *Castela*, *Chamaesaracha*, *Condalia*, *Cryptantha*, *Erioneuron*, *Fagonia*,

*Flourensia*, *Gutierrezia*, *Halimalobos*, *Hermannia*, *Ipomopsis*, *Larrea*, *Malvella*, *Menodora*, *Nama*, *Parkinsonia*, *Thymophylla* y *Tiquila* (Rzedowski 1973, Morrone 2005).

Nuestros resultados concuerdan con los de Villaseñor *et al.* (2020) quienes encontraron que la mayor parte de la Zona de Transición Mexicana, presenta géneros de afinidad neártica, seguida de la neotropical y finalmente la propia de esta región transicional, además de otra superficie más pequeña dentro de su polígono de la SMOr que tienen afinidades entremezcladas entre la neártica y la neotropical. Los mismos autores señalan que para su polígono de la SMOr existen 240 géneros de afinidad neártica y 142 de afinidad neotropical.

**Heterogeneidad fisiográfica.** Diversos autores señalan que la heterogeneidad topográfica favorece la biodiversidad en las montañas del mundo (Ricklefs 1977, Richerson & Lum 1980, Burnett *et al.* 1998, Nichols *et al.* 1998, Badgley *et al.* 2017), ya que funciona como generadora de nuevos hábitats (Hoorn *et al.* 2013, Antonelli 2015, Zizka & Antonelli *et al.* 2018, Rahbek *et al.* 2019, Perrigo *et al.* 2020) y puede propiciar la diversificación de las especies. La SMOr comprende paisajes kársticos que generan micro hábitats (Clements *et al.* 2006, Li *et al.* 2013, Feng *et al.* 2020), que ha propiciado la evolución de géneros de hábitos rupícolas, como: *Agave*, *Brahea*, *Dasylirion*, *Dioon*, *Echeveria*, *Eucnide*, *Eutetras*, *Hechtia*, *Mammillaria*, *Nolina*, *Pinguicula*, *Sedum*, *Tillandsia*, *Verbesina* y *Villadia*, en donde además se han generado múltiples mezclas edáficas que favorecen la diversificación (Figura 5) (During & Willems 1984, Brooks 1987, Van Santen & Linder 2020, Moreno *et al.* 2020). Estos hábitats son también importantes para grupos que ante la escasez de nutrientes presentan hábitos insectívoros, como *Pinguicula* adaptada a suelos calcáreos y yesosos, con escurrimientos de agua o con presencia de líquenes (Zamudio *et al.* 2019), así como el caso de *Atriplex*, *Aztekium*, *Ephedra*, *Gaillardia*, *Geohintonia*, *Helianthella*, *Hemiphyllacus*, *Hunnemannia*, *Mammillaria*,



**Figura 5.** Las rocas de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental son en su mayoría de origen sedimentario, lo que ha dado lugar a variados sustratos y geoformas que han permitido el crecimiento de los siguientes endemismos: A) conglomerados con *Aztekium valdezii*, B) calizas con escurrideros de agua y asociados a líquenes con *Pinguicula simulans*, C) yesos, localmente llamados calichales con *Geohintonia mexicana* y *Aztekium hintonii*, D) salinas con *Suaeda palmeri*, E) paredes kársticas que permanecen con niebla gran parte del año con *Nolina robusta*, F) sótanos kársticos con *Agave muxii*.



*Marshalljhonstonia*, *Menodora*, *Nama*, *Perymenium*, *Selaginella*, *Strotheria*, *Suaeda*, *Thelesperma* y *Xylotamnina*, muchas de ellas asociadas a suelos calichosos. Aunque la “hipótesis de geobiodiversidad” especula que el levantamiento orogénico, la heterogeneidad del relieve y la diversidad edafológica podrían ser los precursores fundamentales de la riqueza de plantas vasculares, al menos en la cordillera del Himalaya (Mosbrugger *et al.* 2018), otros estudios (Muellner-Riehl *et al.* 2019) han confirmado que la geodiversidad, sumada a factores bióticos contemporáneos y a las fluctuaciones climáticas modernas e históricas, han sido precursores de la biodiversidad.

*Diversidad climática.* Los procesos orogénicos que formaron la provincia fisiográfica de la SMOr (Eguiluz-De Antuñaño *et al.* 2000, Fitz-Díaz *et al.* 2018) originaron un ensamble de cinturones termales que la biota ha ido ocupando. Tomando como referencia a Körner *et al.* (2011), y el hecho de que en la SMOr existe un gradiente altitudinal superior a los 2,800 m snm, en ésta se presentan cinco de los siete cinturones termales que de menor a mayor elevación son: remanente montano sin congelación, remanente montano con congelación, montano inferior, montano superior y alpino inferior (están ausentes el cinturón alpino superior y el cinturón nival), estos se unifican en todas las montañas del mundo a partir de la “línea de árboles” que en la SMOr se ubica aproximadamente a los 3,600 m snm y es el límite entre el cinturón montano superior y el alpino inferior. Consecuentemente, a muy grandes rasgos la flora de la SMOr se distribuiría de la siguiente manera: plantas de afinidad tropical en el cinturón remanente montano sin congelación, especies de afinidad endémica y boreal en el cinturón remanente montano con congelación y cinturón montano inferior y plantas de afinidad exclusivamente boreal en el cinturón montano superior y alpino inferior. Su posición frente a los vientos alisios húmedos crea el efecto de sombra orográfica. Plantas adaptadas a climas lluviosos e isotermales se ensamblan en la vertiente oriental, mientras que especies pertenecientes a los desiertos se distribuyen en la vertiente occidental. Además, hay una diferencia en la radiación que recibe la vertiente norte con respecto a la sur; mientras que la norte es más húmeda y fresca, la sur es más soleada y seca, teniendo un efecto similar en otras regiones montañosas del planeta (Kutzbach *et al.* 1993, Raupach & Finnigan, 1997, Bennie *et al.* 2008, Lembrechts *et al.* 2019).

*La SMOr como refugio ante cambios climáticos.* Su posición latitudinal y orografía accidentada han sido importantes ante las fluctuaciones climáticas que ha experimentado esta parte del territorio mexicano (Flores-Villela & Goyenchea 2001), como por ejemplo durante el último glacial tardío, cuando las precipitaciones fueron más intensas y permitieron la presencia de bosques en zonas que ahora están ocupadas por matorrales de clima árido (Roy *et al.* 2020). Especies de climas húmedos pudieron refugiarse en el bosque mesófilo de montaña ante la creciente aridez durante el último máximo glacial (Ramírez-Barahona & Eguiarte 2013). Los bosques pleistocénicos de las lagunas de lo que ahora es el bolsón de Mapimí, adyacente a la vertiente occidental de la SMOr, fueron refugio de especies de bosque de climas templados e incluso actualmente registramos elementos de distribución boreal como los géneros *Draba*, *Picea* y *Pseudotsuga*, aislados en la cima de las montañas o en áreas proclives a nevadas (Van Devender & Burgess 1985).

La Provincia Fisiográfica de la SMOr alberga más de la cuarta parte de la diversidad de plantas del territorio mexicano y una séptima parte de los endemismos del país. Su antigüedad, aunada a su complejo arreglo geológico y topográfico, propició la generación de nuevos hábitats y zonas de transición de biotas con una mezcla de afinidades destacando dos regiones: la septentrional y la meridional, como mencionan Espinosa *et al.* (2004), donde la mayoría de sus géneros son de distribución boreal, seguida de los de distribución tropical y finalmente los endémicos.

La vertiente occidental ha fungido como cuna de diversificación para ciertos géneros pertenecientes al elemento endémico mexicano que posteriormente migraron al Desierto Chihuahuense, sus áreas elevadas como áreas de distribución de elementos boreales y la vertiente oriental ha servido como refugio de géneros de afinidad tropical (Luna-Vega *et al.* 2001).

Las cifras de la riqueza florística de la SMOR presentadas en este manuscrito son preliminares, y con seguridad se incrementarán en la medida que se aumente el esfuerzo de recolecta en áreas remotas y de topografía complicada.

## Material suplementario

El material suplementario de este artículo puede ser consultado aquí: <https://doi.org/10.17129/botsci.2864>

## Agradecimientos

Al M.C. J. Cruzado por todo el apoyo brindado para desarrollar esta investigación desde el 2008 al 2018. Al Dr. J. González por la revisión de la familia Lamiaceae, a la Dra. S. González por la revisión de las familias Cyperaceae y Ericaceae, a la Dra. M. Martínez por la revisión de la familia Solanaceae y las plantas acuáticas, y a todos los colegas botánicos que amablemente aportaron sus correcciones, ideas, consejos, pero sobre todo su tiempo a esta investigación.

## Literatura citada

- Álvarez Jr M. 1961. Provincias fisiográficas de la República Mexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* **24**: 5-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1961v24n2a1>
- Antonelli A. 2015. Multiple origins of mountain life. *Nature* **524**: 300-301. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature14645>
- Antonelli A, Kissling WD, Flantua SG, Bermúdez MA, Mulch A, Muellner-Riehl AN, Kreft H, Linter HP, Badgley C, Fjeldså J, Fritz SA, Rahbek C, Herman F, Hooghiemstra H, Hoorn C. 2018. Geological and climatic influences on mountain biodiversity. *Nature Geoscience* **11**: 718-725. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0236-z>
- Badgley C, Smiley TM, Terry R, Davis EB, DeSantis LR, Fox DL, Hopkins S, Jezkova T, Matocq M, Matzke N, McGuire JL, Mulch A, Riddle B, Roth VL, Samuels JX, Strömber CAE, Yanites BJ. 2017. Biodiversity and topographic complexity: modern and geohistorical perspectives. *Trends in Ecology & Evolution* **32**: 211-226. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.010>
- Bennie J, Huntley B, Wiltshire A, Hill MO, Baxter R. 2008. Slope, aspect and climate: spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling* **216**: 47-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.04.010>
- Bonilla-Barbosa JR. 2004. Flora acuática vascular. In: Luna-Vega I, Morrone J, Espinosa D. eds. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 149-159. ISBN: 970-32-1526-2
- Brooks R. 1987. *Serpentine and its vegetation: a multidisciplinary approach*. Vol. 1: Ecology, Phytogeography & Physiology Series. Washington, DC: National Agricultural Library, 1-454. ISBN: 0931146046
- Burnett MR, August PV, Brown JH, Killingbeck KT. 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity I. A patch-scale perspective. *Conservation Biology* **12**: 363-370. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.96238.x>
- Casas-Andreu G, Reyna-Trujillo T. 1990. Herpetofauna (anfibios y reptiles). Mapa IV.8.6. *Atlas Nacional de México*. Vol. 3. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. [http://www.igeograf.unam.mx/Geodig/nvo\\_atlas/index.html/](http://www.igeograf.unam.mx/Geodig/nvo_atlas/index.html/) (accessed February 20, 2021)
- Cervantes-Zamora Y, Cornejo-Olguín SL, Lucero-Márquez R, Espinoza-Rodríguez JM, Miranda-Viquez E, Pineda-Velázquez A. 1990. Clasificación de Regiones Naturales de México. *Atlas Nacional de México*. Vol. I. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. [http://www.igeograf.unam.mx/Geodig/nvo\\_atlas/index.html/](http://www.igeograf.unam.mx/Geodig/nvo_atlas/index.html/) (accessed February 20, 2021).
- Chase MW, Christenhusz MJM, Fay MF, Byng JW, Judd WS, Soltis DE, Mabberley DJ, Sennikov AN, Soltis PS, Stevens PF. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* **181**: 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- CONABIO. 2008. Ecorregiones terrestres de México. 2008. *Catálogo de metadatos geográficos*. Escala 1:1000000. CONABIO. México, DF. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (consultada en febrero del 2020)

- Christenhusz MJ, Reveal JL, Farjon A, Gardner MF, Mill RR, Chase MW. 2011. A new classification and linear sequence of extant gymnosperms. *Phytotaxa* **19**: 55-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.19.1.3>
- Clements R, Sodhi NS, Schilthuizen M, Ng, PK. 2006. Limestone karsts of Southeast Asia: imperiled arks of biodiversity. *Bioscience* **56**: 733-742. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[733:LKOSAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[733:LKOSAI]2.0.CO;2)
- Contreras-Medina R, Castañeda-Aguado D, González-Zamora A. 2004. Gimnospermas. En: Luna-Vega I, Morrone J, Espinosa D. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. 137-148. ISBN: 970-32-1526-2
- Cruz-Cárdenas G, Villaseñor JL, López-Mata L, Ortiz E. 2013. Distribución espacial de la riqueza de especies de plantas vasculares en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **84**: 1189-1199. DOI: <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.31811>
- Dávila P, Mejia-Saulés M, Soriano-Martínez AM, Herrera-Arrieta Y. 2018. Conocimiento taxonómico de la familia Poaceae en México. *Botanical Sciences* **96**: 462-514. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1894>
- During HJ, Willems JH. 1984. Diversity models applied to a chalk grassland. *Vegetatio* **57**: 103-114. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00047305>
- Eguiarte LE, Jiménez Barrón OA, Aguirre-Planter E, Scheinvar E, Gámez N, Gasca-Pineda J, Castellanos-Morales G, Moreno-Letelier A, Souza V. 2021. Evolutionary ecology of Agave: distribution patterns, phylogeny, and coevolution (an homage to Howard S. Gentry). *American Journal of Botany* **108**: 216-235. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajb2.1609>
- Eguiluz-De Antuñano SE, Aranda García M, Marrett R. 2000. Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* **53**: 1-26. DOI: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2000v53n1a1>
- Espinosa D, Aguilar C, Ocegueda S. 2004. Identidad biogeográfica de la Sierra Madre Oriental y posibles subdivisiones bióticas. In: Luna-Vega I, Morrone J, Espinosa D. eds. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. 487-500. ISBN: 970-32-1526-2
- Estrada-Castillón EA, Villarreal-Quintanilla JA, Jurado-Ybarra E, Cantú-Ayala C, García-Aranda MA, Sánchez-Salas J, Pando-Moreno M. 2012. Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México. *Botanical Sciences* **90**: 37-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.384>
- Feng C, Wang J, Wu L, Kong H, Yang L, Feng Ch, Wang K, Rausher M, Kang M. 2020. The genome of a cave plant, *Primulina huaijiensis*, provides insights into adaptation to limestone karst habitats. *New Phytologist* **227**: 1249-1263. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16588>
- Ferrusquía-Villafranca I. 1990. Regionalización biogeográfica. Mapa IV.8.10. *Atlas Nacional de México*. Vol. 1. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. [http://www.igeograf.unam.mx/Geodig/nvo\\_atlas/index.html/](http://www.igeograf.unam.mx/Geodig/nvo_atlas/index.html/) (accessed February, 2020).
- Fitz-Díaz E, Lawton TF, Juárez-Arriaga E, Chávez-Cabello G. 2018. The Cretaceous-Paleogene Mexican orogen: Structure, basin development, magmatism and tectonics. *Earth-Science Reviews* **183**: 56-84. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.002>
- Flores-Villela O, Goyenechea I. 2001. A comparison of hypotheses of historical area relationships for Mexico and Central America, or in search for the lost pattern. In: Johnson J, Webb R, Flores-Villela O, eds. *Mesoamerican Herpetology: Systematics, Zoogeography, and Conservation*. 2001. El Paso, Texas: University of Texas. 171-181. ISBN: 79968-0533
- García-Aranda MA, Cantú-Ayala C, Estrada-Castillón E, Pando-Moreno M, Moreno-Talamantes A. 2012. Distribución actual y potencial de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* **6**: 587-598.
- Good-Avila SV, Souza V, Gaut BS, Eguiarte LE. 2006. Timing and rate of speciation in Agave (Agavaceae). *Proceedings of the National Academy of Sciences* **103**: 9124-9129. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0603312103>
- Gray M. 2004. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0-470-84896-0.
- Guerrero PC, Majure LC, Cornejo-Romero A, Hernández-Hernández T. 2019. Phylogenetic relationships and evolutionary trends in the Cactus family. *Journal of Heredity* **11**: 4-21. DOI: <https://doi.org/10.1093/jhered/esy064>

- Hágsater E, Soto-Arenas MA, Salazar CGA, Jiménez RM, López RMA, Dressler RL. 2005. *Las orquídeas de México*. Ciudad de México: Instituto Chinoín. ISBN: 9789697889078
- Harrison S, Safford H, Wakabayashi J. 2004. Does the age of exposure of serpentine explain variation in endemic plant diversity in California? *International Geology Review* **46**: 235-242. DOI: <http://dx.doi.org/10.2747/0020-6814.46.3.235>
- Hernández HM, Bárcenas RT. 1995. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. *Conservation Biology* **9**: 1176-1188.
- Hernández HM, Godínez H. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botanica Mexicana* **26**: 33-52. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm26.1994.690>
- Hernández HM, Gómez-Hinostrosa C. 2011. Areas of endemism of Cactaceae and the effectiveness of the protected area network in the Chihuahuan Desert. *Oryx* **45**: 191-200. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0030605310001079>
- Hernández HM, Gómez-Hinostrosa C. 2015. *Mapping the cacti of Mexico. Part II: Mammillaria*. Ciudad de México: México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. ISBN: 978-0-9933113-1-4
- Hernández HM, Gómez-Hinostrosa C, Bárcenas RT. 2001. Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hot-spot in the Chihuahuan Desert. *Biodiversity & Conservation* **10**: 1097-1112. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016606216041>
- Hernández M, Carrasco G. 2004. Climatología. In: Luna-Vega I, Morrone J, Espinosa D. eds. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. 63-108. ISBN: 970-32-1526-2
- Hinton J, Hinton G. 1995. Checklist of Hinton's collections of the flora of south-central Nuevo Leon and adjacent Coahuila. *Acta Botanica Mexicana* **30**: 41-112. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm30.1995.732>
- Hjort J, Gordon JE, Gray M, Hunter Jr, ML. 2015. Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Conservation Biology* **29**: 630-639. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/cobi.12510>
- Hobohm C, Janišová M, Steinbauer M, Landi S, Field R, Vanderplank S, Beierkuhnlein C, Grytnes JA, Vetaas OR, Fidelis A, De Nascimento L, Clark VR, Fernández-Palacios JM, Franklin S, Guarino R, Huang J, Krestiv P, Ma K, Onipchenko V, Palmer M, Fragomeni M, Stolz , Chiarucci A. 2019. Global endemics-area relationships of vascular plants. *Perspectives in Ecology and Conservation* **17**: 41-49. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2019.04.002>
- Hoorn C, Mosbrugger V, Mulch A, Antonelli A. 2013. Biodiversity from mountain building. *Nature Geoscience* **6**: 154. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1742>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. 2001a. *Diccionario de datos fisiográficos (vectorial) escala 1: 1 000 000*. Aguascalientes, México: Sistema Nacional de Información Geográfica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. pp. 41. ISBN: 70-13-3264-4
- INEGI. 2001b. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575> (accessed May, 2021).
- INEGI. 2001c. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Sistema topoformas. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267582> (accessed May, 2021).
- INEGI. 2001d. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Subprovincias fisiográficas. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267599> (accessed May, 2021).
- INEGI. 2017a. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> (accessed March, 2020).
- INEGI. 2017b. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Aguascalientes, México: Continuo Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459> (consultado en marzo del 2020)
- Johnston IM. 1943. Plants of Coahuila, eastern Chihuahua, and adjoining Zacatecas and Durango, II. *Journal of the Arnold Arboretum* **24**: 375-421.



- Körner C. 2000. Why are there global gradients in species richness? Mountains might hold the answer. *Trends in Ecology and Evolution* **15**: 513-514. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)02004-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(00)02004-8)
- Körner C. 2004. Mountain biodiversity, its causes and function. *Ambio* **13**: 11-17. DOI: <https://doi.org/10.1007/0044-7447-33.sp13.11>
- Körner C, Paulsen J, Spehn EM. 2011. A definition of mountains and their bioclimatic belts for global comparisons of biodiversity data. *Alpine Botany* **121**: 73. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00035-011-0094-4>
- Körner C, Spehn EM. eds. 2019. *Mountain biodiversity: a global assessment*. Vol. 7. London, England: Routledge Library Editions. ISBN: 1842140914
- Kruckeberg AR. 2004. *Geology and plant life: the effects of landforms and rock types on plants*. Seattle, USA: University of Washington Press. ISBN: 0-295-98452-X
- Kutzbach JE, Prell WL, Ruddiman W F. 1993. Sensitivity of Eurasian climate to surface uplift of the Tibetan Plateau. *The Journal of Geology* **101**: 177-190. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/648215>
- Lembrechts JJ, Nijs I, Lenoir J. 2019. Incorporating microclimate into species distribution models. *Ecography* **42**: 1267-1279. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ecog.03947>
- Li C, Xiong K, Wu G. 2013. Process of biodiversity research of karst areas in China. *Acta Ecologica Sinica* **33**: 192-200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.05.005>
- Lugo-Hubp J. 1990. El relieve de la República Mexicana. *Revista del Instituto de Geología* **9**: 82-111.
- Luna-Vega I, Alcántara O, Morrone J, Espinosa D. 2000. Track analysis and conservation priorities in the cloud forest of Hidalgo, México. *Diversity and distributions* **6**: 137-143. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00079.x>
- Luna-Vega I, Morrone J, Ayala O, Espinosa-Organista D. 2001. Biogeographical affinities among Neotropical cloud forests. *Plant Systematics and Evolution* **228**: 229-239. DOI: <https://doi.org/10.1007/s006060170031>
- Luna-Vega I, Morrone J, Espinosa D. 2004. *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. 527 ISBN: 970-32-1526-2
- Mason HL. 1946. The edaphic factor in narrow endemism. II. The geographic occurrence of plants of highly restricted patterns of distribution. *Madroño* **8**: 241-257. DOI: <https://www.jstor.org/stable/41423438>
- Martínez-Avalos JG, Jurado E. 2005. Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas Mexico. *Biodiversity & Conservation* **14**: 2483-2506. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-004-0217-y>
- Martínez-Gordillo M, Jiménez-Ramírez J, Cruz-Durán R, Juárez-Arriaga E, García R, Cervantes A, Mejía-Hernández R. 2002. *Los géneros de la familia Euphorbiaceae en México*. Anales del Instituto de Biología, serie Botánica. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. 155-281. ISSN: 0185-254X
- Martínez-Gordillo M, Fragoso-Martínez I, García-Peña M, Montiel O. 2013. Géneros de Lamiaceae de México, diversidad y endemismo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **84**: 30-86. DOI: <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.30158>
- Meyer SE., García-Moya E, Lagunes-Espinoza LDC. 1992. Topographic and soil surface effects on gypsophile plant community patterns in central Mexico. *Journal of Vegetation Science* **3**: 429-438. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.1992.tb00353.x>
- Mittermeier RA. 2004. *Hotspots revisited*. Ciudad de México: México: Cementos de México. ISBN 10: 9686397582.
- Morales-Pacheco JF, Camara-Artigas R, Requena-Lara GN, Lara-Villalon M, García-Morales LJ. 2018. Patrón de distribución espacial de especies de *Quercus* y formaciones de encinos en Tamaulipas (México). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* **79**: 1-31. DOI: <https://doi.org/10.21138/bage.2489>
- Moreno J, Alonso MA, Juan A. 2020. Functional diversity turnover in the western Mediterranean saltmarshes: Effects of edaphic features and biotic processes on the plant functional structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **235**: 106572. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106572>
- Morrone JJ. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **76**: 207-252. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2005.002.303>
- Morrone JJ, Escalante T, Rodríguez-Tapia G. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa* **4277**: 277-279. DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Mosbrugger V, Favre A, Muellner-Riehl AN, Päckert M, Mulch A. 2018. Cenozoic evolution of geo-biodiversity in the Tibeto-Himalayan region. In: Hoorn C, Perrigo A, Antonelli A. eds. 2018. *Mountains, Climate and Biodiversity*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons. 429-448. ISBN: 978-1-119-15987-2

- Muellner-Riehl AN, Schnitzler J, Kissling WD, Mosbrugger V, Rijsdijk KF, Seijmonsbergen AC, Versteegh H, Favre A. 2019. Origins of global mountain plant biodiversity: Testing the ‘mountain-geobiodiversity hypothesis’. *Journal of Biogeography* **46**: 2826-2838. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jbi.13715>
- Mutke J, Barthlott W. 2005. Patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. *Biologische Skrifter* **55**: 521-531.
- Nichols WF, Killingbeck KT, August PV. 1998. The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity II. A landscape perspective. *Conservation Biology* **12**: 371-379. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.96237.x>
- Orme CDL, Davies RG, Burgess M, Eigenbrod F, Pickup N, Olson VA, Webster AJ, Ding TS, Rasmussen PC, Ridgely RS, Stattersfield AJ, Bennett PM, Blackburn TM, Gaston KJ, Owens IP. 2005. Global hotspots of species richness are not congruent with endemism or threat. *Nature* **436**: 1016-1019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature03850>
- Payne D, Spehn EM, Snethlage M, Fischer M. 2017. Opportunities for research on mountain biodiversity under global change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **29**: 40-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.11.001>
- Pérez-Calix E. 2008. *Familia Crassulaceae*. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo 156. Pátzcuaro, México: Instituto de Ecología AC. ISBN 970-709-098-7
- Pérez-Mojica E, Valencia-A S. 2017. Estudio preliminar del género *Quercus* (Fagaceae) en Tamaulipas, México. *Acta Botanica Mexicana* **120**: 59-111. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm120.2017.1264>
- Perrigo A, Hoorn C, Antonelli A. 2020. Why mountains matter for biodiversity. *Journal of Biogeography* **47**: 315-325. <http://dx.doi.org/10.1111/jbi.13731>
- Peters EM, Martorell C, Ezcurra E. 2008. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments* **72**: 593-601. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.10.004>
- Phipps JB. 1997. Monograph of northern Mexican Crataegus (Rosaceae, subfam. Maloideae). *Sida Botanical Miscellany* **15**: 94 pp. ISSN 0833-1475
- Rahbek C, Borregaard MK, Antonelli A, Colwell RK, Holt BG, Nogues-Bravo D, Ramussen CM, Richardson K, Rosing MT, Whittaker RJ, Fjeldså J. 2019. Building mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes. *Science* **365**: 1114-1119. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.aax0151>
- Ramírez J, Castro A. 1990. Provincias mastofaunísticas Escala 1: 4 000 000 Mapa IV.8.8A. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (accessed February, 2020)
- Ramírez-Barahona S, Eguiarte LE. 2013. The role of glacial cycles in promoting genetic diversity in the Neotropics: the case of cloud forests during the Last Glacial Maximum. *Ecology and Evolution* **3**: 725-738. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.483>
- Raupach MR, Finnigan JJ. 1997. The influence of topography on meteorological variables and surface-atmosphere interactions. *Journal of Hydrology* **190**: 182-213. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03127-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03127-7)
- Richerson PJ, Lum KI. 1980. Patterns of plant species diversity in California: relation to weather and topography. *The American Naturalist* **116**: 504-536. DOI: <https://doi.org/10.1086/283645>
- Ricklefs RE. 1977. Environmental heterogeneity and plant species diversity: a hypothesis. *The American Naturalist* **111**: 376-381. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/283169>
- Roy PD, Vera-Vera G, Sánchez-Zavala JL, Shanahan TM, Quiroz-Jiménez JD, Curtis JH, Girón-García P, Lemus-Neri V, Muthusankar G. 2020. Depositional histories of vegetation and rainfall intensity in Sierra Madre Oriental Mountains (northeast Mexico) since the late Last Glacial. *Global and Planetary Change* **187**: 103136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103136>
- Ruíz-Sánchez E, Rodríguez-Gómez F, Sosa V. 2012. Refugia and geographic barriers of populations of the desert poppy, *Hunnemannia fumariifolia* (Papaveraceae). *Organisms Diversity & Evolution* **12**: 133-143. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13127-012-0089-z>

- Rzedowski J. 1963. El extremo boreal del bosque tropical siempre verde en Norteamérica continental. *Vegetatio* **11**: 173-198. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00298831>
- Rzedowski J. 1973. Geographical relationships of the flora of Mexican dry regions. In: Graham A. ed. *Vegetation and vegetational history of northern Latin America*. Ohio, USA: Department of Biological Sciences. pp. 61-72. ISBN: 0444410562
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*: México: Editorial Limusa. ISBN: 9681800028.
- Rzedowski J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botanica Mexicana* **14**: 3-21. <http://dx.doi.org/10.21829/abm14.1991.611>
- Rzedowski J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botanica Mexicana* **35**: 25-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm35.1996.955>
- Rzedowski, J. 2015a. Catálogo preliminar de las especies de árboles silvestres de la Sierra Madre Oriental. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo complementario **XXX**: 1-375. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.171.2015.XXX>
- Rzedowski J. 2015b. Catálogo preliminar de plantas vasculares de distribución restringida a la Sierra Madre Oriental. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo complementario **XXXI**: 1-36. DOI: <https://doi.org/10.21829/fb.172.2015.XXXI>
- Rzedowski J, Calderón de Rzedowski G, Zamudio S. 2012. La flora vascular endémica en el estado de Querétaro. I. Análisis numéricos preliminares y definición de áreas de concentración de las especies de distribución restringida. *Acta Botanica Mexicana* **99**: 91-104. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm99.2012.21>
- Sabás-Rosales JL, Sosa-Ramírez J, Luna-Ruiz JDJ. 2015. Diversidad, distribución y caracterización básica del hábitat de los encinos (*Quercus*: Fagaceae) del estado de San Luis Potosí, México. *Botanical Sciences* **93**: 881-897. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.205>
- Salinas-Rodríguez MM, Estrada-Castillón E, Villarreal-Quintanilla JA. 2017. Endemic vascular plants of the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Phytotaxa* **328**: 1-52. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.328.1.1>
- Salinas-Rodríguez MM, Sajama MJ, Gutiérrez-Ortega JS, Ortega-Baes P, Estrada-Castillón AE. 2018. Identification of endemic vascular plant species hotspots and the effectiveness of the protected areas for their conservation in Sierra Madre Oriental, Mexico. *Journal for Nature Conservation* **46**: 6-27. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2018.08.012>
- Sanginés-Franco C, Luna-Vega I, Alcántara-Ayala OA, Contreras-Medina R. 2011. Distributional patterns and biogeographic analysis of ferns in the Sierra Madre Oriental, Mexico. *American Fern Journal* **101**: 81-104. DOI: <http://dx.doi.org/10.1640/0002-8444-101.2.81>
- Santa Anna-Del Conde Juárez H, Contreras-Medina R, Luna-Vega I. 2009. Biogeographic analysis of endemic cacti of the Sierra Madre Oriental, México. *Biological Journal of the Linnean Society* **97**: 373-389. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01212.x>
- Silveira FA, Barbosa M, Beiroz W, Callisto M, Macedo DR, Cerdeira Morellato LP, Neves F, Nunes Y, Solar R, Fernandes GW. 2019. Tropical mountains as natural laboratories to study global changes: a long-term ecological research project in a megadiverse biodiversity hotspot. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **38**: 64-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2019.04.001>
- Sosa V, De-Nova JA. 2012. Linajes de angiospermas endémicas en México: zonas de alto endemismo para la conservación. *Acta Botanica Mexicana* **100**: 293-316. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm100.2012.38>
- Sosa V, De-Nova JA, 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: <http://dx.doi.org/10.1111/jse.12416>
- Suárez-Mota ME, Villaseñor JL, López-Mata L. 2017. Dominios climáticos de la Sierra Madre Oriental y su relación con la diversidad florística. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **88**: 224-233. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.020>
- Valencia-A S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Botanical Sciences* **75**: 33-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.1692>

- Valiente-Banuet AV, Medrano FG, Dalmau DP. 1995. La vegetación selvática de la región de Gómez Farías, Tamaulipas, México. *Acta Botanica Mexicana* **33**: 1-36. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm33.1995.751>
- Van Devender TR, Burgess TL. 1985. Late Pleistocene woodlands in the Bolson de Mapimi: a refugium for the Chihuahuan Desert Biota? *Quaternary Research* **24**: 346-353. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0033-5894\(85\)90056-0](http://dx.doi.org/10.1016/0033-5894(85)90056-0)
- Van Santen M, Linder HP. 2020. The assembly of the Cape flora is consistent with an edaphic rather than climatic filter. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **142**: 106645. DOI: [10.1016/j.ympev.2019.106645](https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106645)
- Vázquez-Sánchez M, Terrazas T, Arias S, Ochoterena H. 2013. Molecular phylogeny, origin and taxonomic implications of the tribe Cactaceae (Cactaceae). *Systematics and Biodiversity* **11**: 103-116. DOI: <https://doi.org/10.1080/14772000.2013.775191>
- Vázquez-Sánchez M, Sánchez D, Terrazas T, De La Rosa-Tilapa A, Arias S. 2019. Polyphyly of the iconic cactus genus *Turbinicarpus* (Cactaceae) and its generic circumscription. *Botanical Journal of the Linnean Society* **190**: 405-420. DOI: <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz027>
- Villarreal-Quintanilla JA, Encina-Domínguez JA. 2005. Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botanica Mexicana* **70**: 1-46. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm70.2005.986>
- Villarreal-Quintanilla JA, Estrada-Castillón EA. 2008. *Listados florísticos de México. XX. Flora de Nuevo León*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 153 pp. ISBN: 978-607-2-00057-5
- Villarreal-Quintanilla JA, Mares-Arreola O, Cornejo-Oviedo E, Capó-Arteaga MA. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. *Acta Botanica Mexicana* **89**: 87-124. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm89.2009.308>
- Villaseñor JL. 2004. Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Botanical Sciences* **75**: 105-135. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.1694>
- Villaseñor JL. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **87**: 559-902. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Villaseñor JL. 2018. Diversidad y distribución de la familia Asteraceae en México. *Botanical Sciences* **96**: 332-358. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.1872>
- Villaseñor JL, Ortiz E, Delgadillo-Moya C, Juárez D. 2020. The breadth of the Mexican Transition Zone as defined by its flowering plant generic flora. *Plos one* **15**: e0235267. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235267>
- Zamudio S. 2005. Dos especies nuevas de *Pinguicula* (Lentibulariaceae) de la Sierra Madre Oriental, México. *Acta Botanica Mexicana* **70**: 69-83. DOI: <http://dx.doi.org/10.21829/abm70.2005.988>
- Zamudio S, Neváres-De los Reyes. 2020. Una nueva especie de *Pinguicula* (Lentibulariaceae) de Nuevo León, México. *Phytoneuron* **28**: 1-10. ISSN 2153 733X
- Zamudio S, Salinas-Rodríguez MM, Quirino-Olvera R, Hernández-Rendón J. 2019. *Pinguicula simulans*, a new species from Nuevo León, México. *Phytotaxa* **424**: 49-55. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.424.1.4>
- Zhirnova DF, Belokopytova LV, Barabantsova AE, Babushkina EA, Vaganov EA. 2020. ¿What prevails in climatic response of *Pinus sylvestris* in-between its range limits in mountains: slope aspect or elevation? *International Journal of Biometeorology* **64**: 333-344. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-019-01811-0>
- Zizka A, Antonelli A. 2018. Mountains of diversity. *Nature* **555**: 173-174. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-018-02062-6>

**Associate editor:** Salvador Arias

**Contribución de los autores:** MMSR investigación, manuscrito; LHS manuscrito, Asparagaceae; PCR manuscrito, Crassulaceae; HACG Moraceae, Malvaceae, Begoniaceae; ACC Campanulaceae, Coreopsidae, Poliantheae; AEEC y TNSM Fabaceae; DSFM Cupressaceae, Pinaceae, Melastomataceae; INGE Bromeliaceae; MGE Cactaceae; JSGE y GRM Zamiaceae; JHR y SZR Lentibulariaceae, GML Iridaceae; JADN Burseraceae, Fouquieriaceae; JPOB Berberidaceae, Papaveraceae, *Leucophyllum*, ERS Poaceae; CSS Asteraceae; RSQ Orchidaceae, VS Euphorbiaceae, Phyllanthaceae; Urticaceae; SVA Fagaceae.