



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales



Flora acuática de la Sierra Madre Oriental, México

Tesis Individual

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en Biología

Presenta:

Manuel Alejandro Navarrete Ledesma

Dirigido por:

Dra. María Magdalena Salinas Rodríguez

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Abril 2021
México



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales



Flora acuática de la Sierra Madre Oriental, México

Tesis Individual

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Licenciado en Biología

Presenta:

Manuel Alejandro Navarrete Ledesma

Dirigido por:

Dra. María Magdalena Salinas Rodríguez

Directora

Dra. Mahinda Martínez y Díaz de Salas

Asesora

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Asesor

Dr. Victor Werner Steinmann

Asesor

Dr. Arturo Mora Olivo

Asesor

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Abril 2021
México

RESUMEN

Las plantas acuáticas estrictas son un grupo de plantas poco estudiado, sobre todo en preferencias ambientales. La provincia de la Sierra Madre Oriental (SMOr) es una cadena montañosa que se caracteriza por su relieve accidentado y heterogéneo una mezcla de gradientes altitudinales y una variada combinación de ecosistemas.

Los escasos trabajos sobre la flora acuática estricta en la SMOr hacen que se generen las preguntas de ¿Qué factores ambientales estarán relacionados a su establecimiento y distribución?, ¿Cómo es su riqueza y diversidad? y ¿Cómo sería su distribución potencial? Con base en la literatura se generó un inventario de la flora vascular estrictamente acuática presente en la SMOr. Usando el portal de GBIF y las colecciones digitales de diversos herbarios se obtuvieron datos georreferenciados de las especies. Empleando los softwares QGis y DivaGis se modeló la distribución actual, la riqueza, diversidad (Shannon y Simpson) y la distribución potencial utilizando datos de Worldclim. A partir de las características ambientales (vegetación, suelos, altitud, clima y precipitación) de las cuencas hidrológicas y de cada especie, se realizó un análisis de Similitud de Sørensen con el software Multi Variate Statistical Package y se analizó la similitud de las cuencas por las especies compartidas en cada una.

Se registran 99 especies en la provincia. La mayor riqueza y diversidad se presenta al sur de la SMOr en el estado de Hidalgo. El modelado de nicho diferenció dos áreas, una al norte (en el estado de Coahuila) y otra al sur (Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí y Tamaulipas), siendo la última la más importante. Los análisis de similitud arrojan grupos que al ser comparados reflejan una relación entre las especies y sus características ambientales. Algunas especies son de amplia preferencia ambiental, mientras que otras son más específicas para su establecimiento.

Este es el primer estudio fitogeográfico de plantas acuáticas a nivel de provincia fisiográfica. Se recomiendan realizar más estudios fitogeográficos de este tipo con la flora acuática, aumentar datos georreferenciados y promover su conservación.

Palabras claves: Fitogeografía, riqueza, diversidad, modelo de nicho, conservación, cuencas hidrológicas, regiones hídricas.

SUMMARY

Strict aquatic plants are a group of plants little studied, especially in environmental preferences. The province of the Sierra Madre Oriental (SMOr) is a mountain chain that is characterized by its rugged and heterogeneous relief, a mixture of altitudinal gradients and a varied combination of ecosystems.

The few studies on strict aquatic flora in the SMOr raise the questions of What environmental factors will be related to its establishment and distribution? How is its richness and diversity? And what would its potential distribution look like?

Based on the literature, an inventory of the strictly aquatic vascular flora present in the SMOr was generated. Using the GBIF portal and the digital collections of various herbaria, georeferenced data of the species were obtained. Using the QGis and DivaGis software, the current distribution, richness, diversity (Shannon and Simpson) and potential distribution were modeled using Worldclim data. Based on the environmental characteristics (vegetation, soils, altitude, climate and precipitation) of the hydrological basins and of each species, a Sørensen Similarity analysis was carried out with the Multi Variate Statistical Package software and the similarity of the basins was analyzed by the shared species in each.

99 species are registered in the province. The greatest richness and diversity occurs south of the SMOr in the state of Hidalgo. The niche modeling differentiated two areas, one to the north (in the state of Coahuila) and another to the south (Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí and Tamaulipas), the last being the most important. Similarity analyzes show groups that, when compared, reflect a relationship between species and their environmental characteristics. Some species are broadly environmentally preferred, while others are more specific to their establishment.

This is the first phytogeographic study of aquatic plants at the level of physiographic province. It is recommended to carry out more phytogeographic studies of this type with the aquatic flora, increase georeferenced data and promote their conservation.

Keywords: Phytogeography, richness, diversity, niche model, conservation, hydrological basins, hydric regions.

A mis padres que, sin su gran esfuerzo,
yo no habría llegado a donde estoy ahorita.
A mis hermanas que, sin su compañía, ni su ayuda,
no hubiera avanzado con todos mis retos.

Esta tesis y mis logros son para mi familia.



AGRADECIMIENTOS

A mi directora, la Dra. María Magdalena Salinas Rodríguez por su confianza en mí, y permitirme trabajar con el tema y el área de investigación que me apasiona. Además, por su apoyo, conocimientos, amistad y momentos que me ha brindado. A mis asesores, la Dra. Mahinda Martínez, el Dr. Luis Hernández, el Dr. Victor Steinmann y el Dr. Arturo Mora, que me aceptaron y apoyaron en este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Facultad de Ciencias Naturales por brindarme sus instalaciones, material y a los profesores que me educaron. A los miembros del laboratorio de botánica, que lograron en mí, un amor por la botánica y la investigación. A la Dra. Mahinda, la Dra. Olga Gómez Nucamendi y al Dr. Luis que me permitieron trabajar en investigaciones y eventos.

A la Dra. Patricia Herrera Paniagua, que me enseñó lo hermoso de la botánica y de la biogeografía, quien fue la primera en tenerme confianza y desde inicios de la carrera, me abrió las puertas y me introdujo al mundo del laboratorio de botánica, por su amistad, consejos y confianza que fueron el pilar de todo esto.

A mi generación. A Fatima, Ale, Roger, Juano, Tere, Jenni, Nancy, George, Jona, mis queridos amigos, por su tiempo, compañía, consejos, regaños, risas, ayuda y un sinfín de cosas. A mis mejores amigas que me apoyaron en la distancia, Lupita, Gaby, Dany, Paola.

A mis hermanas Ari Navarrete que me ayudó con la ilustración de las clasificaciones de la flora acuática y Leti Navarrete, que me ayudó con Excel y Word. Mis padres, por su inversión en mi educación, salidas y proyectos. A mi familia de Costa Rica y mi amigo de allá, Camilo.

Alexandra Elbakyan por crear Sci-hub y permitirme tener acceso a los artículos para esta investigación.

Dirección General de Bibliotecas UAQ



ÍNDICE

I INTRODUCCIÓN	12
II ANTECEDENTES.....	15
2.1 <i>Concepto de la flora acuática.....</i>	15
2.2 <i>Trabajos de la flora acuática en México.....</i>	16
2.3 <i>Regionalización de la Sierra Madre Oriental.....</i>	18
2.3.1 <i>Fitogeografía en la Sierra Madre Oriental</i>	20
2.3.2 <i>Trabajos de plantas acuáticas en la Sierra Madre Oriental.....</i>	21
2.4 <i>Importancia de los ecosistemas acuáticos.....</i>	22
2.5 <i>Análisis de riqueza y diversidad.....</i>	24
2.5.1 <i>Diversidad y riqueza de la flora acuática.....</i>	26
2.6 <i>Uso de datos georreferenciados</i>	28
III JUSTIFICACIÓN	32
IV HIPÓTESIS	33
V OBJETIVOS.....	33
5.1 <i>General.....</i>	33
5.2 <i>Particulares.....</i>	33
VI MÉTODO.....	34
6.1 <i>Área de estudio.....</i>	34
6.1.1 <i>Fisiografía</i>	37
6.1.2 <i>Geología</i>	40
6.1.3 <i>Edafología.....</i>	41
6.1.4 <i>Clima.....</i>	43
6.1.5 <i>Isoyetas.....</i>	45
6.1.6 <i>Hidrografía</i>	45
6.1.7 <i>Tipos de vegetación y uso de suelo.....</i>	57
6.2 <i>Análisis.....</i>	60

6.2.1	Bases de datos	60
6.2.2	Minería de datos	62
6.2.3	Purificación de datos.....	63
6.2.4	Modelado y análisis.....	63
VII	RESULTADOS.....	67
7.1	<i>Especies estrictamente acuáticas</i>	67
7.2	<i>Datos georreferenciados</i>	70
7.2.1	Riqueza por estado	72
7.2.2	Riqueza por región y cuenca hídrica.....	73
7.2.3	Especies endémicas	74
7.2.4	Preferencia climática.....	76
7.2.5	Preferencia edafológica	77
7.2.6	Preferencia por tipo de vegetación y uso de suelo	77
7.2.7	Preferencia altitudinal.....	78
7.3	<i>Modelos de riqueza, diversidad y nicho ecológico</i>	79
7.3.1	Riqueza.....	79
7.3.2	Diversidad.....	82
7.3.2.1	Por cuencas hidrológicas	82
7.3.2.2	Diversidad por cuadrantes	86
7.3.3	Modelo de nicho ecológico.....	89
7.4	<i>Coefficiente de similitud</i>	92
7.4.1	Cuencas y sus características ambientales	92
7.4.2	Cuencas y la presencia de especies.....	98
7.4.3	Especies y las características ambientales.....	103
VIII	DISCUSIÓN.....	110
8.1	<i>Especies acuáticas estrictas</i>	110
8.2	<i>Inventario y datos georreferenciados</i>	112
8.3	<i>Factores bióticos</i>	113
8.3.1	Vegetación	113

8.4	<i>Factores bióticos</i>	116
8.4.1	Clima y precipitación.....	116
8.4.2	Edafología.....	118
8.4.3	Relieve geográfico.....	118
8.4.4	Altitud.....	119
8.4.5	Latitud.....	121
8.5	<i>Riqueza y diversidad</i>	122
8.6	<i>Modelo de nicho</i>	124
8.7	<i>Índices de similitud</i>	127
8.8	<i>Conservación</i>	127
IX CONCLUSIONES		132
X REFERENCIAS		137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Plantas acuáticas	12
Figura 2.	Importancia de la Sierra Madre Oriental	14
Figura 3.	Origen de la Sierra Madre Oriental	19
Figura 4.	Provincias fisiográficas en México.	35
Figura 5.	Modelo de elevaciones	36
Figura 6.	La Sierra Madre Oriental como área de estudio	37
Figura 7.	Subprovincias de la Sierra Madre Oriental.....	38
Figura 8.	Sistemas de cuevas de la subprovincia del Carso Huasteco.....	40
Figura 9.	Tipos de suelos	42
Figura 10.	Tipos de climas	44
Figura 11.	Rango de precipitación	46
Figura 12.	Regiones hidrológicas de la Sierra Madre Oriental.....	47
Figura 13.	Cuencas hidrológicas.....	48
	<i>Figura 13a. Microcuencas de la Región Bravo-Conchos</i>	<i>49</i>
	<i>Figura 13b. Microcuencas de la Región Mapimí.....</i>	<i>50</i>
	<i>Figura 13c. Microcuencas de la Región Nazas-Aguanaval.....</i>	<i>51</i>
	<i>Figura 13d. Microcuencas de la Región El Salado</i>	<i>52</i>
	<i>Figura 13e. Microcuencas de la Región San Fernando-Soto La Marina.....</i>	<i>53</i>
	<i>Figura 13f. Microcuencas de la Región Pánuco.....</i>	<i>54</i>
	<i>Figura 13g. Microcuencas de la Región Norte de Veracruz.....</i>	<i>55</i>
Figura 14.	Tipos de desembocadura de las cuencas.....	56
Figura 15.	Efecto de sombra orográfica	57
Figura 16.	Clasificación de los tipos de vegetación y uso de suelos.....	58
Figura 17.	Matorral desértico micrófilo en Cuatro Ciénegas, Coah.....	59
Figura 18.	Clasificación de las formas de vida de la flora acuática estricta	61
Figura 19.	Número de especies por familia.....	68
Figura 20.	Número de especies por género	69
Figura 21.	Porcentaje de especies según las formas vida	70
Figura 22.	Distribución actual de las especies acuáticas estrictas.....	71

Figura 23.	Número de especies por estado	72
Figura 24.	Número de especies por región hídrica	73
Figura 25.	Número de especies por cuenca hidrológica	74
Figura 26.	Distribución actual de las especies acuáticas endémicas.....	75
Figura 27.	Número de especies por tipos de climas	76
Figura 28.	Número de especies por tipos de suelos.....	77
Figura 29.	Número de especies por tipos de vegetación y uso de suelo	78
Figura 30.	Número de especies por nivel altitudinal.....	79
Figura 31.	Riqueza de la flora acuática estricta	80
Figura 32.	Diversidad de Shannon por cuencas hidrológicas	83
Figura 33.	Diversidad de Simpson por cuencas hidrológicas.....	85
Figura 34.	Diversidad de Shannon por celda-grilla	87
Figura 35.	Diversidad de Simpson por celda-grilla.....	88
Figura 36.	Modelo de nicho ecológico.....	90
Figura 37.	Coefficiente de Sørensen de las cuencas y su ambiente.....	93
Figura 38.	Representación geográfica d de las cuencas y su ambiente	94
Figura 39.	Coefficiente de Sørensen de las cuencas y las especies	99
Figura 40.	Representación geográfica de las cuencas y las especies	100
Figura 41.	Coefficiente de Sørensen de las especies y su ambiente.....	104
Figura 42.	Bosque ripario y su relación con las superficies inundadas	115
Figura 43.	Corrientes de agua de los sistemas montañosos	125
Figura 44.	Áreas protegidas y sitios RAMSAR de la Sierra Madre Oriental	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las variantes de WorldClim.....	65
Tabla 2. Diversidad de las cuencas hidrológicas	84
Tabla 3. Valores del Coeficiente de Similitud de las cuencas y su ambiente.....	95
Tabla 4. Valores del Coeficiente de Similitud de las cuencas y las especies	100
Tabla 5. Valores del Coeficiente de Similitud de las especies y su ambiente.....	105

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Inventario de flora acuática estricta de la SMOr	159
Apéndice 2. Características ambientales de la vegetación acuática estricta.....	163
Apéndice 3. Características ambientales de las cuencas hidrológicas.....	174

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de los tipos de climas.....	180
Anexo 2. Clasificación de los tipos de vegetación.....	181

I INTRODUCCIÓN

El término "plantas acuáticas" se refiere a las plantas que dependen del agua en todo su ciclo de vida (Lot *et al.*, 2015; Dalton *et al.*, 1983). Consecuentemente la vegetación acuática crece en ambientes que son denominados como "islas", debido a que su hábitat está rodeado de una superficie que limita su dispersión (Santamaría, 2002) (figura 1).



Figura 1. Plantas adaptadas a vivir en condiciones saturadas en agua. Izquierda: *Nymphaea* sp. Derecha: *Hydrocotyle verticillata* e *Hydrocharis* sp.

Se tiene documentado que las plantas acuáticas se usan con fines ornamentales y artesanales aprovechando las fibras naturales. Se ha registrado su uso con fines de forraje, de forma medicinal, como aceites, vitaminas, productos químicos de varios usos, entre otras (Lobato-De Magalhães, 2018; Arredondo *et al.*, 2015; Bonilla-Barbosa y Figueroa, 2011; Bonilla-Barbosa, 2007, 2004, 1994; Hernández *et al.*, 1991; Novelo y Lot, 1988).

Las plantas acuáticas son un grupo con poca representación en los herbarios, al no ser recolectadas tan abundantemente (Bonilla-Barbosa, 2004; Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995; Lot *et al.*, 1986), además sus registros virtuales son escasos e incompletos. Este problema se debe a la dificultad de recolectar algunas especies de plantas acuáticas o a la dificultad de exploración en estos ambientes (Lot, 2015; Lot *et al.*, 1986). La determinación de plantas acuáticas estrictas y subacuáticas es

complicada principalmente por las formas de vida tan diversas que se manifiestan y contrastan entre un ambiente acuático y uno terrestre (Lot, 2015, 2012).

Para promover planes o estrategias hacia la conservación, es necesario implicar un constante monitoreo y manejo de los sistemas acuáticos, sobre todo, donde existan especies amenazadas o endémicas (Sánchez *et al.*, 2007; Bonilla-Barbosa, 2004). La pérdida de la flora acuática en distintas localidades ha aumentado drásticamente (Bonilla-Barbosa *et al.*, 2000). Por ejemplo, se ha dado a conocer la desaparición de comunidades de *Nuphar advena* en el municipio de Parás, Nuevo León, por la desecación natural de cuerpos de agua (Velazco-Macías *et al.*, 2008). Otra especie que ha desaparecido en tres localidades de Nuevo León es *Nymphaea ampla* por la desecación intencional de los cuerpos de agua (Velazco-Macías *et al.*, 2008). Martínez y García (2001) reportan que *Eichhornia crassipes* ha desplazado las especies *Echinochloa oplismenoides*, *Eleocharis macrostachya*, *Leptochloa fascicularis*, *Marsilea mollis*, *Sagittaria latifolia*, *Schoenoplectus californicus* y *Potamogeton diversifolius*, de la presa de La Llave en San Juan del Río, Querétaro. Además, que algunos cuerpos de agua están en riesgo de desaparecer por la cercanía a los poblados y el uso que se les dan como aguajes para los animales (Martínez y García, 2001). Sin embargo, aunque son escasos sus estudios, han permitido dar a conocer la problemática de sus localidades, su falta de divulgación, colecta y conocimiento (Sánchez *et al.*, 2007; Bonilla-Barbosa *et al.*, 2000).

La provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental (SMOr) se ha destacado por su gran diversidad biológica asociada a su relieve, sus recursos naturales aprovechables y la captación de agua (Estrada-Castillón *et al.*, 2013) (figura 2). Los ambientes acuáticos presentes en la SMOr, se ven beneficiados por el mosaico climático que genera una gran diversidad de ecosistemas afines al agua, y que a su vez están relacionados con la dinámica geológica y geomorfológica, propiciando

cambios en la composición de la riqueza y diversidad (Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995 citado en Bonilla-Barbosa, 2004).



Figura 2. Una de las importancias de la Sierra Madre Oriental es la captación de agua y el aprovechamiento de sus recursos naturales. Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamps.

Entender los patrones de la distribución de las plantas acuáticas de la SMOr y su relación con las características ambientales, permiten generar o identificar áreas de endemismos con importancia para la conservación y buen manejo de los ecosistemas acuáticos. La presencia o ausencia de alguna especie de planta acuática han sido usadas como bioindicadora de la calidad del agua o del ecosistema acuático. Debido a que, son pocos los trabajos que se han llevado a cabo con plantas acuáticas en sistemas montañosos, se considerada en generar la pregunta de investigación de: ¿Cómo es que las plantas acuáticas se relacionan a factores abióticos como el relieve, clima, tipo de vegetación y suelo, de la SMOr? De esta manera la presente investigación nos permitirá entender mejor sus patrones de distribución con base en sus relaciones bióticas y abióticas. Al final se generará información importante para desarrollar mejores estrategias de manejo y conservación para un gremio florístico tan ignorado e importante.

II ANTECEDENTES

2.1 Concepto de la flora acuática

Se sugiere que el término de “hidrófita” se dio a conocer en el año de 1822 en un reporte de la geografía de plantas (Schouw, 1822 citado en Tiner, 1991). El prefijo "hidro" hace mención de la capacidad de vivir o predominar un ambiente con agua (Tiner, 1991). Mientras que, el concepto de hidrófita se refiere a las plantas que se adaptan a vivir en el agua o en suelos periódicamente saturados de ella. Esta vegetación puede presentar plasticidad o adaptaciones ecológicas amplias a ambientes húmedos, además de diferencias morfológicas, fisiológicas y genéticas (Tiner, 1991).

El concepto de acuático o subacuático es complicado de precisar por los organismos que habitan entre el medio acuático y el medio terrestre (Lot *et al.*, 2015). Los trabajos que tratan de discutir los aspectos de la vegetación acuática y ambientes inundables, deben de considerar la composición florística, elementos estructurales y fisonómicos (Lot *et al.*, 2015). Conforme el nivel de agua disminuye, la composición de la flora gradualmente cambia, a tal nivel que hay una combinación entre lo terrestre y acuático, hecho que también dificulta su identificación (Tiner, 1991).

Las plantas acuáticas se han clasificado por las adaptaciones de las formas de vida con base en su relación y establecimiento en la zonificación y sucesión de los humedales. Dalton *et al.* (1983) categorizan estas formas como hidrófitas enraizadas emergentes, hidrófitas enraizadas hojas flotantes, hidrófitas enraizadas sumergidas, hidrófitas enraizadas tallos flotantes, hidrófitas libres sumergidas e hidrófitas libres flotantes. Lot *et al.* (2015) consideraron las mismas formas de vida propuestas por Dalton *et al.* (1983) a excepción de las hidrófitas enraizadas tallos flotantes, que fue sustituida por hidrófitas enraizadas tallos postrados.

Miranda y Hernández (1963) clasificaron los tipos de vegetación en México por la fisonomía de la flora que domina por factores climáticos, edáficos o bióticos. Estos autores distinguieron a las comunidades vegetales que son formados por plantas que dependen del agua o un sustrato casi permanentemente saturado de agua en: manglares, popales, tulares y carrizales, bosque de ahuehuetes o sabinos y selvas de galería.

Años más tarde, Rzedowski (1978) reclasificó los tipos de vegetación de México propuestos por Miranda y Hernández (1963). En el trabajo, el autor agrupó las comunidades de las plantas con afinidad acuática en una categoría más amplia nombrada "Vegetación acuática y subacuática". También Rzedowski (1978) destaca subclasificaciones de este tipo de vegetación y menciona la vegetación flotante, vegetación sumergida, popales-tulares, otras comunidades herbáceas anfibias o subacuáticas y comunidades leñosas nominadas como bosque de galería.

2.2 Trabajos de la flora acuática en México

Lot *et al.* (1986) publicaron el primer inventario de la flora acuática estricta de México. En dicho trabajo se recopilaron 111 especies, pertenecientes a 45 géneros y 23 familias. Rzedowski (1991a, b) estimó un aproximado de 1,000 especies de plantas acuáticas de las 21,600 especies de flora fanerogámica presente en el país. El autor menciona que la flora acuática y subacuática participa en una proporción muy pequeña (3%) y con un porcentaje relativamente bajo de endemismos (15%). Bonilla-Barbosa y Novelo (1995) mencionan que para aquellas fechas a penas existían aproximadamente 50 publicaciones enfocadas a la taxonomía, florística, fitogeografía y ecología de la vegetación acuática. No obstante, el número de trabajos enfocados a la flora acuática han aumentado con el paso del tiempo.

Mora-Olivo *et al.* (2013) estudiaron el estado de conservación de las plantas vasculares acuáticas estrictas en México. Su estudio menciona que el país cuenta

con 240 especies de flora acuática, incluyendo 13 especies introducidas (12 angiospermas y un helecho). Del total de especies, 221 son angiospermas, siendo el grupo de las monocotiledóneas el más abundante, 18 especies son helechos y plantas afines, y una angiosperma. Los estados con mayor registro de plantas acuáticas son: Veracruz (145 especies), Jalisco (123 especies), Michoacán (115 especies) y Tamaulipas (113 especies).

Villaseñor y Ortiz (2014) señalaron que, en México se encuentran 1,238 especies de angiospermas con alguna afinidad a los ambientes acuáticos. Bonilla-Barbosa y Santamaría (2014) enlistan especies de flora acuática exóticas o invasoras para México. En el estudio se reportan aproximadamente 58 especies de flora que presentan un riesgo a los sistemas acuáticos junto con impactos negativos en la economía. Mientras que, el uso de algunas especies con fines artesanales, forrajes, medicinal, restauración, entre otras, puede contribuir un impacto positivo.

Lot (2015) publicó un inventario florístico donde recopila 1,344 especies de angiospermas y gimnospermas acuáticas estrictas, subacuáticas y tolerantes para México. Con base en las especies registradas por Villaseñor (2016) para México y las especies acuáticas publicadas por Lot (2015), la flora acuática representa el 5.7% de la flora para el país.

Contemporáneamente, Rzedowski (2020) trabajó con la familia Asteraceae publicando un inventario de plantas acuáticas y subacuáticas endémicas a México. El autor registró 71 especies en 37 géneros. Su mayor distribución se encuentra en las provincias de la Sierra Madre Occidental y el Eje Volcánico Transversal.

Sin embargo, vemos una acumulación de listas y una ausencia de información biogeográfica. Enfocándose a temas fitogeográficos de plantas acuáticas, la cantidad de estudios se reduce. Algunos trabajos relacionados al tema fitogeográfico son: Lobato-de Magalhães *et al.* (2020), Murphy *et al.* (2019a),

Francisco-De la Cruz *et al.* (2017), Arredondo *et al.* (2015), Bonilla-Barbosa *et al.* (2015), Bonilla-Barbosa (2007), Hernández *et al.* (1991), enfocándose a nivel local o estatal.

2.3 Regionalización de la Sierra Madre Oriental

Desde los primeros estudios en generar un patrón de regionalización en México, se ha dado a conocer regiones, subregiones y provincias biogeográficas (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2004). Esto ha permitido en reconocer la composición general de las especies que viven bajo condiciones ambientales, fisiográficas, geológicas, entre otras (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2004; Morrone *et al.*, 2002). Pero a diferencia de una provincia biogeográfica, una provincia fisiográfica destaca en su origen geológico, relieve, aspecto, agentes modeladores y tipos de suelos (INEGI, 2008; Lugo-Hubp y Córdova, 1991).

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) generó a partir de la información topográfica, geológica, climatológica, hidrológica y edafológica, un mapa con 15 provincias con un origen geológico unitario, morfología propia y distintiva, y a su vez en 85 subprovincias con características distintivas (INEGI, 1982). Partiendo de la carta fisiográfica del INEGI, Cervantes-Zamora *et al.* (1990), generaron un mapa que clasifica a México. Con base en las zonas climáticas (árido trópico subhúmedo, trópico húmedo y la zona templada) y de las formas del relieve (sierras, mesetas, lomerios, llanuras, entre otras características), se determinaron 15 provincias y 88 subprovincias.

La SMOr es una cordillera producto de varios efectos y combinaciones de fuerzas tectónicas que han deformado y elevado las rocas (Eguiluz *et al.*, 2000; Longoria, 1985). Durante la Orogenia Laramide a finales del Cretácico (aproximadamente 65 millones de años), el territorio mexicano ha pasado por tensiones compresionales, deslizamientos de cubiertas, etapas de equilibrio y de

actividad constante que fue transportando rocas y formando pliegues y cabalgaduras (Ramírez-Fernández y Oesterreich-Masuch, 2013; Eguiluz *et al.*, 2000; Longoria, 1985) cuestión geográfica que ha resultado importante para la distribución actual de la flora mexicana.

La SMO se define como un macizo montañoso rugoso, angosto y alargado que emerge desde la planicie costera del Golfo de México y tiene un gradiente altitudinal que sus cimas alcanzan los 3,700 msnm (Eguiluz *et al.*, 2000) (figura 3). Su deformación abarca principalmente rocas del cretácico que se extienden desde el norte de Coahuila hacia Puebla y presenta heterogeneidad en su complejo basal (Eguiluz *et al.*, 2000).



Figura 3. La Sierra Madre Oriental fue originada por eventos tectónicos que fueron elevando el territorio sumergido en aguas oceánicas y la fueron moldeando, generando un relieve heteropeneo. Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Qro.

2.3.1 Fitogeografía en la Sierra Madre Oriental

La SMOr está formada por una cadena montañosa de origen sedimentario ubicada en el noroeste de México en donde se han fomentado investigaciones acerca de su flora, fauna, micología, ecología, entre otros grupos, distribuidos en varios artículos, revistas, informes, libros, tesis, entre otras fuentes (Salinas-Rodríguez, 2015). Algunas investigaciones enfocadas a la vegetación de la SMOr que se conocen son los de Salinas-Rodríguez *et al.* (2018, 2017, 2013); Salinas-Rodríguez (2018, 2015), Fortanelli-Martínez *et al.* (2014), Alonso-Castro *et al.* (2012), Salinas-Rodríguez y Cruzado-Cortés (2011), Velazco *et al.* (2011), Gómez-Pompa *et al.* (2010), Pérez-Bravo *et al.* (2010), Carranza (2005), Hernández-Sandoval *et al.* (2005), Martínez *et al.* (2004), Alanís-Flores *et al.* (1996), Díaz-Barriga y Palacios-Ríos (1992), Zamudio *et al.* (1991), McDonald (1990).

Algunas publicaciones que se han enfocado en la fitogeografía de la SMOr, pero que no hacen énfasis a la flora acuática, se describen a continuación:

Salinas-Rodríguez (2015) recopila un total de 8,619 especies, más de la cuarta parte de la flora presente en México. La autora desarrolla un enfoque fitogeográfico y demuestra dos zonas. La primera zona al norte de Trópico de Cáncer donde se encuentran una abundancia mayor de especies neárticas y endémicas a los desiertos del país, y segunda zona al sur del Trópico donde se encuentran especies afines al neotrópico.

Rzedowski (2015) generó un inventario de la flora endémica a la SMOr. Sin embargo, a comparación de otros trabajos, el autor utiliza la provincia basada en la vegetación de Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990). El autor reporta 672 de especies restringidas a la zona. Destaca que los principales factores asociados al endemismo de las plantas son el clima y la afinidad al tipo de roca o suelo.

Salinas-Rodríguez *et al.* (2017) generaron un trabajo de la flora endémica a la SMOr. Registraron 1,135 especies endémicas en la provincia, siendo los más ricos en endemismos las regiones vegetales templadas y de clima árido relacionadas con los suelos yesosos. Los autores describen la relación de los endemismos y ciertos promotores encontrados en la SMOr, tales como: edad y ubicación de la provincia, el paisaje kárstico, clima, fisiografía, altitud y suelo.

Salinas-Rodríguez *et al.* (2018) generaron un estudio sobre hotspots del endemismo de plantas vasculares en la SMOr. Los autores recopilaron 734 especies endémicas a la zona y usando modelados de distribución y de identificación de hotspots, propusieron diez áreas protegidas para la protección del 34% de los endemismos presentes en la provincia en relación al 10% mínima de la distribución geográfica de cada especie.

2.3.2 Trabajos de plantas acuáticas en la Sierra Madre Oriental

Algunas publicaciones que describen la vegetación acuática, subacuática o riparia, a nivel de localidad o estatal, y que se comparte con la SMOr se mencionan a continuación: **Coahuila:** Encina-Domínguez (2018), Encina-Domínguez y Meave (2018), Mora-Olivo y Lot (2018), Villareal *et al.* (2006), Pinkava (1984), Pinkava (1979); **Durango:** Heynes-Silerio *et al.* (2017), Villanueva-Díaz *et al.* (2017), Pérez (2009); **Guanajuato:** Martínez y Hernández-Sandoval (2012), Martínez *et al.* (2012). **Hidalgo:** Mendoza y Quevedo (2019), Bonilla-Barbosa (2013), Barrita (2011), Martínez (2011); **Nuevo León:** Mata-Balderas *et al.* (2020), López *et al.* (2018), Velazco-Macías *et al.* (2008); **Puebla:** Bonilla-Meza y Mangas-Ramírez (2011); **Querétaro:** Martínez y García (2001), Córdova (2000); **Tamaulipas:** Mora-Olivo *et al.* (2018), Mora-Olivo y Sánchez-Del Pino (2014), Mora-Olivo *et al.* (2008a), Mora-Olivo *et al.* (2008b), Mora-Olivo y Villaseñor (2007), Mora-Olivo y Novelo (2005), Valiente-Banuet *et al.* (1995), Martínez y Novelo (1993); **Veracruz:** Lot y Olvera (2011), Moreno-Casasola *et al.* (2011), Lot (1991).

Algunos estados como Durango, Guanajuato y Veracruz, no contaron con investigaciones sobre las plantas acuáticas en localidades específicas dentro de la SMOr, en consecuencia, se investigó trabajos a nivel estatal. Los estados de San Luis Potosí y Zacatecas no contaron con estudios de la flora acuática en localidades dentro de la SMOr y tampoco se encontraron a nivel estatal, sin embargo, trabajos como Córdova (2000) incluyen estados como San Luis Potosí.

Luna *et al.* (2004) publicaron el libro titulado “Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental”, una rica fuente de información de la diversidad biológica de toda la provincia. En la obra de Luna *et al.* (2004a), Bonilla-Barbosa (2004) publicó el primer inventario de flora acuática de la SMOr. El estudio menciona que en la provincia existen 134 especies distribuidas en 73 géneros y 44 familias, de las cuales se pueden encontrar seis formas de vida que constituyen el 15% de las especies acuáticas presentes en el país.

Mientras que, a continuación, se mencionan trabajos fitogeográficos de localidades dentro de la SMOr y con un enfoque exclusivo a la flora: Lobato-De Magalhães y Martínez (2018), Mora-Olivo *et al.* (2008a), Mora-Olivo y Villaseñor (2007), Martínez y García (2001), Hernández *et al.* (1991).

2.4 Importancia de los ecosistemas acuáticos

Los cuerpos de agua que se forman en los sistemas montañosos son un elemento esencial para la interacción de los diferentes organismos que habitan en los ecosistemas (Hauer *et al.*, 2016). La hidrogeomorfología es compleja, juega un papel importante en las montañas como un sistema dinámico (Hauer *et al.*, 2016). La constante dinámica del agua trae consigo elementos como nutrientes, microorganismos y sedimentos, enriqueciendo a los suelos, modificando el paisaje y a su vez, se genera un hábitat primordial de muchos peces, plantas, insectos, aves y mamíferos (Hauer *et al.*, 2016).

La intensidad de la luz, temperatura, disponibilidad de CO₂, disponibilidad de nutrientes, la sedimentación anaeróbica, salinidad, daño mecánico por efecto del movimiento del agua, reproducción clonal, dispersión a larga distancia y la plasticidad de las plantas, son algunas variaciones ambientales que Santamaría (2002) relaciona en el establecimiento y desarrollo de las plantas acuáticas. Sin embargo, la mayoría están relacionadas directamente con el cuerpo de agua y son datos cuya disponibilidad solo se tendría por medio de trabajo de campo más extenso (Santamaría, 2002).

Les *et al.* (2003) mencionaron que la distribución de las plantas acuáticas es uniforme y su tolerancia ecológica es amplia ya sea por el crecimiento clonal o la presencia de varios agentes dispersores que viajan considerablemente largas distancias. Las especies que presentan una distribución más restringida están relacionadas con la fisografía continental (Stuckey, 1993). Se han generado varias hipótesis sobre los factores que influyen en la distribución de las plantas acuáticas, entre ellos está la relación de los propágulos de las plantas y los animales que los distribuyen (endo y ectozoocoria), el impacto histórico del cambio climático o la vicarianza fitogeográfica (Murphy *et al.*, 2019b).

Sánchez *et al.* (2007) recopilaron trabajos de la importancia de los cuerpos acuíferos en México y los distintos elementos presentes en ellos. Dicho trabajo tiene un enfoque en la importancia y conservación de estos ecosistemas en el país, destacando la importancia de los cuerpos lénticos y loticos distribuidos en las planicies, sistemas montañosos, costas, entre otros.

Murphy *et al.* (2019b) demostraron que hay más especies de plantas acuáticas con una distribución estrecha que amplia. Los autores mencionan que es importante elaborar investigaciones que expliquen los patrones de distribución de las plantas acuáticas en menor escala de la que ellos usan. Es necesario determinar los

factores espaciales, ambientales y biológicos que influyan en la distribución, diversidad y endemismo de la flora acuática.

2.5 Análisis de riqueza y diversidad

La pérdida de la diversidad de organismos por actividades antropogénicas, ya sean de manera directa (ej. la sobreexplotación) o indirecta (ej. alteración del hábitat), ha sido una razón para el desarrollo de análisis para medirla o como un indicador del estado de los sistemas ecológicos y que se pueda aplicar con fines de conservación, manejo y monitoreo (Moreno, 2001). En el libro redactado por Moreno (2001) se explican distintos métodos para medir la biodiversidad. En el trabajo se mencionan índices para medir la riqueza tales como: riqueza específica, índice de diversidad de Margalef, índice de diversidad de Menhinick, índice de diversidad alfa de Williams, rarefacción, funciones de acumulación de especies y métodos no paramétricos como Chao 2, Jackknife de primer y segundo orden, y Bootstrap. Así mismo, también se mencionan índices de abundancia proporcional para medir la diversidad, por ejemplo: **dominancia** (índice de Simpson, serie de números de Hill, índice D de McIntosh e índice de Berger-Parker); **equidad** (índice de Shannon-Wiener, equidad de Pielou, índice de Brillouin, equidad de Brillouin, índice de equidad de Bulla, índice de equidad de Hill, índice de equidad de Alatalo e índice de equidad de Molinari).

Ávila-Sánchez *et al.* (2018) estudiaron los patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. Empleando transectos aleatorios de distintos tamaños (según el estrato a analizar: arbóreo, arbustivo y herbáceo), se contabilizó el número de individuos. La riqueza se determinó con el número de especies en cada sitio. La diversidad de especies se evaluó con el índice de Shannon, usando el logaritmo natural. La diversidad beta se calculó con el inverso del índice de semejanza de Sørensen y se estimó el número de especies compartidas entre los tipos de vegetación analizados.

Rodríguez *et al.* (2018) estudiaron la riqueza, los patrones de distribución y áreas de endemismos de grupos selectos en México. Los autores trabajaron con 766 especies. Los datos georreferenciados de las especies fueron obtenidos de 24 herbarios de México y Estados Unidos, bases de datos en línea y literatura. Los datos se corroboraron a lo mencionado y se eliminaron los registros duplicados y de localidades ambiguas. La riqueza de especies fue cuantificada por divisiones políticas, regiones y provincias geográficas, celdas de .5 x .5 y por la elevación. El análisis de riqueza fue aplicado usando el método de circular neighborhood.

Carrasco-Ortiz *et al.* (2019) analizaron la riqueza, distribución geográfica y estado de conservación de las especies del género *Dahlia* en México. Para el estudio se generó una base de datos georreferenciados a partir de ejemplares de herbarios, publicaciones y recolectas de campo. El análisis de riqueza se generó a partir de número de especies, de registros por estados y tipos de vegetación. Se generó un cuadro de presencia-ausencia para la riqueza por elevación, latitud y longitud. Usando celdas de 33 x 33 km (según el método de distancias máximas (MaxD)), se determinó la riqueza con método de circular neighborhood.

Flores (2020) recopiló información sobre las metodologías empleadas en distintos trabajos de muestreo de la diversidad florística a nivel local-regional, nacional y a nivel de Sudamérica. El autor menciona que un conteo de especies en un sitio (riqueza específica) sería suficiente para describir la diversidad alfa (especies de una comunidad particular). No obstante, un análisis para separar la contribución de la riqueza específica y la estructura de la comunidad, sería el índice de Shannon, la cual expresa uniformidad de las especies presentes en la muestra. Así mismo, el índice de Simpson, se emplear para manifestar la probabilidad de que dos individuos tomados al azar sea den la misma especie, siendo influido por la dominancia de estas.

Rosales (2020) estudió la diversidad y estructura de las especies arbóreas y arbustivas del matorral desértico por el cambio producido de las quemas prescritas. Estableciendo sitios de muestreos, el autor realizó un censo de las especies, calculó la diversidad con el índice de Shannon y el índice de riqueza Margalef. Para el índice de Shannon no solo es importante el número de especies presentes en un ecosistema, sino que también de la frecuencia que estén representadas. El índice de Margalef se basa en la distribución numérica de los individuos de cada especie, en función al número de individuos existentes en la muestra analizada.

Morales *et al.* (2020) estudiaron la riqueza de la microcuenca del Cañón de Los Chivos en San Luis Potosí, México. El trabajo de campo consistió en tres transectos estratificados de 400 m en dirección paralela a la pendiente en tres temporadas del año (húmeda, seca y fría). Se determinó el esfuerzo de muestreo en el área usando una curva de acumulación de especies y un estimador no paramétrico Jackknife de primer orden. Así mismo, los autores compararon la riqueza con otras áreas de zonas montañosas previamente estudiadas, usando el índice de biodiversidad taxonómica.

Contemporáneamente, Reyna-González *et al.* (2021) estudiaron la estructura y diversidad del matorral xerófilo en el Área de Conservación e Investigación RENAC, Linares, Nuevo León. Mediante sitios de muestreos de 100m² distribuidos aleatoriamente, se desarrolló un censo de las especies. Para estimar la riqueza se utilizó el índice de Margalef y para la diversidad alfa se usó el índice de Shannon.

2.5.1 Diversidad y riqueza de la flora acuática

Los humedales brindan una gran cantidad de servicios ambientales y es necesario conocer la flora acuática por el beneficio que llegan a aportar al hombre y otras especies de flora y fauna (Córdova, 2000; Chediack *et al.*, 2018). No obstante, estos sistemas acuáticos están siendo amenazados por actividades

humanas, lo que ocasionan su contaminación y pérdida (Chediack *et al.*, 2018). Así mismo, se han generado trabajos con el fin de estimar la diversidad y riqueza de la flora acuática que ayude a tomar decisiones de manejo y conservación. A continuación, se mencionan algunos ejemplos de estos trabajos en México y otros países, incluyendo parte de su metodología:

Córdova (2000) estudió la diversidad de las plantas acuáticas en ríos y arroyos de la Cuenca Pánuco. El autor visitó 27 localidades y realizó transectos de un metro. Se contaron los individuos y se tomaron las medidas de cobertura aérea y distancia del cauce. La diversidad se estimó usando los índices de Shannon y Simpson.

Zepeda-Gómez *et al.* (2012) estudiaron la diversidad de la vegetación acuática del Río Lerma del Estado de México, México. Se seleccionaron entre 20 y 40 sitios por ciénega, las cuáles se les caracterizó la vegetación por el método de línea intercepto. La diversidad por ciénega se calculó usando el índice de Shannon. Cada índice se comparó entre las otras ciénegas usando una prueba de t-Student modificada.

Son *et al.* (2018) determinaron los factores que afectan a la riqueza de las plantas acuáticas sumergidas en distintos ríos de Corea. Se estudiaron 197 sitios donde las plantas acuáticas sumergidas fueron muestreadas usando transectos de 50 x 2 m a lo largo del río a una distancia de un metro de la orilla del río. Los autores correlacionaron la riqueza de la flora con variables ambientales del agua (nitrógeno amónico, clorofila a, conductividad eléctrica, nitrógeno nitrato, sólidos en suspensión, fósforo total disuelto, carbono orgánico total, temperatura del agua, tipo de sustrato, profundidad del agua y la velocidad del agua).

Chediack *et al.* (2018) analizaron la riqueza específica de cuatro humedales de montaña de San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Los autores muestrearon de forma sistemática en cada humedal, en parcelas de 1m² con espacios de 20 m².

De igual manera, Ochoa-Gaona *et al.* (2018) analizaron la riqueza de la flora acuática y ribereña en la cuenca del río Usumacinta, México, mediante recorridos, datos proporcionados por el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (SNIB-CONABIO) y fuentes bibliográficas.

Toivanen *et al.* (2019) estudiaron la influencia que tienen variables locales de los cuerpos de agua (alcalinidad, fosforo, color de agua, área o profundidad), variables geodiversos (tipos de suelo, tipo de roca, geomorfología) y variables climáticas (temperatura media del mes más frío, temperatura anual y precipitación media anual), con la riqueza de la flora acuática. Los autores usan el método de transectos de 5 m para inspeccionar la flora y generaron un modelo lineal generalizado para identificar la variable más importante que actúa directamente sobre la flora acuática.

Alahuhta *et al.* (2020) trabajaron con la variación de la riqueza de plantas acuáticas en Europa y Norte América en relación con el clima actual. Los autores obtuvieron los datos de las plantas por medio de atlas de flora de Europa y la digitalización de los mapas de flora de Norte América. En ambos casos, se usaron celdas de 50 x 50 Km combinadas con bandas latitudinales de 1°N. El estudio se basó en la presencia-ausencia de las plantas acuáticas en cada celda generada (cuántas especies hay en cada celda). Además, se generaron análisis para describir las relaciones entre la riqueza de las especies y grupos de variables tales como: características ambientales, clima actual, clima histórico y ubicación geográfica.

2.6 Uso de datos georreferenciados

En la actualidad, sigue siendo un esfuerzo por organizaciones y redes nacionales e internacionales como Global Biodiversity Information Facility (GBIF, en línea), Tropicos (en línea), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad (CONABIO, en línea), entre otros, la recopilación de información y datos georreferenciados. Igualmente, una de las metas de estas plataformas es generar investigaciones, publicaciones y sitios web de acceso libre. Estas organizaciones y redes tratan de reunir información por parte de taxónomos y profesionales que trabajan en museos y colecciones biológicas, además de organizaciones o sectores gubernamentales, científicos, miembros de organizaciones no gubernamentales y público en general (Soberón *et al.*, 1996).

Un ejemplo es la plataforma y aplicación para celular “Enciclovida” elaborada por la CONABIO. Dicha plataforma reúne información desde instituciones académicas y financieras tales como INaturalist, Wikipedia, IUCN, Jardín Botánico de Missouri, CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas), Bioteca de la CONABIO, ResearchGate, Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), entre otras (Enciclovida, en línea; CONABIO, 2019). Otro ejemplo es la plataforma GBIF que reúne información de las ocurrencias de los seres vivos obtenidos desde los museos, otras plataformas, e información recopilada de naturalistas aficionados (Chandler *et al.*, 2017; GBIF, en línea). El beneficio del uso de estos medios para desarrollar investigaciones a partir de los registros recopilados por naturalistas aficionados, es generar bajos costos, en comparación de adquirir los mismos datos por medio de profesionistas que deben de invertir en tiempo y recursos (Chandler *et al.*, 2017).

No obstante, las limitaciones de las plataformas que reúnen datos u ocurrencias de seres vivos, son principalmente no revisar todo el material publicado, por ende, no afirman que la información sea certera, útil u ofensiva y el uso de los datos es por cuenta y riesgo del usuario (GBIF, en línea; INaturalist, en línea). Algunos datos de especies se identifican con base en el reconocimiento de imágenes (Chandler *et al.*, 2017). El monitoreo de las especies puede generar sesgos al momento de analizar los datos, sin embargo, se hace mención que estos

monitoreos por voluntarios no son problemáticos cuando están bien diseñados (Chandler *et al.*, 2017).

El uso de datos georreferenciados se ha convertido en una necesidad para generar investigaciones fitogeográficas. Sin embargo, existen datos que son de difícil acceso, erróneos, que se encuentran distribuidos en distintos trabajos y publicaciones. Estos problemas pueden generar confusión, duplicación o duda en relación con la localidad, generando un sesgo al momento de analizar los datos.

No obstante, el uso de las georreferencias nos permite conocer con mejor detalle las preferencias de las especies, generar modelos u análisis que nos aporten un mayor entendimiento y explicación hacia la distribución o ausencia de los organismos. Igualmente, los modelos son una herramienta para la generar planes o áreas de conservación. Por ejemplo, Jones *et al.* (2003) demostraron que la riqueza de especies de plantas acuáticas está correlacionada con la altitud y el área del cuerpo de agua presentes en las montañas. Por consecuencia, el rango de las especies aumenta con la altitud, sin embargo, su riqueza disminuía, caracterizando a esta flora como tolerante al estrés ambiental y baja productividad.

Los estudios biogeográficos de flora en general van dirigidos a zonas más locales y con algún interés de conservación, riqueza, endemismo, afinidades ambientales, geomorfológicas o provinciales, distribución histórica, entre otras, por ejemplo: Gómez-Escamilla *et al.* (2019), Hernández-Rojas *et al.* (2019), Montano-Arias *et al.* (2018), Rodríguez *et al.* (2018), Donati *et al.* (2016), Palma-Ramírez *et al.* (2014), González-Castañeda *et al.* (2010), Contreras-Medina y Luna-Vega (2007), Huidobro *et al.* (2006).

Respecto a las plantas acuáticas, son más escasos los estudios biogeográficos llevados en toda la SMO y están relacionados al bosque ripario o áreas puntuales dentro de la provincia, por ejemplo: Estrada (2015), Cerón-Carpio

et al. (2012), Mora-Olivo *et al.* (2008a), Villareal *et al.* (2006), Treviño-Garza *et al.* (2001), Ontiveros (1999), Rangel (1995).

En el país existen pequeños cuerpos de agua donde albergan vegetación acuática, elementos y asociaciones de la flora que son endémicos, raros o amenazados, lo que dificulta su conservación en la homogeneidad de las características fisonómicas y florísticas produciendo cambios en la composición de especies incluso en distancias cortas (Lot, 2015; Bonilla-Barbosa, 2007). Estos estudios fitogeográficos enfocados a la diversidad de las plantas acuáticas, desempeñan un papel importante en el mantenimiento de procesos y funciones de los cuerpos acuíferos, lo que a su vez abarca tres factores importantes: a) el agua y su comportamiento; b) suelos y propiedades; c) asociaciones vegetales (Cervantes, 2007).

Los estudios geográficos dirigidos a las plantas acuáticas generan información importante sobre los medios acuáticos, su conservación y calidad de servicios. Por ejemplo, Jiménez-Alfaro *et al.* (2014) estudiaron la vegetación de los pantanos de Europa usando la estadística y sistemas geográficos. Su investigación ayudó a generar la clasificación de los pantanos en grupos donde se destacaban especies únicas, además de correlacionar estos grupos con factores como precipitación, evapotranspiración, altitud, temperatura, latitud y longitud. Destacaron que la afinidad de la vegetación con los factores bióticos tiene gran importancia y que cierta vegetación como la endémica, puede ayudar a definir y categorizar regiones y saber cómo se pudo haber diferenciado la distribución de cada una.

Hoy en día se han generado índices estadísticos que nos ayudan de manera integrada a darnos información sobre atributos físico-químicos y atributos biológicos. El uso de estos índices y las herramientas biogeográficas, brindan un conocimiento completo de la biota y entorno de los sistemas acuáticos. Igualmente, se han generado protocolos generales y específicos para la calidad del agua y de la biota presenten en ella (Pérez-Munguía *et al.*, 2007).

Generar mapas a partir de datos georreferenciados nos permite ver la riqueza y diversidad de un grupo específico en áreas, zonas y regiones. Desde los primeros mapas de distribución hasta los actuales, se ha mejorado el entendimiento del gradiente latitudinal, clima, geodiversidad, riqueza, diversidad y la simple distribución de especies (Mutke y Barthlott, 2005).

III JUSTIFICACIÓN

Rzedowski (1996) mencionó que la generación de inventarios florísticos de distintos ecosistemas genera una contribución importante para el conocimiento de la flora de México. El uso de estos datos puede servir para estudios enfocados a otras áreas, con fines de conservación, para elaborar planes de manejo o para conocer el origen y/o el futuro de una comunidad florística.

La falta de información sobre la flora acuática, podría fomentar que la riqueza se pierda y su diversidad disminuya, también que las especies sean amenazadas a su extinción o que se expandan descontroladamente (Mora-Olivo *et al.* 2013; Rial, 2013; Alahuhta *et al.*, 2011; Bonilla-Barbosa, 2007). El presente estudio, nos permite recopilar información acerca de las plantas acuáticas, su preferencia ambiental o su relación con otros organismos. Es importante dar a conocer el papel de la diversidad de la flora acuática que hay en la zona, y en qué podrían participar estos elementos para el mantenimiento de los ecosistemas, especialmente relacionados al tema del agua.

La aplicación de los inventarios florísticos nos hace dirigir nuestra atención a lugares con especies importantes, observar y estudiar la calidad del ambiente para tomar decisiones. Las plantas acuáticas, pueden variar año tras año, incluso en un año puede haber una abundancia de plantas, mientras que en años consecuentes puede variar o desaparecer (Bonilla-Barbosa, 2004, 2007; Martínez y García, 2001; Dalton y Novelo, 1983).

Con base en lo anterior, se considera importante el estudio fitogeográfico de las plantas acuáticas en una provincia fisiográfica de características heterogéneas ambientales y geomorfológicas.

IV HIPÓTESIS

Se espera una alta riqueza de especies de plantas acuáticas en la Sierra Madre Oriental, con una correlación en su distribución y los factores bióticos y abióticos. Se prevé una mayor riqueza y diversidad en las cuencas sureñas donde el clima es tropical. Así mismo, se esperan dos zonas diferenciadas por distintas especies de plantas acuáticas, los afines a los ambientes de climas estacionales y áridos y a los ambientes con climas estables y humedad constante. Además, se indaga una distribución potencial en zonas de alta humedad, baja altitud, baja latitud y climas cálido húmedos

V OBJETIVOS

5.1 General

Registrar la flora acuática estricta de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y analizar su riqueza y diversidad e identificar los patrones de distribución asociados a factores bióticos y abióticos.

5.2 Particulares

- Generar un inventario de la flora acuática estricta de la SMOr.
- Indicar el estado de conservación por especie (SEMARNAT y IUCN).
- Hacer una descripción fitogeográfica de la flora acuática estricta de las cuencas hidrológicas de la SMOr.

- Analizar y correlacionar la riqueza y diversidad de las especies con los factores bióticos y abióticos.
- Discutir la distribución potencial de la flora acuática estricta de la SMOr, a partir de modelos de máxima entropía.
- Conocer las relaciones y similitudes de la distribución de las especies, los factores bióticos (tipo de vegetación) y abióticos (clima, precipitación, suelo y altitud) de las cuencas hidrológicas de la SMOr.

VI MÉTODO

6.1 Área de estudio

Para el presente trabajo se definió el límite de la provincia fisiográfica denominada Sierra Madre Oriental y las subprovincias fisiográficas correspondientes, con base en los criterios del INEGI (1982) y Cervantes-Zamora *et al.* (1990) (figura 4). En dicha división, la SMOr se encuentra ubicada al noreste del país. Tiene una superficie aproximada de 22,019,231 hectáreas, ocupando un 11.2% del territorio mexicano. Se encuentra distribuida entre los estados: Coahuila (abarcando el 65.19% de su territorio), San Luis Potosí (55.66%), Nuevo León (50%), Hidalgo (44.33%), Querétaro (36.43%), Tamaulipas (17.34%), Zacatecas (15.71%), Puebla (13.73%), Guanajuato (5.23%), Durango (5%) y Veracruz (4.89%) (Salinas-Rodríguez, 2015). Con base en el modelo de elevaciones de la CONABIO (1998a), la elevación mínima de la SMOr es de 119 msnm, mientras que la máxima está arriba de los 3,711 msnm (figura 5).



Figura 4. Clasificación del territorio mexicano en las provincias fisiográficas según la carta fisiográfica del INEGI (2001).

La elección de esta clasificación para la SMO es principalmente por sus características en la heterogeneidad del relieve. Se considera la importancia de la geomorfología como cimas, cañones, el terreno kárstico, cuevas, sótanos, sus pendientes abruptas y suaves. Además, su variedad de climas, entre otros factores que son importantes en la distribución de las plantas y los endemismos presentes en el sistema montañoso (figura 6).

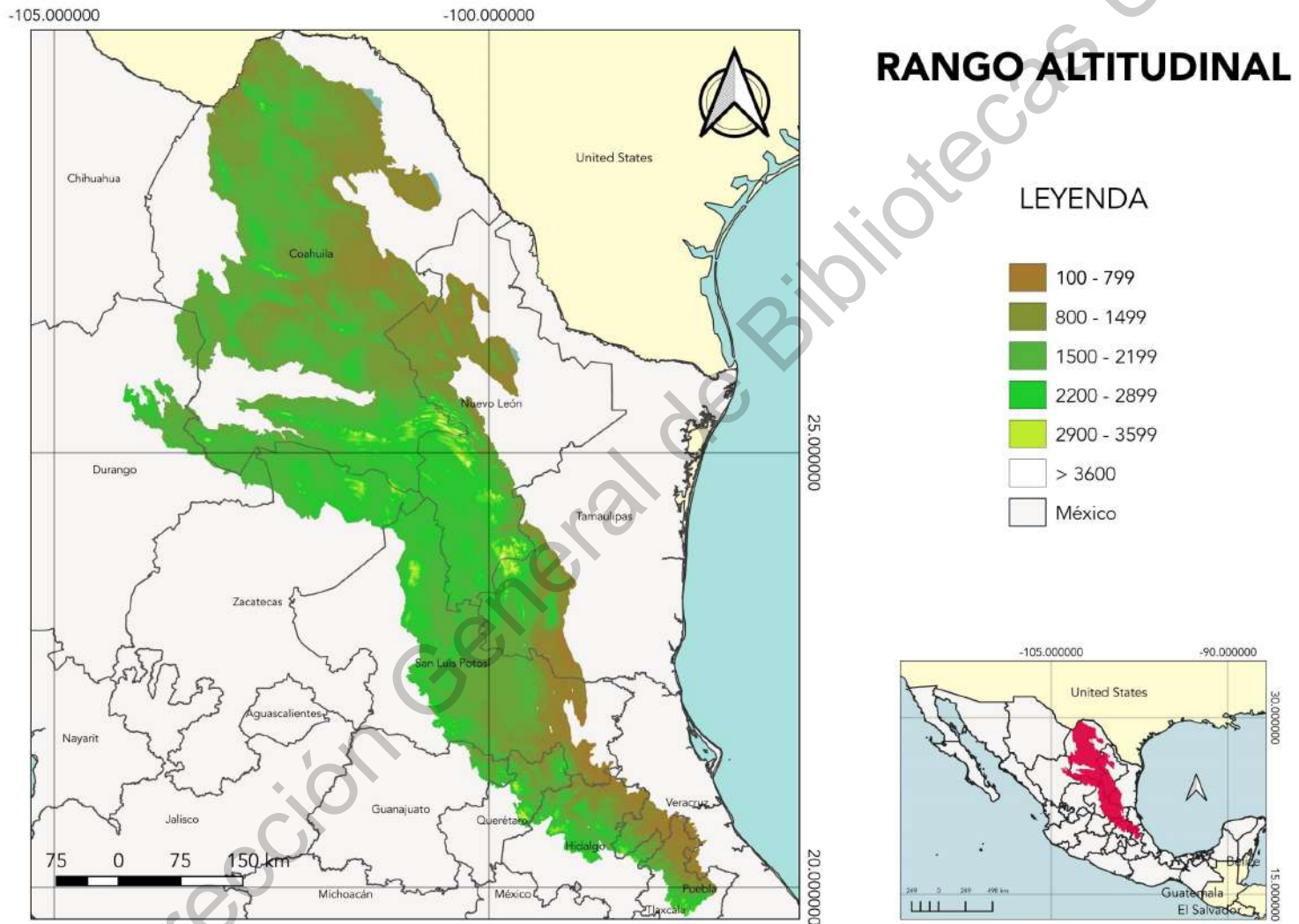


Figura 5. Modelo de elevaciones máximas y mínimas de la SMOr (CONABIO, 1998a).



Figura 6. La geología, el relieve, los climas y la edafología, fueron las razones para elegir la Sierra Madre Oriental como área de estudio. La Angostura, Zimapán, Hgo.

6.1.1 Fisiografía (Salinas-Rodríguez, 2015)

El relieve accidentado, los plegamientos o serranías y cañones intermontanos por la orogenia han sido características para la limitación de ocho subprovincias (figura 7):

Sierras y Llanuras Coahuilenses: se ubica entre los estados de Coahuila y Nuevo León. Está compuesta por sierras escarpadas, una pequeña extensión rodeada de matorrales, de calizas plegadas, mayormente orientadas de noroeste a sureste.

Serranías del Burro: se encuentra ubicado en Coahuila, sin embargo, estrictamente la subprovincia llega al estado de Texas. Su relieve está compuesto por sierras, valles, piedemontes, mesas, bajadas y planicies, su anchura y altitud se incrementa de norte-sur.

Sierra de la Paila: se ubica en Coahuila. Su relieve está determinado por su estructura cómica y flancos suaves y afallamiento al noroeste.

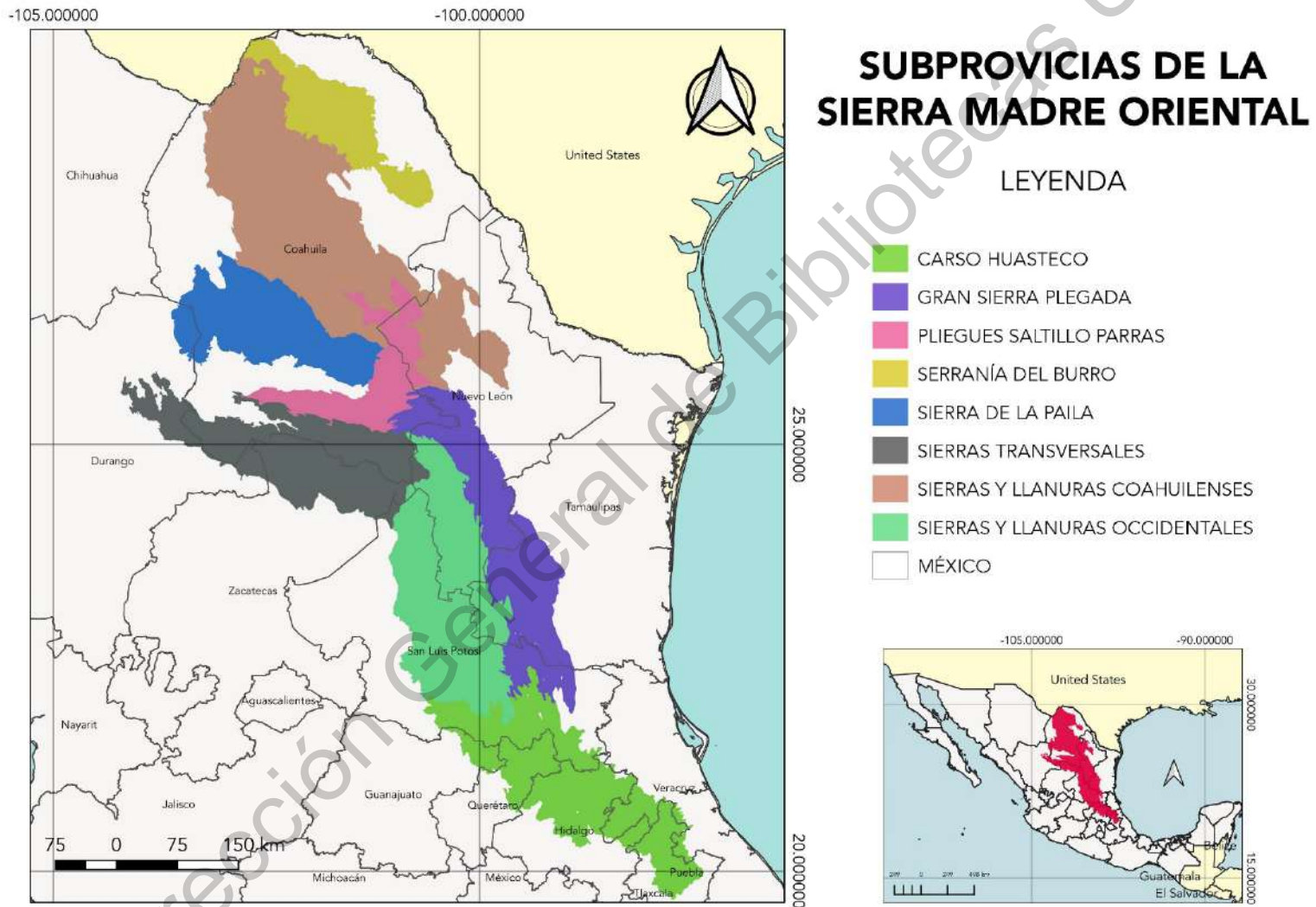


Figura 7. Subprovincias en las que se dividen la Sierra Madre Oriental (INEGI, 2001).

Pliegues Saltillo-Parras: ubicada en la mayor parte de Coahuila y una pequeña parte en el occidente de Nuevo León. Su relieve cuenta con llanuras, lomeríos suaves, valles extensos, sierras pequeñas y sierras abruptas.

Sierras Transversales: su ubicación geográfica es perpendicular al eje de la SMO. Una parte de la subprovincia se encuentra en el estado de Nuevo León con una pequeña extensión de llanura desértica. Su relieve se compone de lomeríos, bajadas y llanuras. En Zacatecas dominan sierras de estratos plegados. Una pequeña extensión se encuentra dentro de San Luis Potosí con dos sierras orientadas de norte-sur.

Sierras y Llanuras Occidentales: ubicada entre los estados de Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí, su relieve consta de sierras principalmente de calizas, con orientación norte-sur, enlazadas por sierras alargadas. En la parte dentro del estado de San Luis Potosí, el relieve es dominado por sierras y llanuras, seguida de algunos lomeríos, bajadas y valles. En la parte tamaulipeca el relieve está compuesto por sierras complejas, bajadas, pequeñas llanuras y valles.

Gran Sierra Plegada: se comparte entre Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí. El relieve son principalmente pequeñas sierras de estratos plegados con ejes estructurales anticlinales y sinclinales. Sin embargo, las sierras presentan múltiples formas de plegamiento. El flexionamiento de las rocas ha generado crestas y fracturas expuestas a los procesos erosivos. Hacia San Luis Potosí, el relieve está dominado por fallas normales con orientación norte-sur.

Carso Huasteco: gran parte de la provincia se encuentra dentro del estado de Hidalgo, sin embargo, también se comparte con los estados de San Luis Potosí, Querétaro, Guanajuato, Veracruz y Puebla. La subprovincia está dominada por calizas que, al ser disueltas por el agua, originan pozos, dolinas y grutas. El relieve se compone por sierras, cañones, valles y llanuras (figura 8).



Figura 8. El Carso Huasteco se caracteriza por dominación de calizas que, al ser disueltas por efectos de corrientes de agua y lluvias, forman sistemas de cuevas. Jalpan de Serra, Qro.

6.1.2 Geología (Ramírez-Fernández y Oesterreich, 2013)

La SMOr fue originada a finales del cretácico (~65 Ma). Ha sido el resultado del levantamiento y deformación de rocas, las más antiguas son mesozoicas. El levantamiento, compresión y transporte del suelo generó pliegues y cabalgaduras. La SMOr hay 24 tipos de rocas provenientes de las eras Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico (Salinas-Rodríguez, 2015).

Dentro de la SMOr, los cañones Novillo, Peregrina y Caballeros alrededor de Cd. Victoria, se presentan rocas Gneis Novillo, los remanentes más antiguos que datan de 1,000 Ma. Subsiguientemente, pasando por el Mesozoico y Triásico donde se llevó a cabo el rompimiento de Pangea y el ingreso de océano, se fueron

acumulando sedimentos formando columnas estratificadas de rocas sedimentarias, siliciclásticas oxidadas, lutitas, limolita, areniscas y conglomerados. Seguido del retiro del océano en el Jurásico donde los depósitos dejaron capas de sales de tipo haluros, sulfatos y carbonatos. Desde el Cretácico Inferior se establecieron rudistas incrementando depósitos de restos calcáreos.

El incremento y disminución de aguas marinas introdujeron depósitos de lutitas, terrígenos siliciclásticos y de calizas pelágicas. El movimiento de las mareas generó estratificaciones onduladas. El continuo ingreso de las aguas marinas dentro del territorio siguió con la estratificación de calizas pelágicas, rocas verdes con variaciones arcillo arenosas de bentonitas provocado por cenizas volcánicas. A finales del Cretácico (~65 Ma) la deformación Laramídica levantó y dio forma al actual relieve de lo que se conoce como la Sierra Madre Oriental.

6.1.3 Edafología (INEGI, 2013)

La SMOr presenta variaciones y combinaciones de 17 tipos de suelos: andosol, cambisol, castañozem, chernozem, feozem, fluvisol, gleysol, litosol, luvisol, planosol, regosol, rendzina, solonchak, solonetz, vertisol, xerosol y yermosol (formando 538 perfiles con disposición de hasta tres horizontes con algún tipo de suelo). De estos, el litosol ocupa más superficie en la SMOr con 9,811,336.643 ha, seguido de xerosol con 7,694,101.933 ha y luego de regosol con 2,848,713.382 ha. chernozem, andosol y planosol fueron los que menos área cuentan con 11,658.428 ha, 26,753.217 ha, 36,788.488 ha, respectivamente (figura 9).

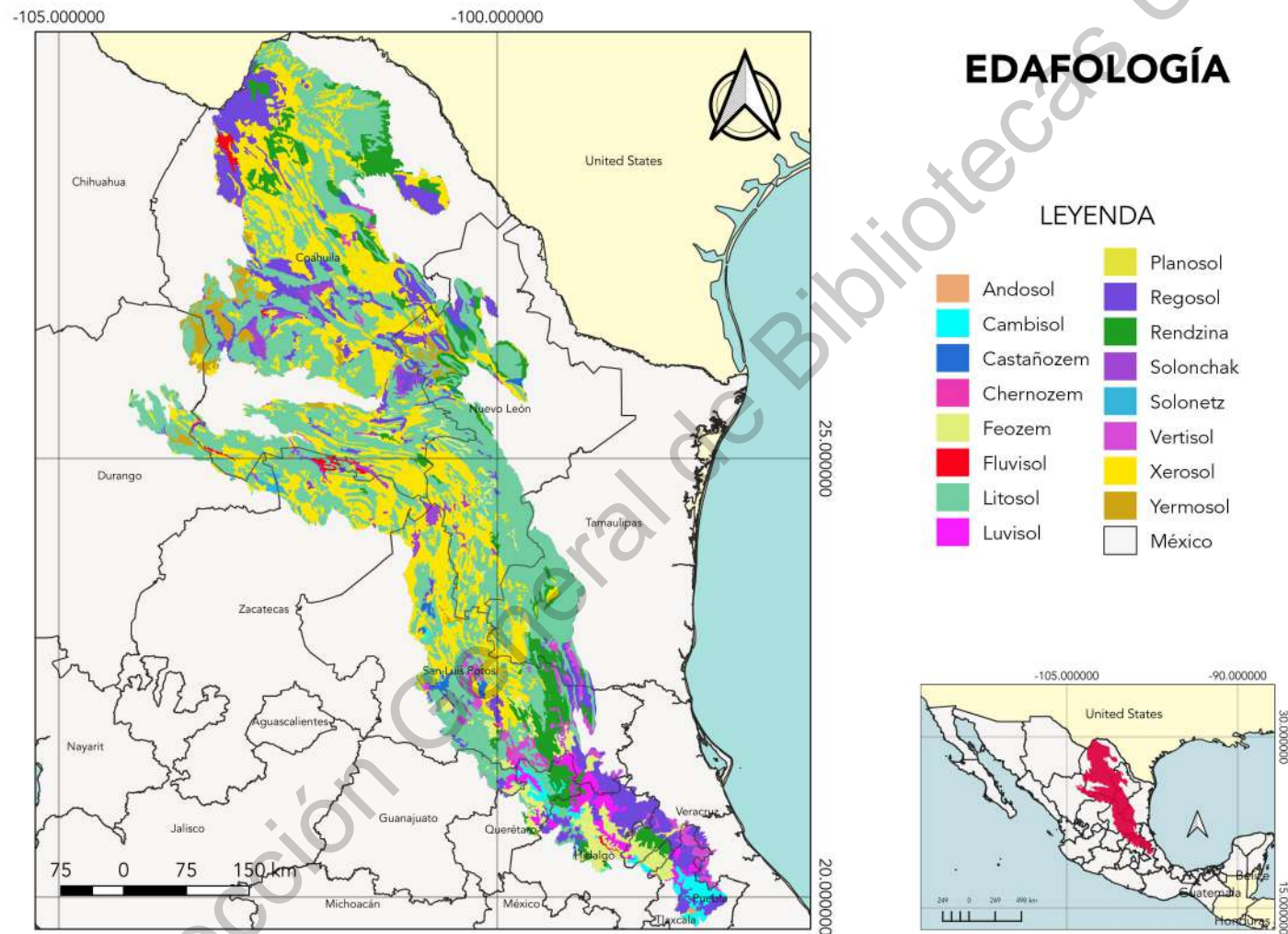


Figura 9. Tipos de suelos que forman la Sierra Madre Oriental con base en la carta edafológica del INEGI (2013).

6.1.4 *Clima* (Hernández-Cerda y Carrasco-Anaya, 2004)

La SMOr se comparte en cuatro regiones climáticas: A) Norte: predomina altas subtropicales y está aislada de vientos húmedos. Las zonas áridas dominan y su régimen pluviométrico es variable. B) Noreste: presenta “nortes” en invierno (masas de aire frío polar), vientos alisios, ciclones en verano y altas subtropicales. Tiene un régimen de lluvias intermedio. C) Golfo de México: es afectada por vientos alisios, ondas del este, ciclones tropicales en verano y otoño, “nortes” en invierno. Su régimen pluviométrico es intermedio. D) Centro: es influenciado por los vientos alisios en verano, el monzón de pacífico y lluvias en verano.

Las condiciones de temperatura varían. La temperatura media anual en la SMOr oscila entre los 12° y 25.3 °C. Para la provincia se definen cuatro zonas térmicas: A) cálida: con temperaturas entre 22° y 26 °C entre los 200 msnm y 900 msnm. B) semicálida: con temperaturas entre 18° y 22 °C, cubre gran parte de la SMOr, entre los 900 msnm y 1,800 msnm. C) templada: con temperaturas entre 12° y 18 °C, en las partes altas de >1,800 msnm. D) semifrías: con temperaturas entre 5° y 12 °C, en pequeñas zonas altas de algunas sierras (figura 10).

Dadas las variaciones entre la altitud y su posición geográfica, la mayoría de la SMOr corresponde a condiciones térmicas semicálidas (A)C y subgrupos de condiciones secos: semiáridos BS1, áridos BS0 y muy áridos BW. Sin embargo, también están los grupos cálidos A (abarcando el 9.8% de la SMOr), secos B (50%) y templados C (42.2%). En el caso de las condiciones cálidas, en la SMOr se presentan todas sus variantes de humedad: húmedos f, m, y subhúmedos w, w1, w2', w0. Los secos cuentan con las variaciones cálidas (h')h, semicálidas h y templadas k. Para las condiciones templadas, se presentan todas sus variantes de humedad (en el anexo 1 se clasifican de forma más específica los climas).

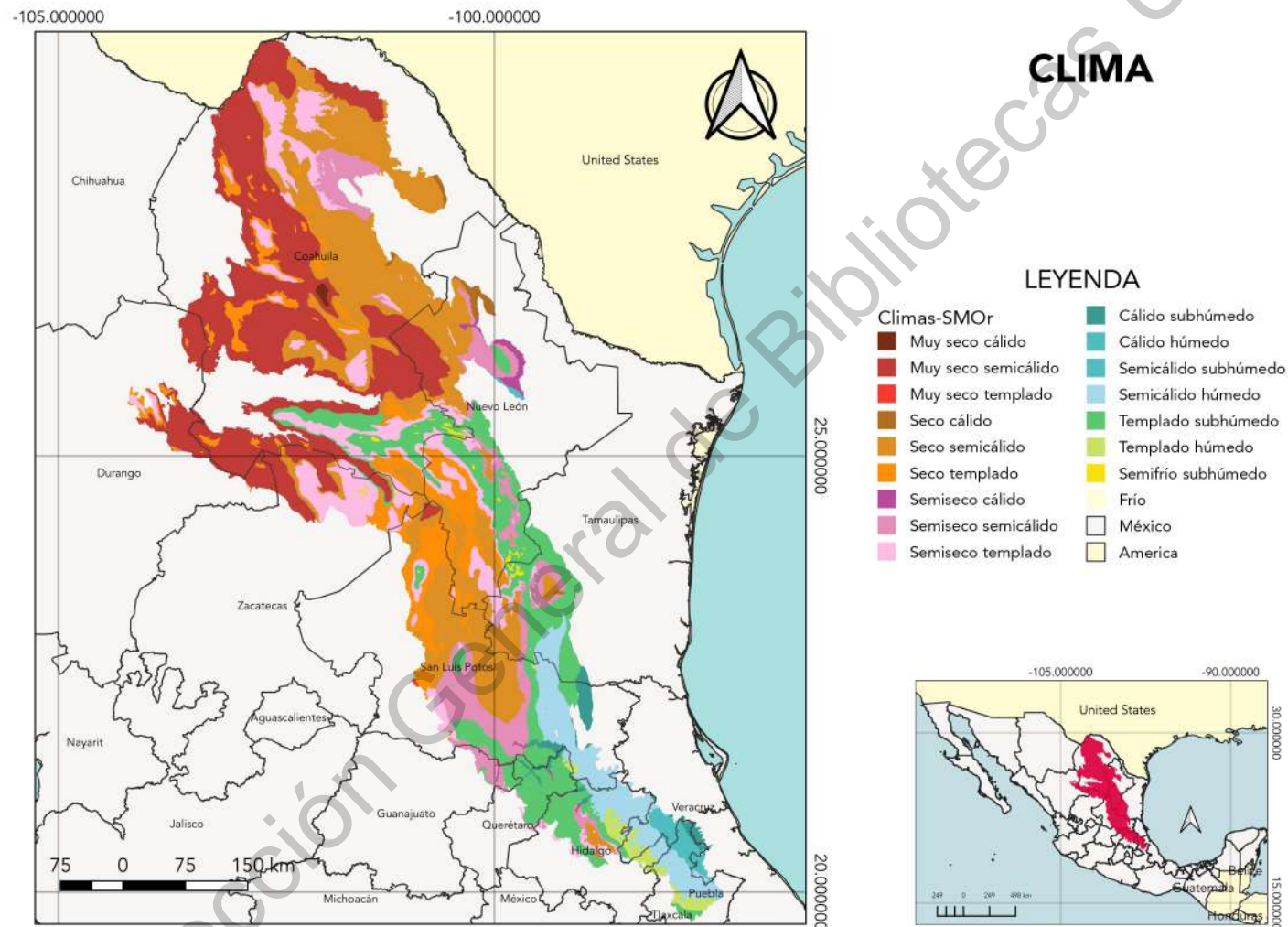


Figura 10. Clasificación de los tipos de climas presentes en la Sierra Madre Oriental según la carta climatológica de García (1998). El desglose de los climas se encuentra en el anexo 1.

6.1.5 Isoyetas (Salinas-Rodríguez, 2015)

En el centro y norte de la SMOr hay una precipitación media anual de 300 mm, mientras que hay registros superiores de los 4,000 mm en el extremo sur de la provincia. Consecuencia se puede dividir la SMOr en tres regiones A) a lo largo de la vertiente del Golfo de México, desde el extremo sur de la SMOr, hasta el paralelo 23°30', esta región hay precipitaciones entre 1,200 hasta 4,000 mm. B) desde la continuación de la vertiente del Golfo de México hasta el paralelo 25° 40', en la vertiente al interior de la SMOr y al sur del paralelo 23°, donde se registran precipitaciones de 600 y 1,200 mm. C) zona que corresponde al resto de la SMOr, donde sus precipitaciones van desde 300 a 600 mm (figura 11).

6.1.6 Hidrografía (CONABIO, 1998b; CNA, 1998)

La SMOr se clasifica en siete regiones hidrológicas (figura 12), las cuales se dividen en 32 cuencas (figura 13) y 190 microcuencas (figura 13a Microcuencas de la Región Bravo-Conchos, b) Mapimí, c) Nazas-Aguanaval, d) El Salado, e) San Fernando-Soto La Marina, f) Pánuco, g) Norte de Veracruz).

De las 32 cuencas, 25 son endorreicas y siete son exorreicas (figura 14). Las primeras están ubicadas al oeste de la SMOr, en la ladera de sotavento y alimenta a las regiones del Salado, Nazas-Aguanaval y Mapimí. El segundo tipo de cuencas se ubican al este, en la ladera de barlovento y alimenta las regiones del Pánuco, Soto la Marina y San Fernando.

Las montañas tienen un papel importante en la captación del agua proveniente de los vientos alisios del Golfo de México, su estructura cárstica devuelve el agua en forma de manantiales y resurgencias. Debido a la porosidad de la roca, los cuerpos de agua lénticos son poco frecuentes. Por ende, la acumulación de agua y lagunas son principalmente temporales durante la época de lluvia, sobre todo, en la región sureste de la SMOr, donde la precipitación es elevada (figura 15).

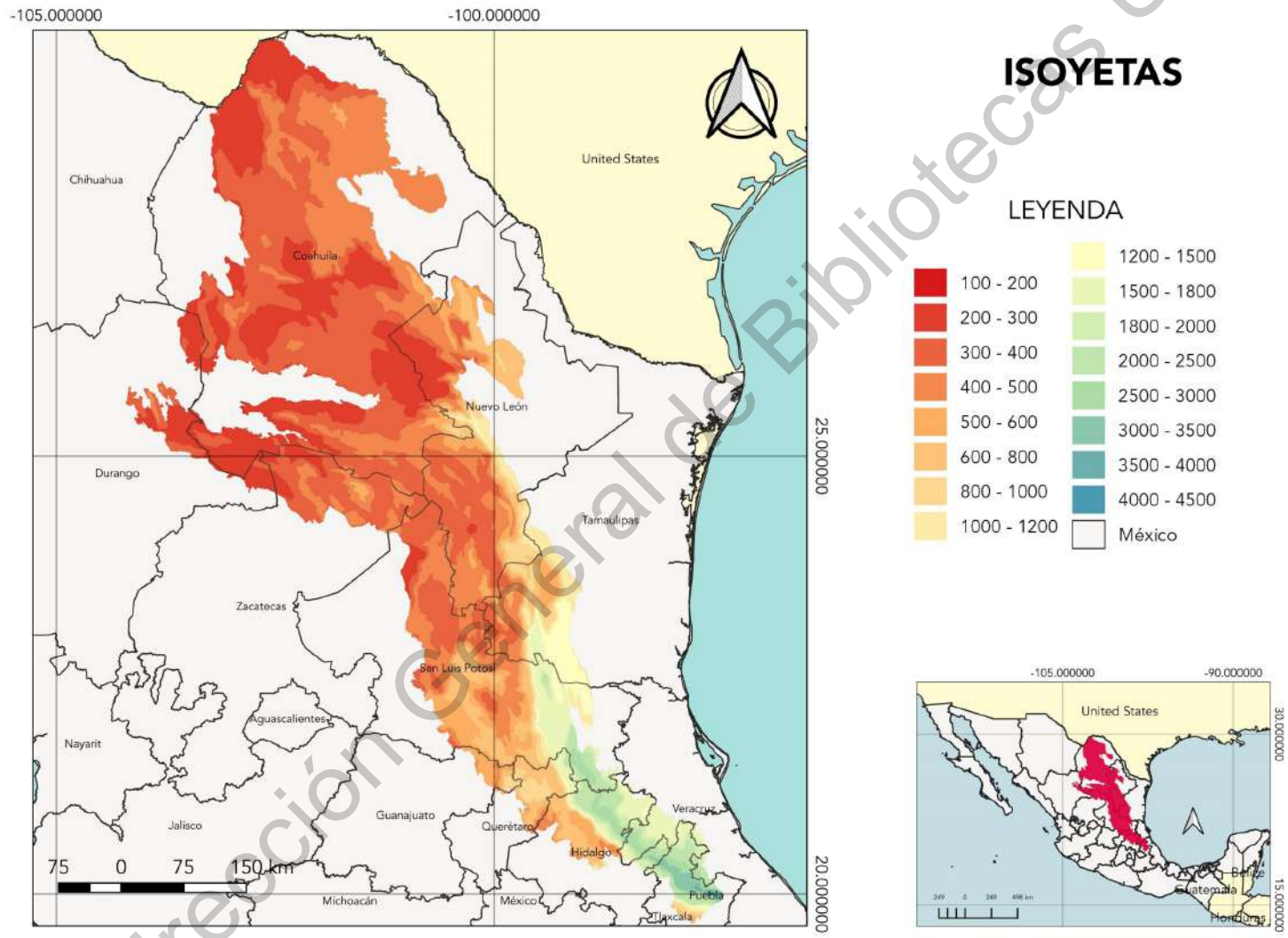


Figura 11. Rango de precipitación de la Sierra Madre Oriental según la carta climatológica de García (1998).

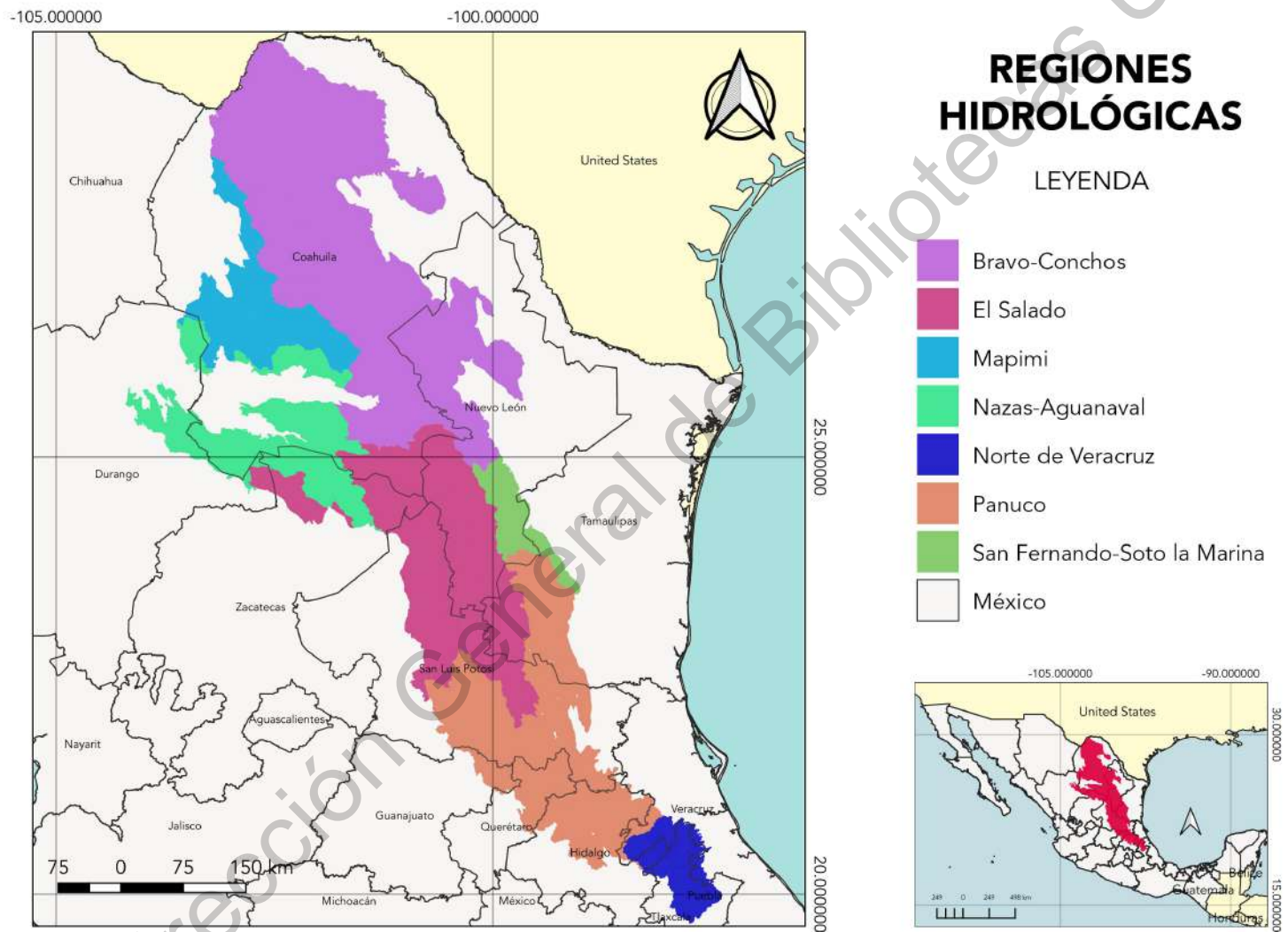


Figura 12. Regiones hidrológicas en las que se divide la Sierra Madre Oriental según la carta de hidrología de CNA (1998).

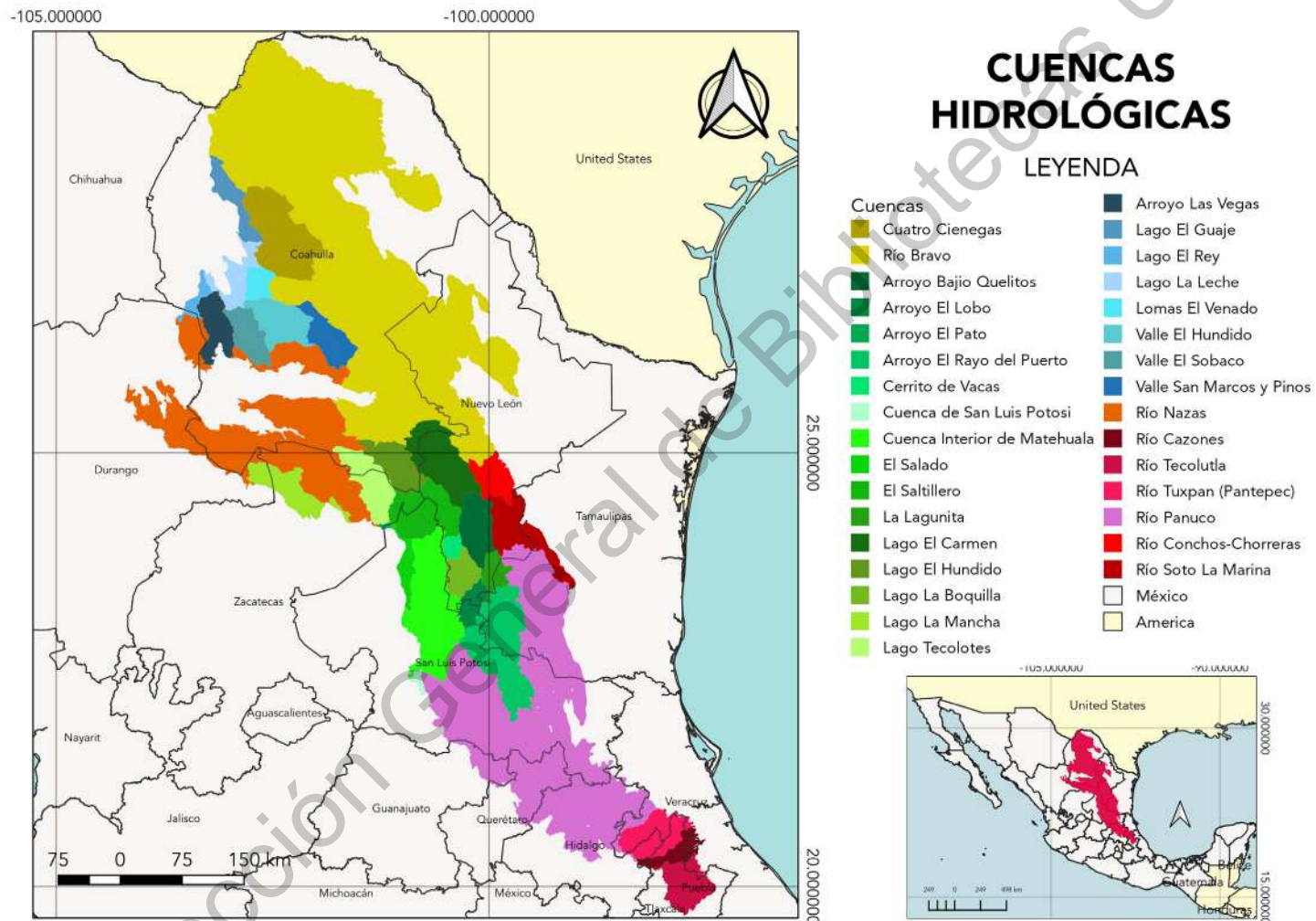
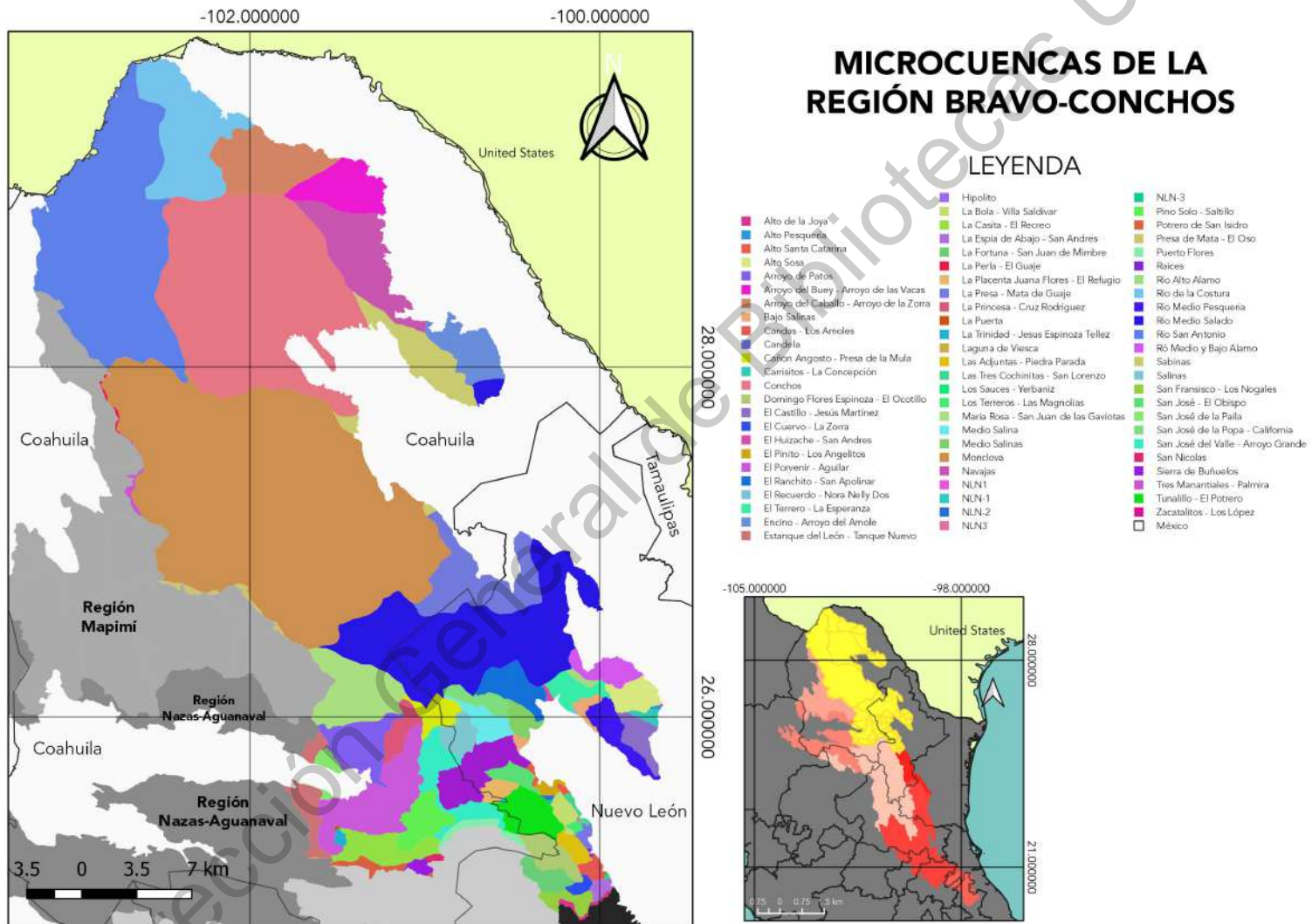


Figura 13. Cuencas hidrológicas que dividen la Sierra Madre Oriental según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b). Cada tono de color representa una región hidrológica. *Amarilla:* Bravo-Conchos, *Verde:* El Salado, *Azul:* Mapimí, *Naranja:* Nazas-Aguanaval, *Roja:* San Fernando-Soto La Marina, *Morado:* Pánuco, *Rosa:* Norte de Veracruz



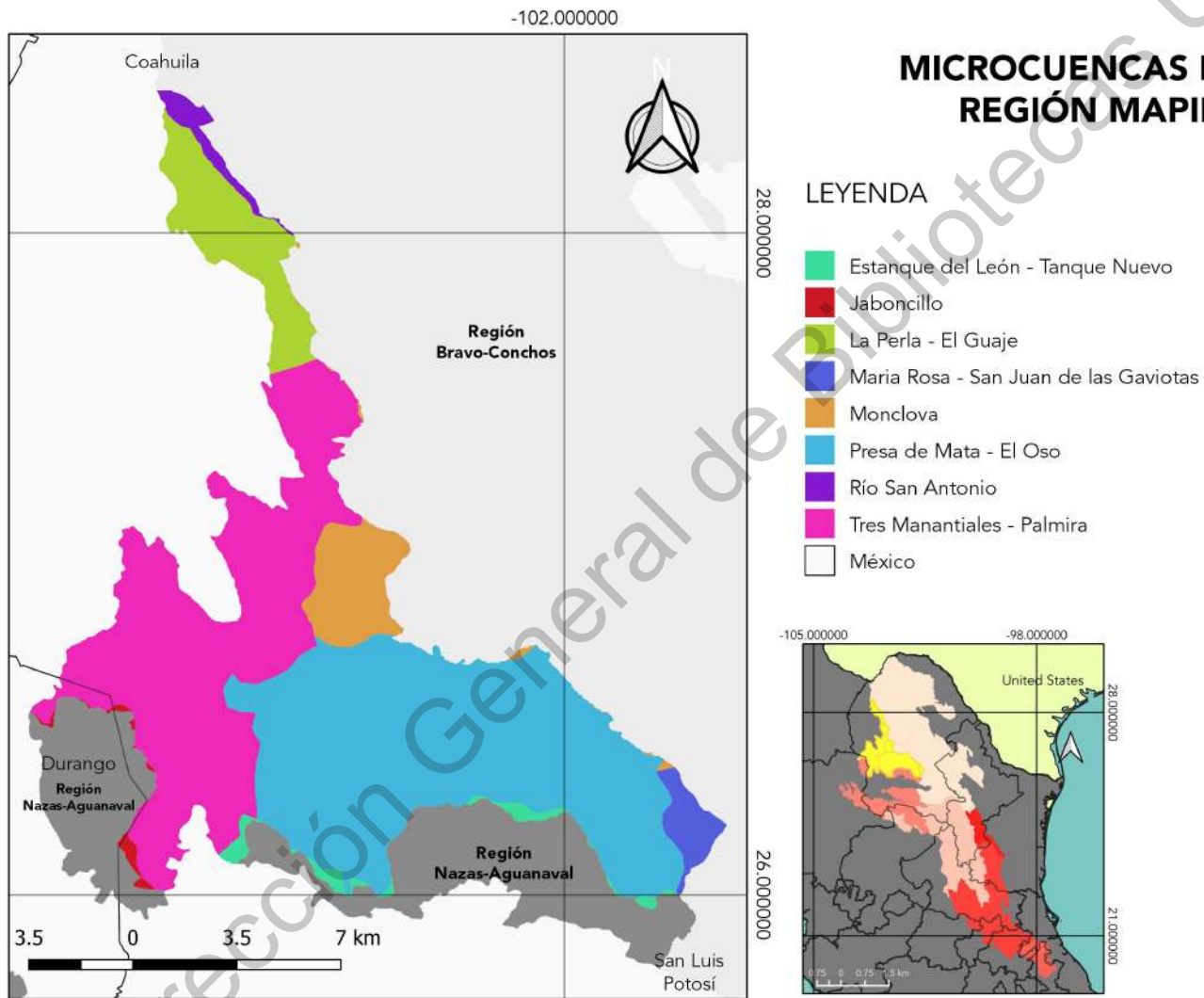


Figura 13b. Microcuencas de la Región Mapimí según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b).

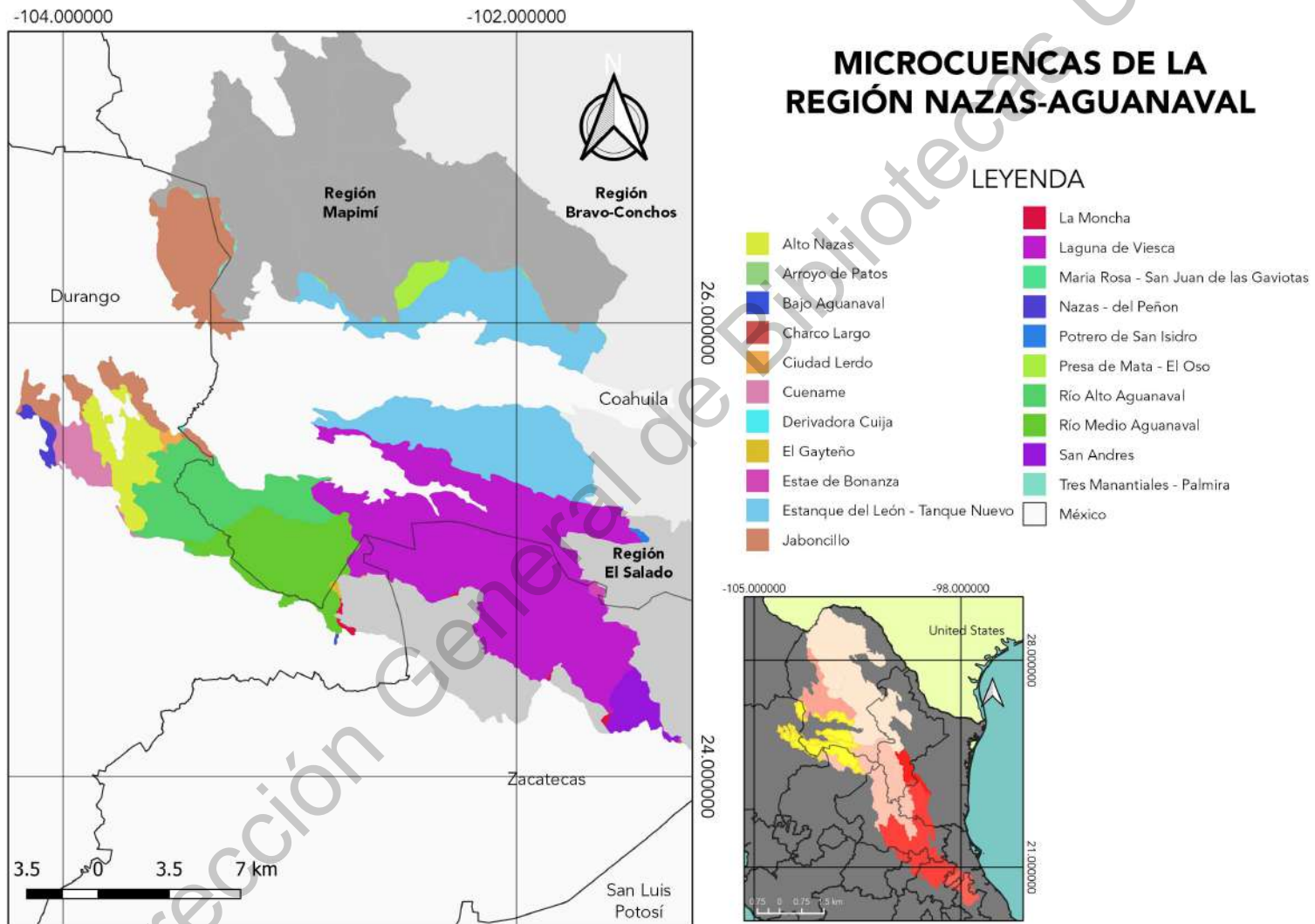


Figura 13c. Microcuencas de la Región Nazas-Aguanaval según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b).

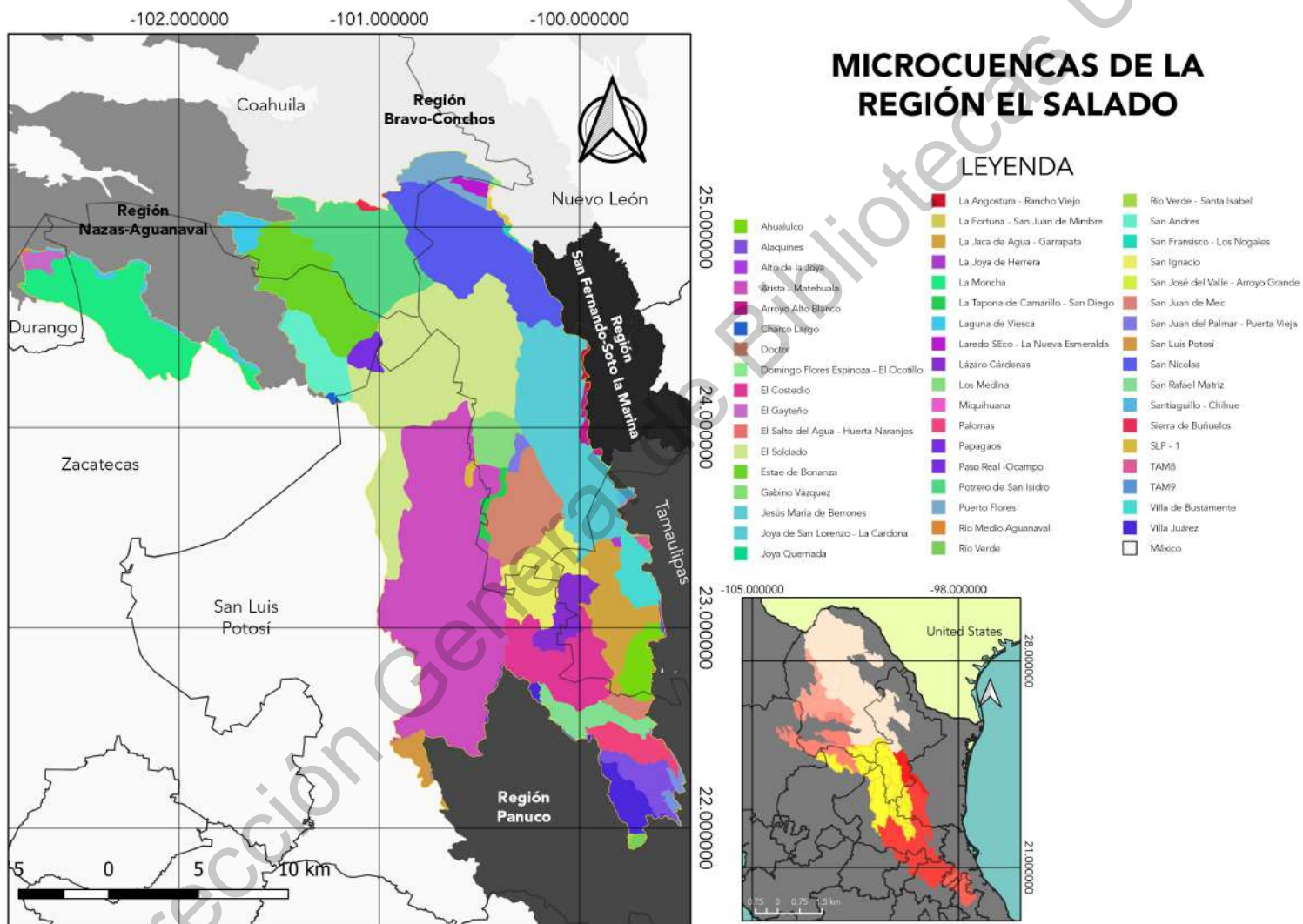


Figura 13d. Microcuencas de la Región El Salado según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b).

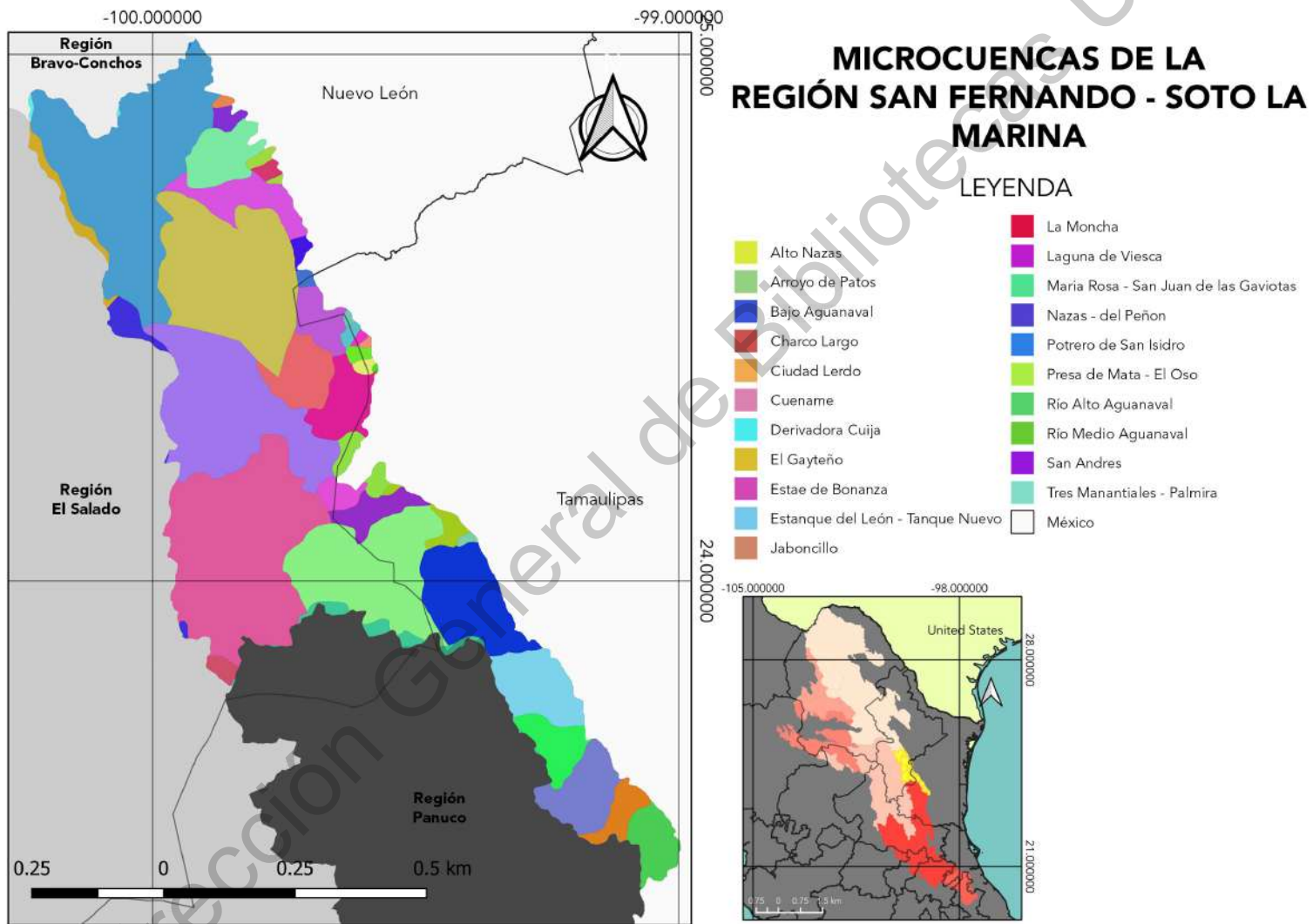


Figura 13e. Microcuencas de la Región San Fernando-Soto La Marina según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b).

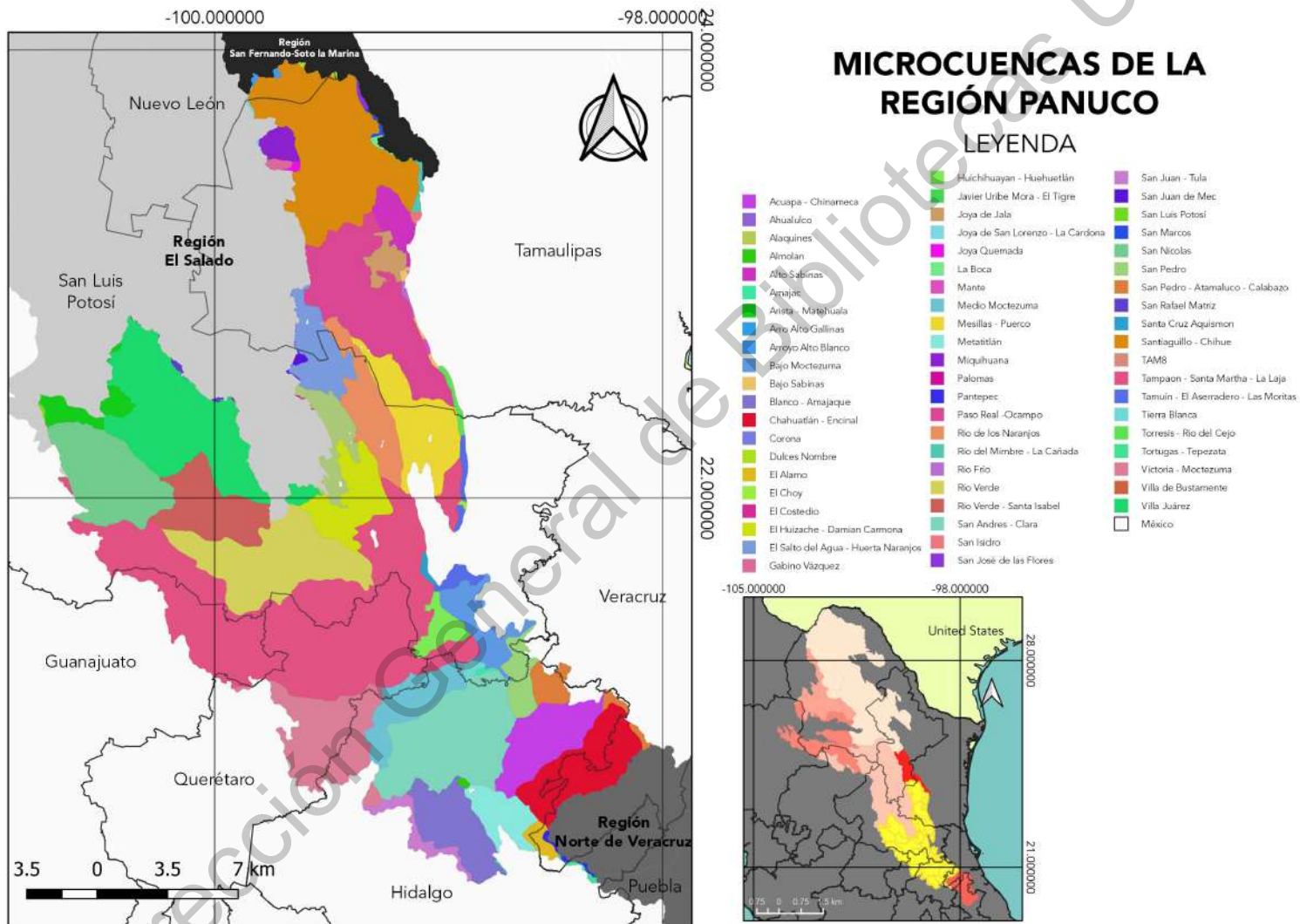


Figura 13f. Microcuencas de la Región Pánuco según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b).

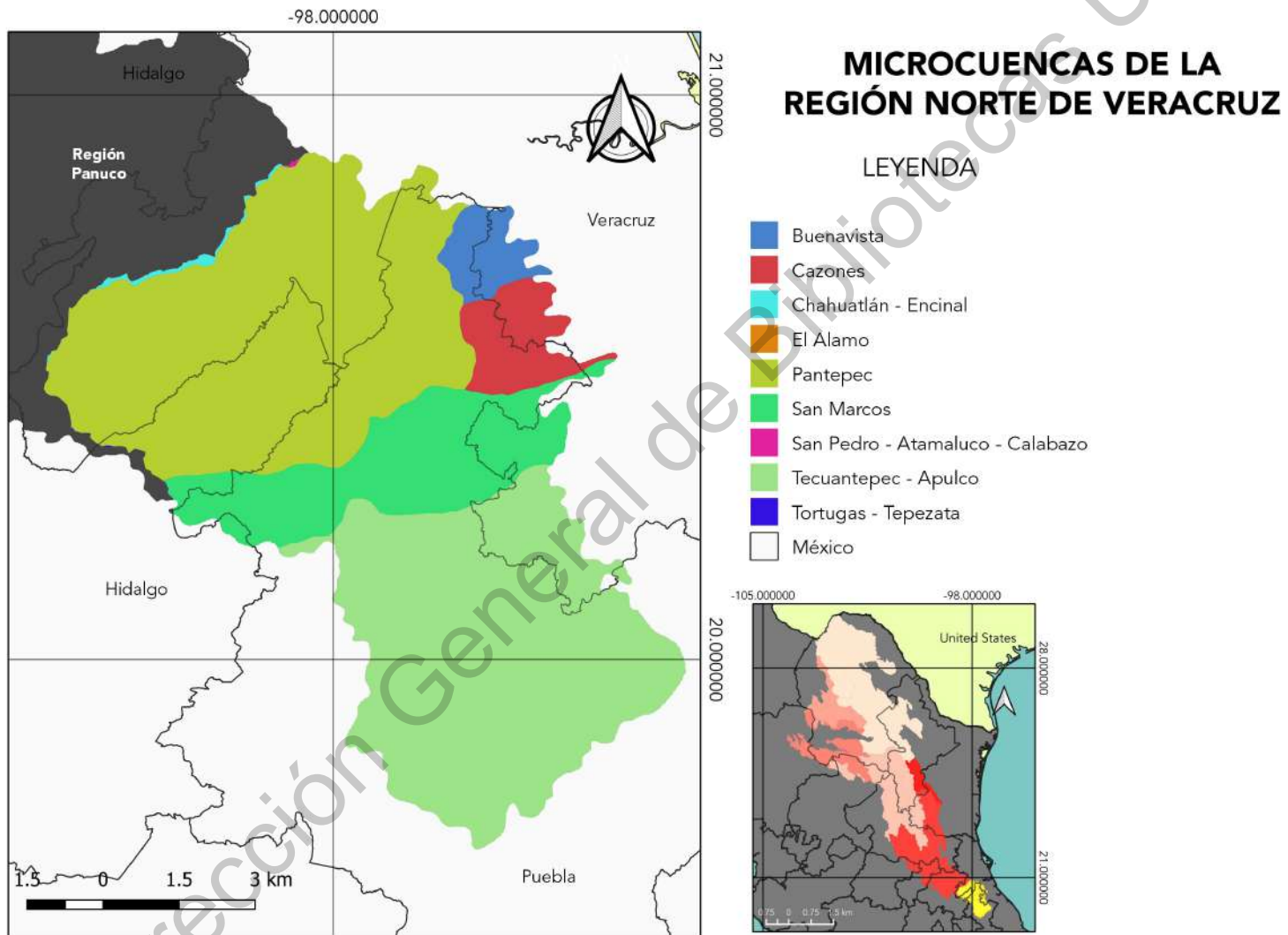


Figura 13g. Microcuencas de la Región Norte de Veracruz según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b).

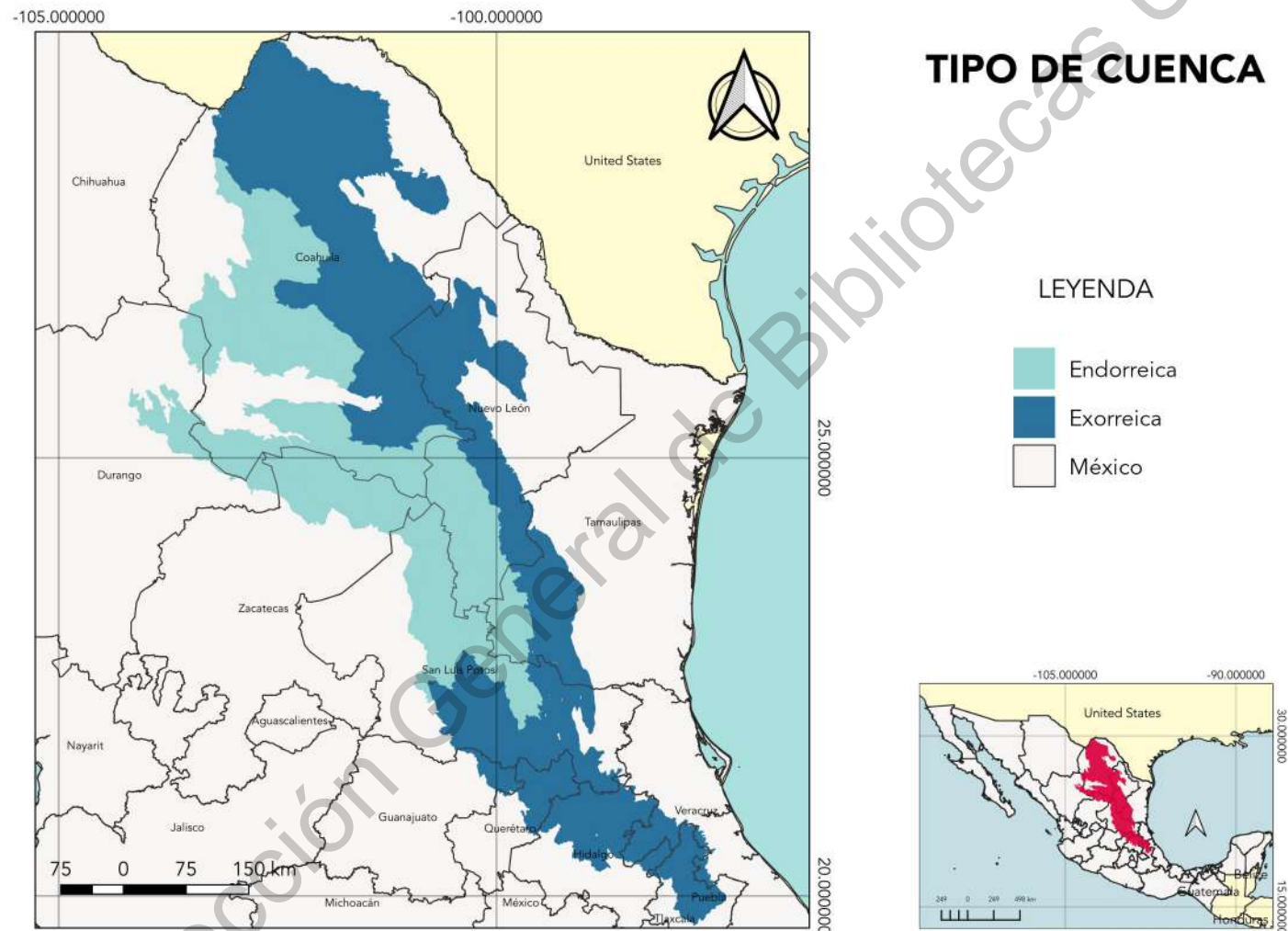


Figura 14. Tipos de desembocadura de las cuencas según la carta de subcuencas de la CONABIO (1998b). Endorreica: desemboca dentro del territorio; Exorreica: desemboca en el océano, en este caso en el Golfo de México.

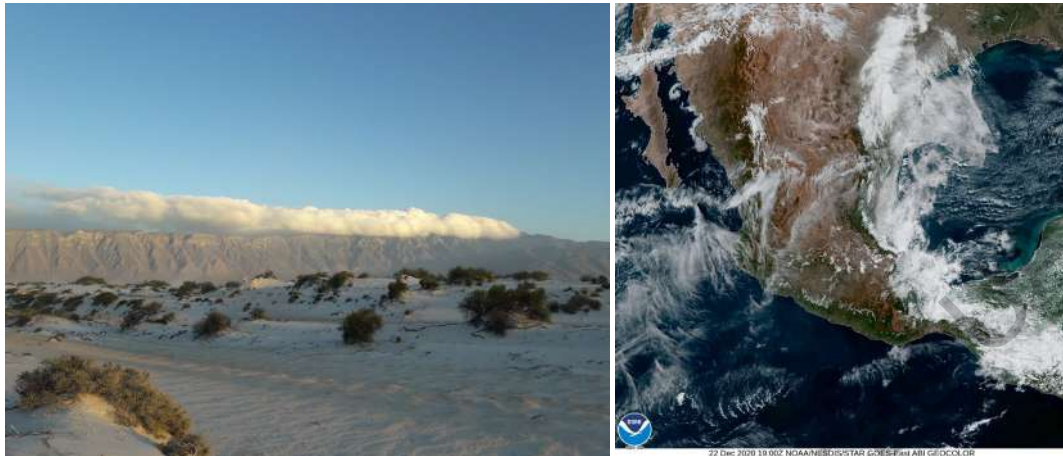


Figura 15. Efecto de sombra orográfica. Los vientos recargados de humedad procedente del océano (Golfo de México) no sobrepasan las altas cimas de la sierra y descargan la humedad en forma de lluvia sobre la ladera. Izquierda: Montaña ubicada en Cuatro Ciénegas, Coah. Derecha. Imagen satelital de la acumulación de nubes en la zona del Golfo de México (Imagen obtenida de Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, en línea)).

6.1.7 Tipos de vegetación y uso de suelo (INEGI, 2016)

La variación de la vegetación presente en la SMOr está asociada al gradiente altitudinal, relieve, tipos de suelos y climas. Según la carta de vegetación y uso de suelo del INEGI serie VI editada en el 2016, en la SMOr podemos encontrar 106 tipos de vegetación, ya sea naturales o modificados por las actividades antropogénicas (figura 16).

Los 106 tipos de vegetación y uso de suelo se pueden agrupar en agricultura de humedad (agrupando a dos variedades de vegetación), agricultura de riego (6), agricultura temporal (6), bosque de coníferas (3), bosque de encino (2), bosque de pino (2), bosque espinoso (3), bosque manipulado (2), bosque mesófilo de montaña (1), matorral desértico (2), matorral submontano (1), matorral xerófilo (3), palmar (2), pastizal (3), pastizal halófilo (1), selva alta perennifolia (1), selva mediana subcaducifolia (2), selva baja subcaducifolia (1), selva baja caducifolia (1), vegetación acuática (2), bosque de galería (3), vegetación de desiertos arenosos (1), vegetación gipsófila (2), vegetación halófila (2), vegetación secundaria arbórea

(6), vegetación secundaria arbustiva (28), vegetación secundaria herbácea (11); además, podemos encontrar asentamientos humanos, trayendo con ellos la introducción de flora exótica (en el anexo 2 se presenta el desglose de cada tipo de vegetación).

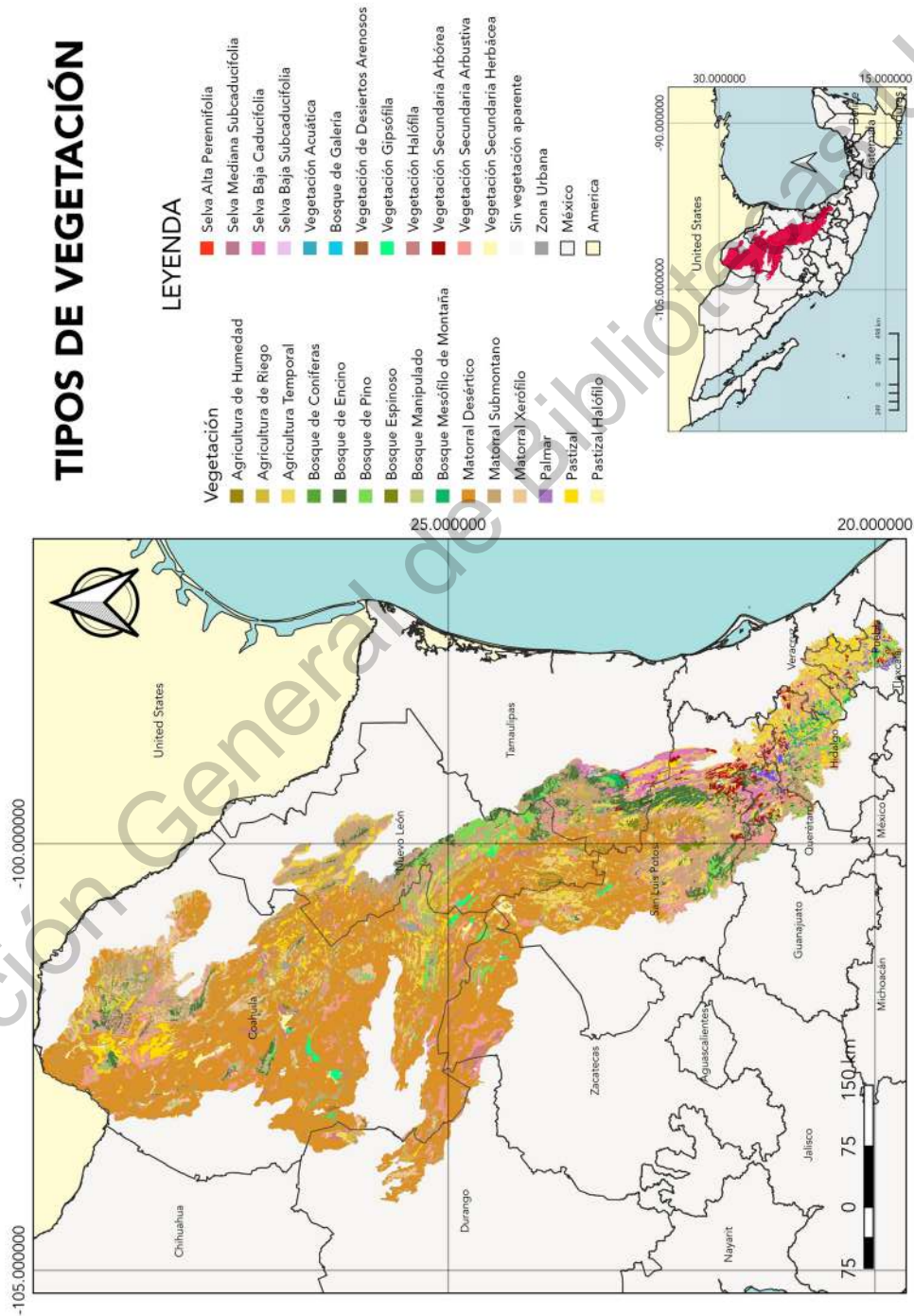


Figura 16. Clasificación de los tipos de vegetación y usos de suelo presentes en la Sierra Madre Oriental de acuerdo con la carta de tipos de vegetación del INEGI (2016). El desglose de los tipos de vegetación se encuentra en el anexo 2

La vegetación correspondiente al matorral desértico rosetófilo es la que más ocupación territorial cuenta (6,786,156.188 ha), enseguida de matorral desértico micrófilo (6,758,286.598 ha) (figura 17) y agricultura de temporal anual (2,874,662.691 ha), mientras que la vegetación secundaria arbustiva de selva baja subcaducifolia es la menor presente en la SMOr (54.921 ha), siguiendo de vegetación halófila hidrófila (58.693 ha) y vegetación secundaria herbácea de vegetación halófila xerófila (189.118 ha).



Figura 17. Matorral desértico micrófilo en Cuatro Ciénegas, Coah.

Rzedowski (1978) consideró dos subtipos de vegetación únicos para la SMOr. El primero nominado como matorral de coníferas, dominado por pinos enanos de *Pinus culminicola*, ubicado en las partes altas de las cumbres en los estados de Nuevo León y Coahuila. Sin embargo, los incendios atacan este tipo de vegetación colocándolo en riesgo. El segundo subtipo es el matorral submontano; ubicado en la transición a los encinares de las partes medias del faldeo oriental. Algunas de las especies de este tipo de matorral pierden las hojas durante la temporada seca.

6.2 Análisis

6.2.1 Bases de datos

De acuerdo con Lot *et al.* (2015), Bonilla-Barbosa (2004), Bonilla-Barbosa *et al.* (2000), Lot *et al.* (1986), Dalton *et al.* (1983), se definió como “plantas acuáticas estrictas” a las plantas que completan su ciclo de vida siempre en presencia de agua y suelos permanentemente saturados, sin importar si estas se encuentran completamente sumergidas, emergiendo o flotando. Este grupo de plantas no sobreviven estando fuera de agua por cortos lapsos de tiempo.

Con base en Lobato-De Magalhães y Martínez (2018), Francisco-De la Cruz *et al.* (2017), Heynes-Silerio *et al.* (2017), Den *et al.* (2016), Mora-Olivo *et al.* (2016), Bonilla-Barbosa *et al.* (2015), Lot (2015), Mora-Olivo *et al.* (2013), Mora-Olivo *et al.* (2008), Bonilla-Barbosa (2007), Bonilla-Barbosa (2004), Martínez y García (2001); se desarrolló un inventario general de la flora acuática presente en México. De acuerdo con el inventario de la flora en la SMO de Salinas-Rodríguez *et al.* (en rev.), Salinas-Rodríguez (2015), Mora-Olivo y Novelo (2005) y Bonilla-Barbosa (2004), se extrajeron las especies de acuáticas estrictas ubicadas en la provincia.

Para el actual trabajo y con base en Lot (2017, 2015), Lot *et al.* (2013), Lot y Novelo (1988) y Dalton *et al.* (1983), se utilizó la clasificación y definición de las formas de vida de las especies acuáticas estrictas de la siguiente manera (figura 18):

Enraizada emergente: plantas arraigadas al sustrato. Tallos y órganos reproductores sobresalen de la superficie del agua.

Enraizada sumergida: plantas arraigadas al sustrato. La estructura vegetal se encuentra debajo del agua. Los órganos reproductores pueden estar sumergidos o emergidos.

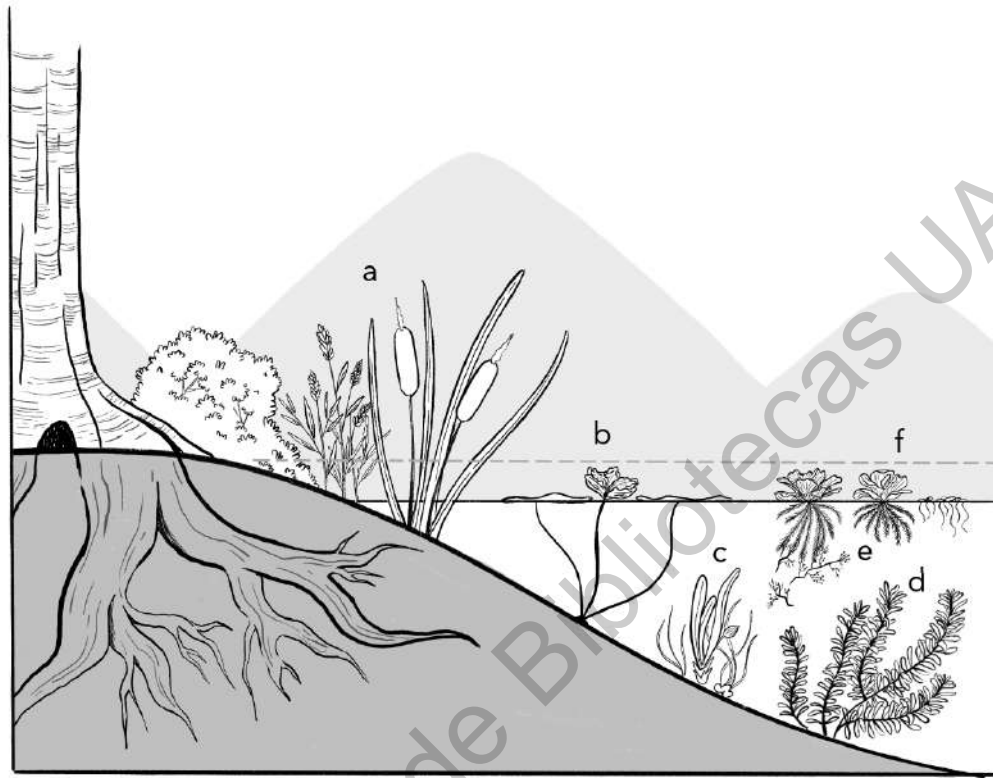


Figura 18. Clasificación de las formas de vida que presentan las plantas acuáticas según la clasificación de Lot (2017, 2015), *Lot et al.*, (2013), Lot y Novelo (1988), Dalton *et al.*, (1983). A) enraizada emergente, B) enraizada de hojas flotantes, C) enraizada sumergida, D) enraizada de tallos flotantes, E) libre sumergida, F) libre flotadora.

Enraizada de hojas flotantes: plantas arraigadas al sustrato. Las hojas se encuentran flotando en la superficie del agua y sus flores sobresalen.

Enraizada de tallos flotantes: plantas arraigadas al sustrato. Los tallos se encuentran flotando en la superficie del agua, los órganos vegetativos pueden estar emergiendo o flotando. Los órganos reproductivos se encuentran sobresaliendo de la superficie del agua.

Libre flotadora: plantas no arraigadas al sustrato. Sus estructuras vegetales y reproductoras se encuentran flotando en la superficie del agua. El sistema radical se encuentra sumergida.

Libre sumergida: plantas no arraigas al sustrato. Sus estructuras vegetativas se encuentran sumergidas. Los órganos reproductores sobresalen ligeramente de la superficie del agua.

Con base en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 (Denisse, 2010), la modificación de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Trujillo, 2019) y la Lista Roja de la International Union for Conservation of Nature (IUCN) (IUCN Red List, en línea), se reportó el estado de conservación de las especies registradas para el área de estudio.

Se diferenciaron las especies como “introducidas” y “traslocadas” con base en Bonilla-Barbosa y Santamaría (2014) y Mora-Olivo *et al.* (2013). Definiendo a una especie introducida como aquella que proviene de otro país; mientras que una especie traslocada se definió como aquella que habita en México, pero es introducida a otras zonas del mismo país (Díaz, 2011). Las especies introducidas no se consideraron para este trabajo. El endemismo de las especies se reportó con base en Villaseñor (2016) y Salinas-Rodríguez *et al.* (2017).

6.2.2 Minería de datos

Durante el periodo de abril y mayo del 2020 y usando la plataforma Global Biodiversity Information Facility (GBIF, en línea), se descargaron los registros de ocurrencias de cada una de las especies. La búsqueda en el portal se filtró a partir de “Muestra de material” y “Ejemplar preservado”, y la delimitación solo para el país.

Se verificaron de manera virtual los registros de los herbarios de la Universidad Autónoma de Querétaro (QMEX), Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU) y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (SLPM). En esta etapa se enfocó principalmente a las especies con pocos o con ningún registro en la plataforma de GBIF para la SMOr.

6.2.3 Purificación de datos

Se revisó la ocurrencia de GBIF por cada especie. Usando Google Earth, Google Maps, datos del herbario MEXU y literatura, se verificó que las localidades y coordenadas que se mencionaban correspondieran al registro. Las coordenadas cuyas localidades no correspondían con lo registrado, se cambiaron a lo más cercano de la localidad. Las localidades que no se presentaban en la SMOr, no se proseguían a buscar las coordenadas y se marcaba solo su estado.

En el caso de los herbarios, se aplicó la misma metodología, se filtraron los registros por estados y enseguida por municipio, solo se recuperaron la información de las localidades que se encuentran dentro de la SMOr. Se buscaron las coordenadas de los registros que no las presentara, con base en lo que se mencionara en la localidad, para acercarnos lo más posible al sitio original.

6.2.4 Modelado y análisis

Usando el programa de libre acceso QGIS versión 3.16 (QGIS, 2020) se generaron los mapas de distribución actual, así como los mapas de las características generales de la SMOr. Se extrajeron las características ambientales de cada registro interponiendo los puntos georreferenciados con las siguientes capas: altitud (CONABIO, 1998a), clima e isoyetas (García, 1998), tipos de vegetación y uso de suelo (INEGI, 2016), tipos de suelo (INEGI, 2013), subprovincias fisiográficas (INEGI, 2001), regiones y cuencas hidrológicas (CONABIO, 1998b).

Se generaron los modelos de riqueza, diversidad y nicho ecológico con el software de Diva-Gis (Hijmans *et al.*, 2020).

Se definió una gradilla con un intervalo de .20, que equivale a rectángulos de 20 x 22 km y un área de 440 km², para analizar la **riqueza**, se empleó el método de "riqueza específica", la cual consiste en el número de especies presentes en tiempo

y espacio de la flora acuática estricta de la SMOr (Moreno, 2001). El análisis se generó a partir de la variable de “número de diferentes clases” (especies) que se registraron durante la minería de datos. Esta variable cuenta las especies presentes en una celda de la gradilla (Hijmans *et al.*, 2004).

Empleando los mismos atributos de la gradilla, se analizó la **diversidad**, la cual se definió como la cuantificación y representatividad de las especies en un hábitat para reflejar cambios en la riqueza, distribución de la abundancia o en la dominancia de las especies (Moreno, 2001) de flora acuática estricta de la SMOr. Para medir la diversidad se usaron los índices de Simpson (λ) y Shannon (H') cuyas fórmulas usadas en el software fueron tomadas de Magurran (1988) citado en Hijmans *et al.* (2004).

El índice de Simpson (λ) se clasifica como índice de dominancia por número de individuos por especie, que considera la representatividad de las especies con mayor importancia (Moreno, 2001). Refleja la probabilidad de obtener individuos de la misma especie si son tomados aleatoriamente (Moreno, 2001). La fórmula empleada es:

$$\lambda = \sum \left(\frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)} \right)$$

N = número de observaciones por celda

n_i = número de individuos en la clase i-ésima

Por motivo de que el índice decrece cuando la diversidad incrementa, Diva-Gis expresa el valor como $1-\lambda$.

El índice de Shannon (H') se clasifica como un índice de equidad, que asume que todas las especies están representadas en la muestra y predice el promedio de

incertidumbre de tomar una especie forma aleatoria (Moreno, 2001). La fórmula empleada es:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

p_i = abundancia proporcional a la clase i-ésima = n_i/N

El modelo de nicho se generó usando el total de registros obtenidos de la minería de datos de todas las especies. Se usaron los datos climáticos de Worldclim versión 1.3 (altitud, precipitación, temperatura máxima y mínima, y 19 variables climáticas (tabla 1) (Fick y Hijmans. 2017) a una resolución de 10 m. Las cuadrículas de 17 x 19 km fueron establecidos automáticamente por el programa, dando un área de 323 km².

Tabla 1. Descripción de las 19 variantes de WorldClim (en línea).

Clave	DESCRIPCIÓN
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Intervalo diurno medio (media mensual (temp max - temp min)
BIO3	Isotermalidad (Bio2/Bio7)(100)
BIO4	Temperatura estacional (desviación estándar x 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual (Bio5 - Bio6)
BIO8	Temperatura media del cuatrimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del cuatrimestre más seco
BIO10	Temperatura media del cuatrimestre más caliente
BIO11	Temperatura media del cuatrimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Precipitación estacional (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más caliente
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío

Mediante el software Multi-Variate Statistical Package (MVSP) versión 3.1 (Kovach, 2007) y con el fin de conocer la similitud entre variables y casos (especies o áreas), se usó el Coeficiente de Similitud de Sørensen (I_s) basándose en el método de distancias por métodos algorítmicos UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Means) con el propósito de obtener longitudes de las ramas simultáneamente con la topología enraizada.

La fórmula que es utilizada para el Coeficiente de Similitud de Sørensen (I_s) es:

$$I_s = \frac{2c}{a + b}$$

Donde:

a = número de especies presentes en el sitio A

b = número de especies presentes en el sitio B

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B

Para verificar si la distribución de las especies se correlaciona con las características ambientales de las cuencas, se construyó una matriz binomial (0 y 1) con los siguientes casos y variantes: A) cuencas hidrológicas y las especies registradas. B) cuencas hidrológicas y sus características ambientales (tipos de vegetación y uso de suelo, climas, edafología, altitud máxima y mínima, precipitación máxima y mínima). C) especies de acuáticas estrictas y sus características ambientales (tipos de vegetación y uso de suelo, climas, edafología, altitud, precipitación).

VII RESULTADOS

7.1 Especies estrictamente acuáticas

Se registran 99 especies de plantas acuáticas estrictas repartidas en 37 familias y 61 géneros (apéndice 1).

Las familias Araceae y Cyperaceae son las mejores representadas con 11 especies (11.11%) por familia, seguido de Potamogetonaceae con nueve especies (9.09%), Pontederiaceae con ocho especies (8.08%) (figura 19). Los géneros *Eleocharis*, *Heteranthera*, *Lemna*, *Nymphaea*, *Potamogeton* y *Sagittaria* son los más diversos con seis especies (6.06%) cada uno (figura 20).

La forma de vida más rica fue hidrófitas enraizadas emergentes con 52 especies (52.52%), seguida de hidrófitas enraizadas de tallos flotantes con 19 especies (19.19%) e hidrófitas libres flotadoras con 12 especies (12.12%) (figura 21).

En cuanto a endemismos, para México se registraron las especies: *Eleocharis densa*, *Jaegeria purpurascens*, *Lobelia purpusii*, *Noveloa coulteriana*, *Nymphaea gracilis*, *Podostemum ricciiforme* y *Utricularia perversa*. Mientras que, *Erigeron heteromorphus* se registró para la SMO (apéndice 1).

En categoría de especies introducidas, se registraron *Azolla filiculoides*, *Egeria densa*, *Hydrilla verticillata*, *Hygrophila polysperma*, *Myriophyllum aquaticum*, *Nasturtium officinale* y *Eichhornia crassipes*. Sin embargo, estas especies no se consideran en las 99 especies reportadas para el presente trabajo.

Considerando la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, las especies *Nymphaea gracilis* y *Nymphaea mexicana* se encuentran en la categoría de "Amenazada"; *Lemna trisulca*, *Noveloa coulteriana*, *Podostemum ricciiforme* y *Potamogeton natans* están sometidas a "Protección especial"; y *Heteranthera mexicana* se encuentra en "Peligro de extinción". Siguiendo la clasificación de la

lista roja de la IUCN, 52 especies están dentro de la categoría “Preocupación menor” (apéndice 1).

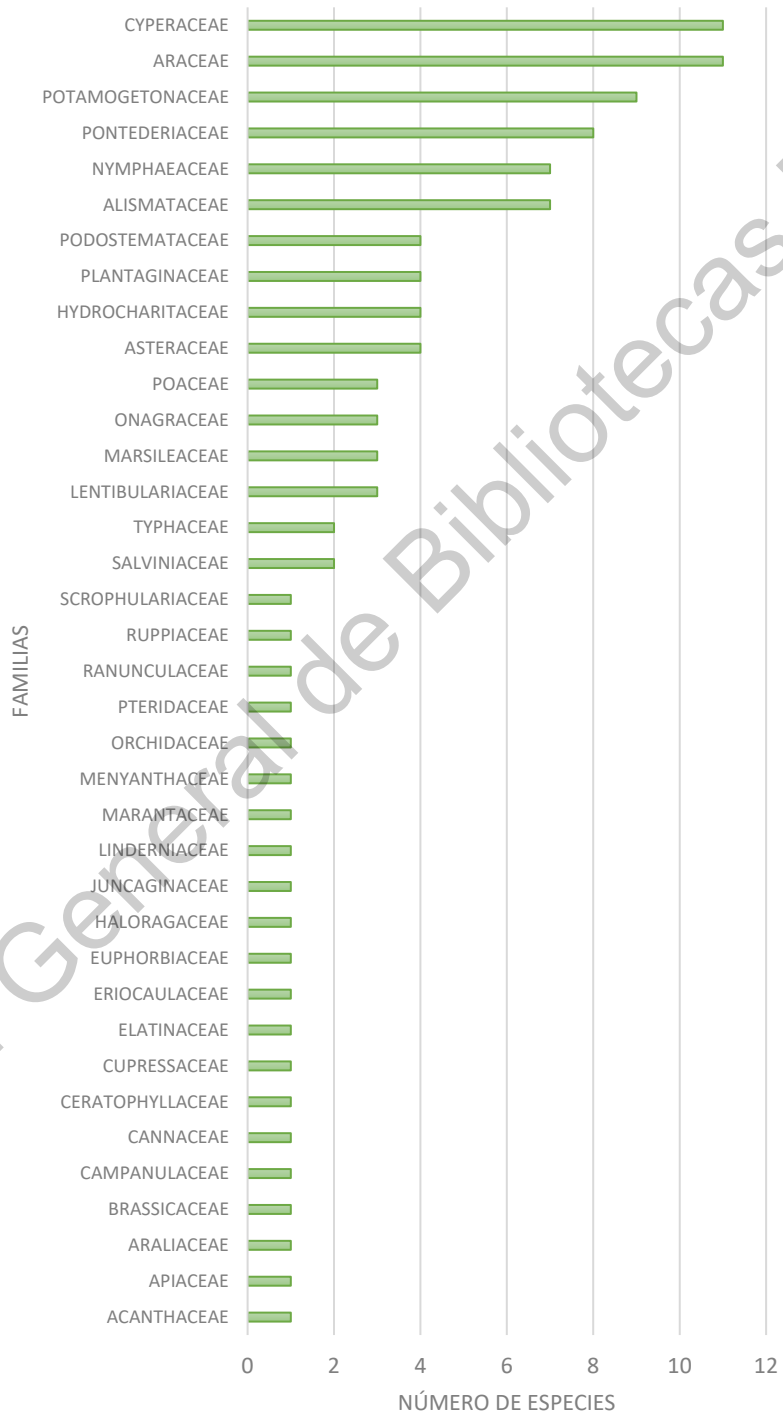


Figura 19. Número de especies pertenecientes a cada familia de plantas acuáticas estrictas.

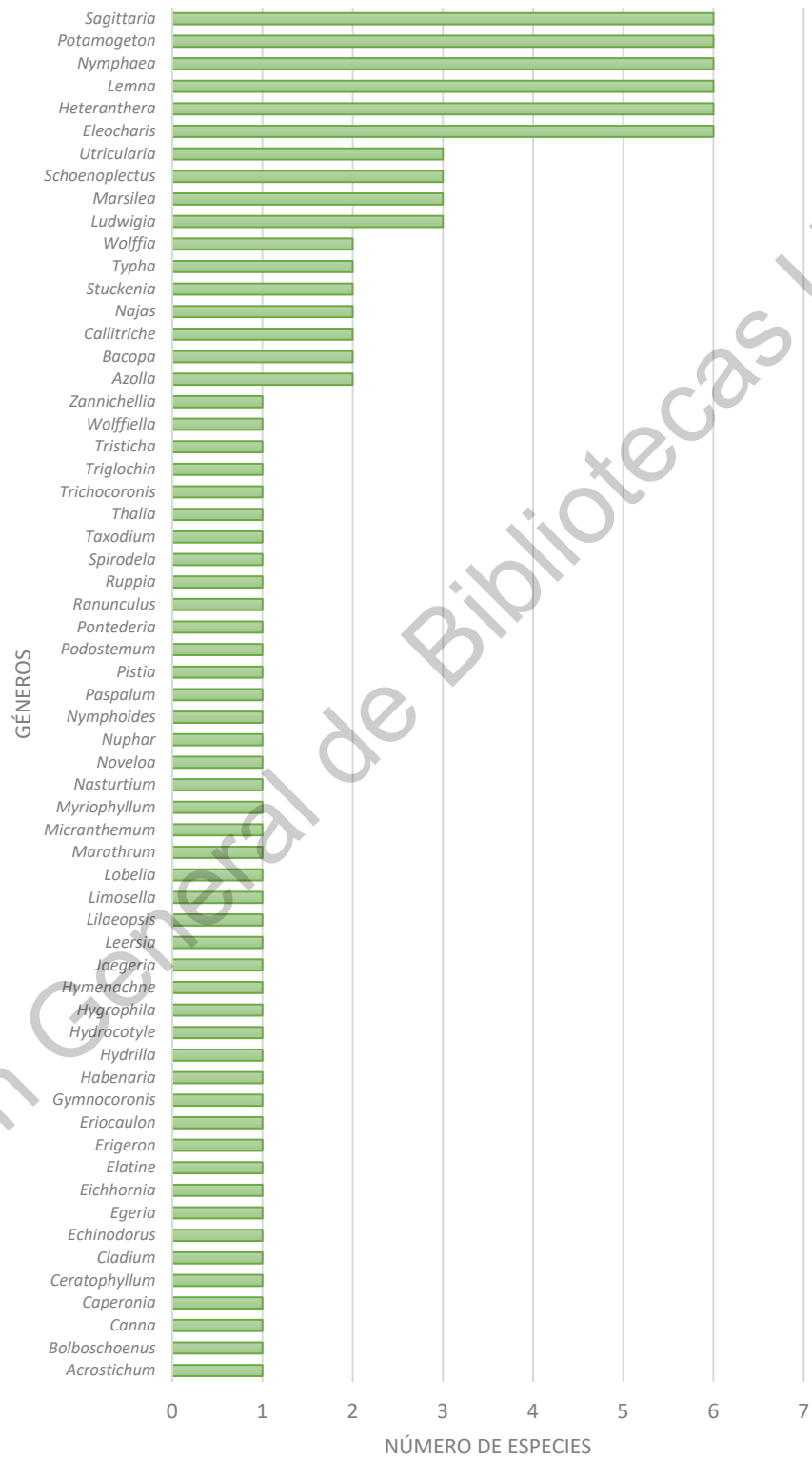


Figura 20. Número de especies pertenecientes a cada género de plantas acuáticas estrictas.

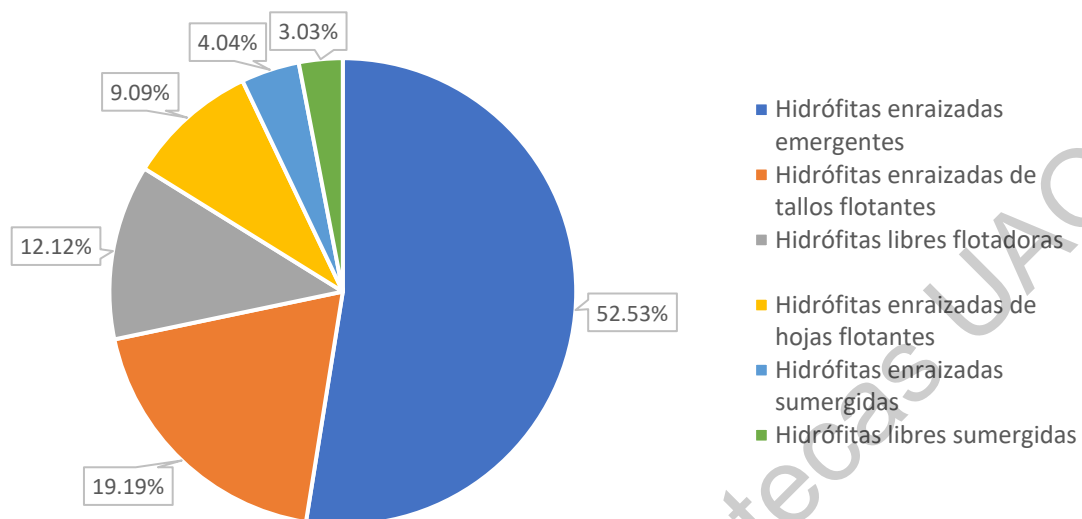


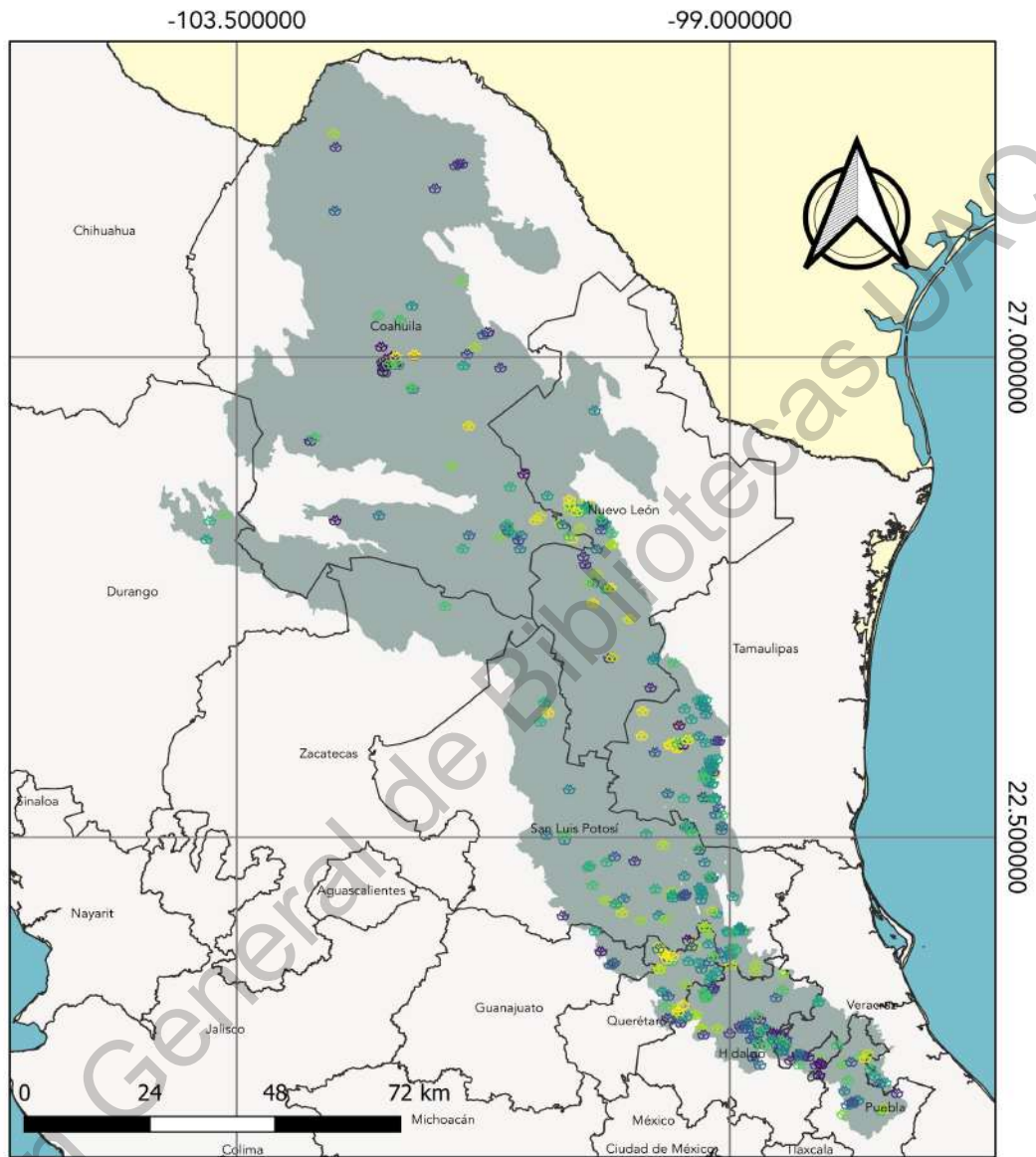
Figura 21. Porcentaje de especies según sus formas de vida de las plantas acuáticas.

7.2 Datos georreferenciados

A partir de la minería de datos 99 especies para la SMOr. Sin embargo, 76 especies (76.76%) presentaron al menos un dato georreferenciado dentro del polígono de la SMOr (figura 22). Los siguientes datos mostrados son partiendo de las especies georreferenciadas. Se recuperaron 624 registros, de los cuales 483 son datos únicos no repetitivos tanto en localidad como ambiental. En el apéndice 2 se registran las características ambientales que comparte cada especie.

Taxodium mucronatum, *Najas guadalupensis* y *Paspalum distichum* son las especies con mayor número de registros georreferenciados con 33, 27 y 22 datos respectivamente. *N. guadalupensis* se registra en siete de los 11 estados que abarcan a la SMOr. *Cladium jamaicense* se presenta en seis de las ocho subprovincias de la SMOr. *P. distichum* y *Potamogeton nodosus* se ubican en cinco de las siete regiones hidrológicas, también, *P. nodosus* se encuentra en seis de las 32 cuencas hidrológicas.

De las ocho especies endémicas, solo se obtuvieron datos georreferenciados de *Erigeron heteromorphus*, *Lobelia purpusii*, *Utricularia perversa* y *Nymphaea gracilis*.



LEYENDA




-  Especie acuática estricta
-  SMO
-  México
-  Estados Unidos



Figura 22. Distribución actual de las especies acuáticas estrictas presentes en la SMOR.

7.2.1 Riqueza por estado

En el estado de Hidalgo se registran 36 especies (36.36%) de acuáticas estrictas, seguida de Coahuila y Querétaro con 31 especies (31.31%) cada una, y San Luis Potosí con 29 especies (29.29%). Los estados de Zacatecas y Durango presentan el menor número de especies con una (1.01%) y tres (3.03%) respectivamente (figura 23).

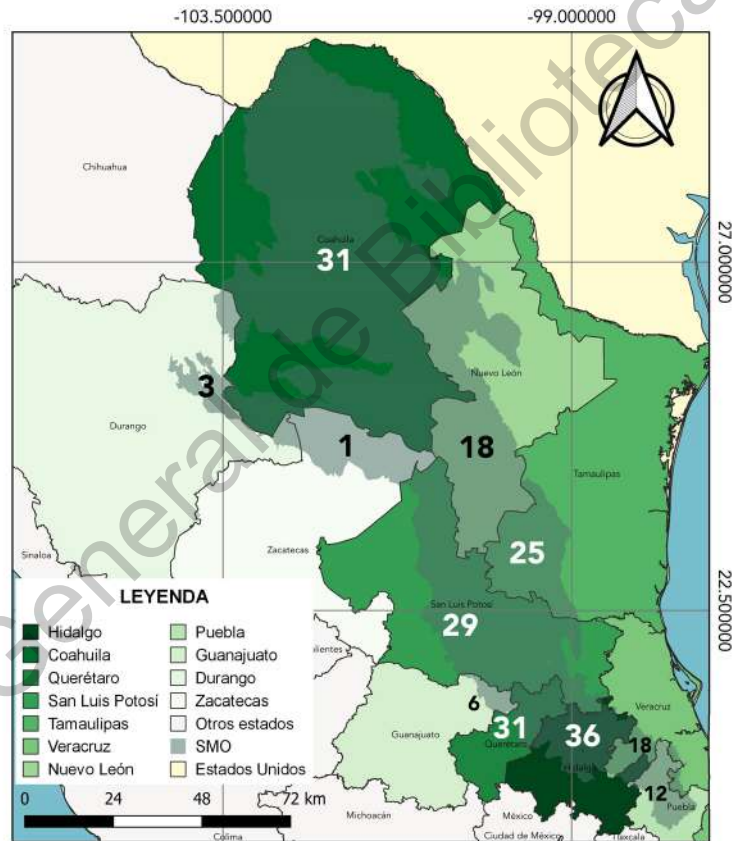


Figura 23. Número de especies de plantas acuáticas estrictas presentes en cada estado que forma parte de la SMO. La intensidad del color refleja que tantas especies hay por estado, entre más oscuro el tono, más especies.

7.2.2 Riqueza por región y cuenca hídrica

La región Pánuco cuenta con el mayor número de especies con 62 (62.62%), mientras que, la región Mapimí solo presenta dos especies (2.02%) (figura 24). De las 32 cuencas, solo 15 comparten alguna especie. Río Pánuco y Río Bravo son las cuencas con mayor número de registros con 62 especies (62.62%) y 34 especies (34.34%) respectivamente. Las cuencas con un menor número de registros de especies son La Lagunita con una especie (1.01%), Lago El Carmen y Valle El Sobaco con dos especies (2.02%) cada una. Las cuencas que no contienen ningún registro de especies, pertenecen a las regiones de El Salado y Mapimí (figura 25).

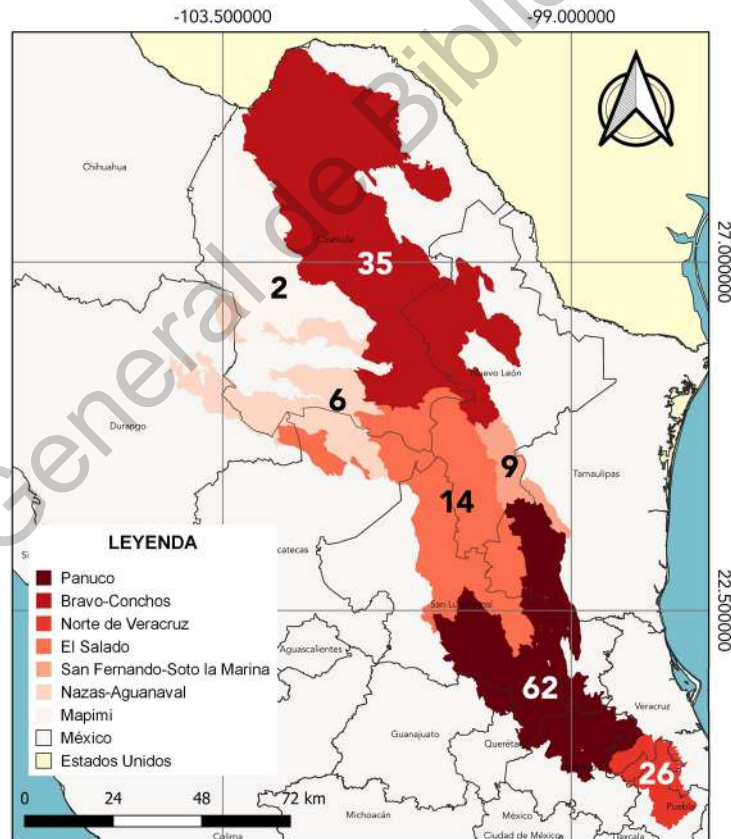


Figura 24. Número de especies de plantas acuáticas estrictas presentes en cada región hídrica de la SMOR. La intensidad del color refleja que tantas especies hay por región, entre más oscuro el tono, más especies.

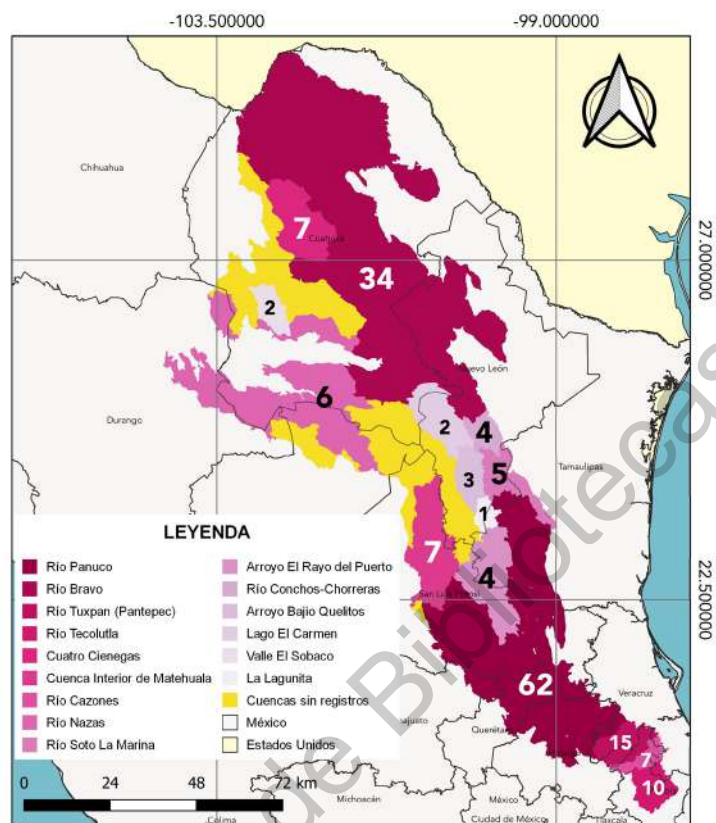
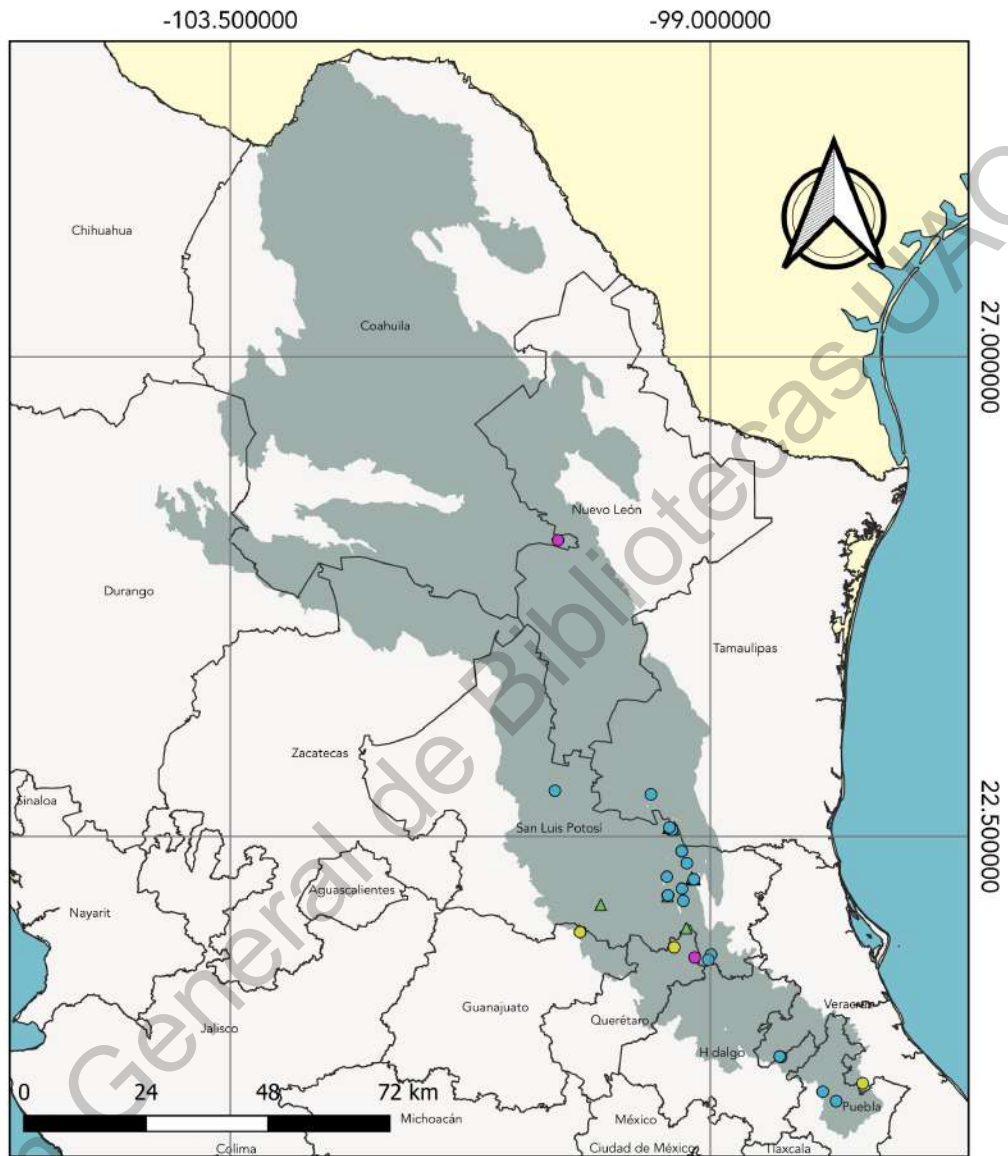


Figura 25. Número de especies de plantas acuáticas estrictas presentes en cada cuenca hidrológica. La intensidad del color refleja que tantas especies hay por cuenca, entre más oscuro el tono, más especies.

7.2.3 Especies endémicas

La mayor concentración de endemismos se ubica al sur de la SMO_r (figura 26). Se distribuye principalmente en las cuencas de Río Pánuco, Río Cazones, Río Tecolutla y Río Tuxpan (Pantepec). Las cuencas presentan una amplia variedad de tipos de vegetación y uso de suelo, además de una amplia variedad de suelos a excepción de planosol, solonetz, xerosol y yermosol. Los climas son variados, desde fríos, hasta secos subhúmedos, con un rango de precipitación entre los 300 y 4,500 mm. La única especie endémica que se distribuye al sur de la cuenca Río Bravo es *Utricularia perversa*, a una altitud aproximada de 2,550 msnm, asociada al bosque de pino, con un clima templado subhúmedo y un rango de precipitación entre los 800 y 1,000 mm.



LEYENDA

- ▲ *Erigeron heteromorphus*
- *Lobelia purpusii*
- *Nymphaea gracilis*
- *Utricularia perversa*
- SMO
- México
- Estados Unidos



Figura 26. Distribución actual de las especies acuáticas endémicas en la Sierra Madre Oriental. Triángulo: especie endémica a la SMO; Círculos: especies endémicas a México.

7.2.4 Preferencia climática

El mayor número de especies se presentan en climas templados subhúmedos de tipo (A)C y C(w) con 49 especies (49.49%), seguido de climas semisecas semicálidas de tipo BS1hw, semicálidos húmedos de tipo (A)C(fm) y (A)C(m)(w), y climas templados húmedos de tipo C(fm) y C(m) con 29 especies (29.29%) cada clima. Los climas semifrío subhúmedo de tipo C(E)(w1)(x'), semiseco cálido de tipo BS1(h')hw y BS1(h')hw(w), y seco templado de tipo BS0kw y BS0hw, presentan la menor cantidad de especies acuáticas estrictas con un registro (1.01%) respectivamente (figura 27).

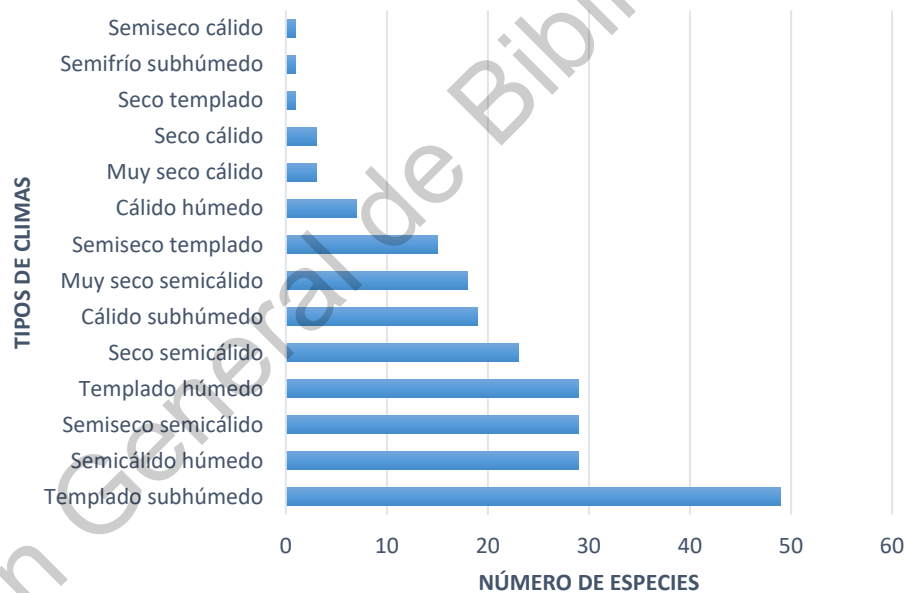


Figura 27. Gráfica del número de especies de plantas acuáticas estrictas distribuidas en los distintos tipos de climas. En el anexo 1 se especifica a detalle los climas que conforman a cada clasificación.

En relación con la precipitación anual, se registran un mayor número de especies afines a precipitaciones entre los 400 y 800 mm. Mientras que el número de las especies acuáticas estrictas disminuye conforme las precipitaciones superan los 2,000 mm.

7.2.5 Preferencia edafológica

Los suelos con dominancia de regosoles son los que comparten una mayor cantidad de registros de flora acuática estricta con 65 especies (65.65%), seguida de los suelos ricos en litosol con 64 especies (64.64%) y suelos con rendzina con 63 especies (63.63%). Mientras que los suelos con un menor número de registros son los que presentan una abundancia de fluvisol con cinco especies (5.05%) y planosol con una especie (1.01%) (figura 28).

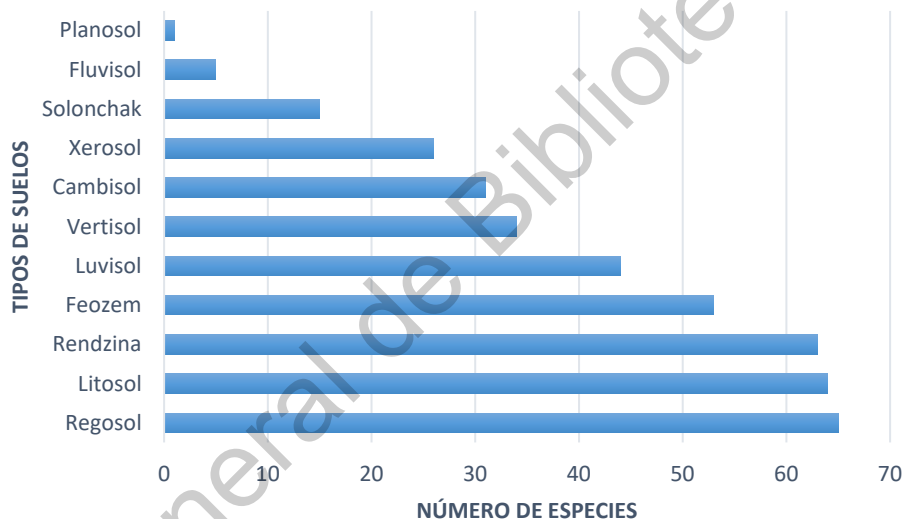


Figura 28. Gráfica del número de especies de plantas acuáticas estrictas afines a los tipos de suelos.

7.2.6 Preferencia por tipo de vegetación y uso de suelo

La vegetación acuática estricta se comparte en áreas donde el uso de suelo presenta agricultura temporal con 39 especies (39.39%) que se establecen en alguna de sus clasificaciones más específicas (anexo 1). Seguida de la vegetación secundaria arbustiva con 32 especies (32.32%), principalmente la vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino con nueve especies (9.09%) y al uso de suelo por agricultura de riego con 29 especies (29.29%). A comparación, los tipos de vegetación y uso de suelo como agricultura de humedad, bosque de galería,

bosque manipulado, vegetación de desiertos arenosos y vegetación secundaria herbácea, presentan solo una especie registrada (1.01%) (figura 29).

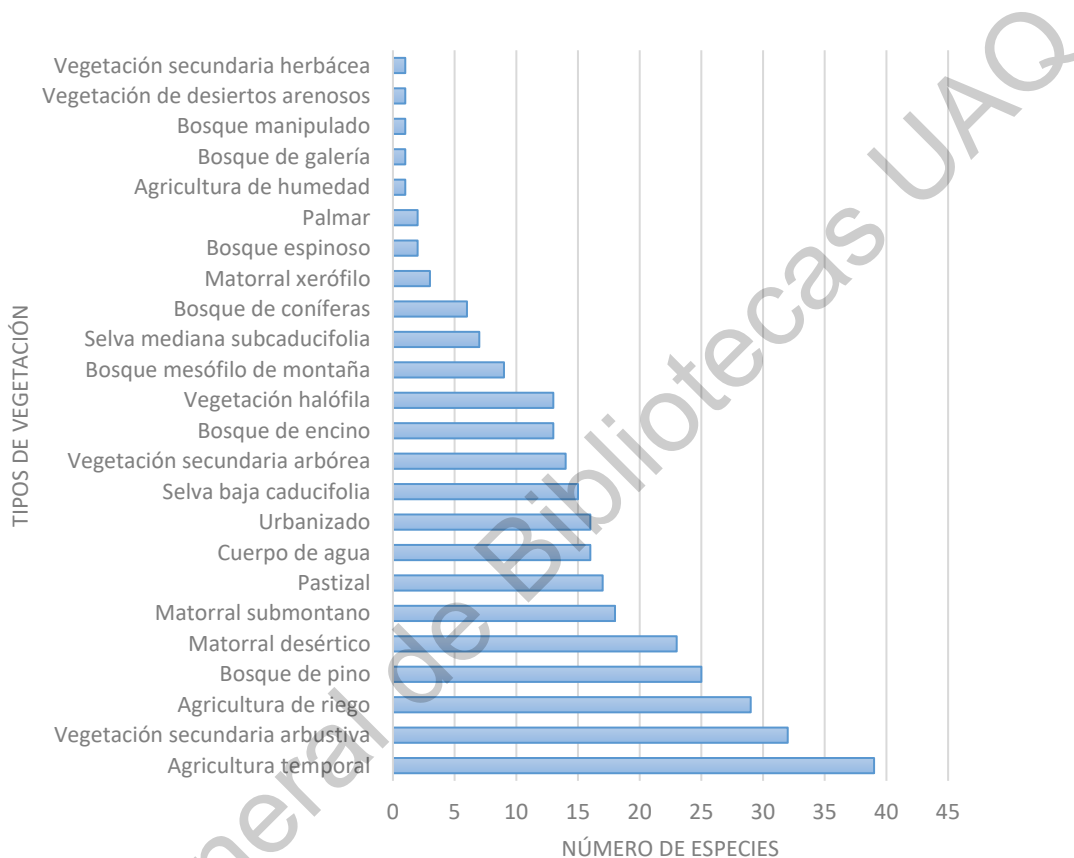


Figura 29. Gráfica del número de especies distribuidas en los distintos tipos de vegetación y uso de suelo. En el anexo 2 se especifica a detalle la vegetación que conforman a cada clasificación.

7.2.7 Preferencia altitudinal

De forma muy específica, no se logró determinar una preferencia altitudinal de las especies. Sin embargo, si se dividen los registros entre altitudes de 100 – 1,500 msnm, 1,500 – 3,000 msnm y >3,000 msnm, se obtiene lo siguiente:

Entre el rango altitudinal de 100 – 1,500 msnm, se registran 71 especies (71.71%), de las cuales, 32 (32.32%) de éstas se presentan específicamente entre ese rango.

Entre el rango de 1,500 – 3,000 msnm, se encuentran 44 especies (44.44%), de las

cuáles solo cuatro (4.04%) se presentan únicamente en tal rango. Mientras que >3,000 msnm solo se presentan las especies *Eleocharis acicularis* y *Lilaeopsis schaffneriana* (2.02%) siendo la última la reportada para altitudes de 3,600 msnm (figura 30).



Figura 30. Representación del número de especies registradas en diferentes niveles altitudinales. Número total de especies / número de especies presentes específicamente en ese rango altitudinal. La franja amarilla representa las especies compartidas entre cada nivel de altitud.

No obstante, 40 especies (40.40%) se presentan entre los 100 y >3,000 msnm. *E. acicularis* se encuentra en un rango altitudinal entre los 400 a 3,100 msnm. *L. schaffneriana* se ubica entre una altitud de los 2,000 y los 3,600 msnm.

7.3 Modelos de riqueza, diversidad y nicho ecológico

7.3.1 Riqueza

De forma general, la mayor riqueza se presenta en la cuenca de Río Pánuco. Conforme la latitud de la SMO_r aumenta, la riqueza se va fragmentando en cuadrantes dispersos y con un rango de una a seis especies por cuadrante (figura 31).

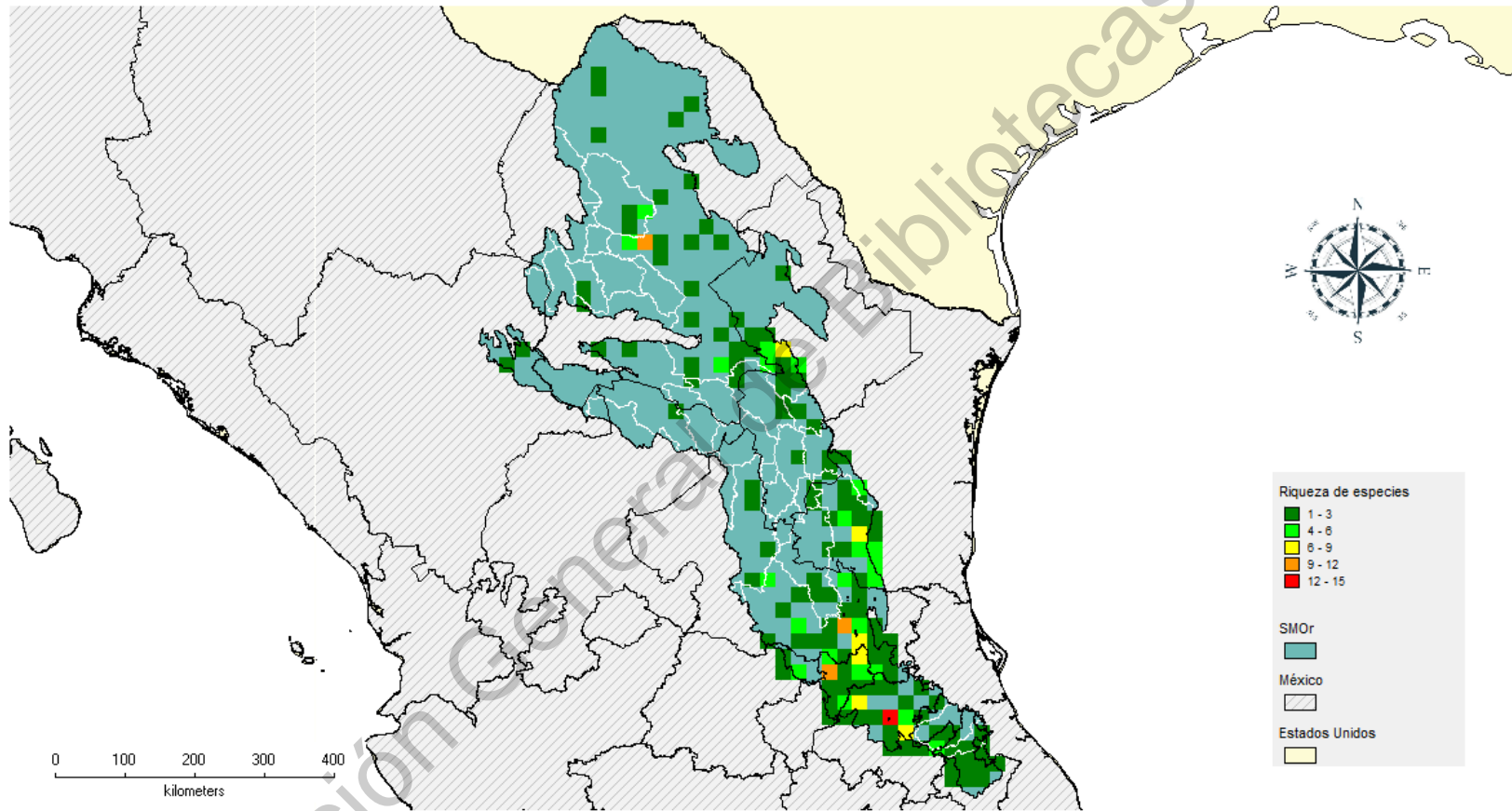


Figura 31. Riqueza de la flora acuática estricta con base en la observación de especies. El color de los cuadrantes representa el nivel de diversidad, siendo bajo para los tonos verdes, moderado para el amarillo y alto para el rojo. El cuadrante con mayor riqueza se presenta en la cuenca de Río Pánuco, en el estado de Hidalgo. Conforme la latitud aumenta, la riqueza se fragmenta en cuadrantes más aislados.

El cuadrante con mayor riqueza se encuentra en el estado de Hidalgo, en la cuenca Pánuco. El cuadrante está representado por las especies *Ceratophyllum demersum*, *Eleocharis acicularis*, *Eriocaulon microcephalum*, *Habenaria repens*, *Heteranthera dubia*, *H. limosa*, *H. peduncularis*, *H. reniformis*, *Lemna valdiviana*, *Marsilea macropoda*, *Najas guadalupensis*, *Nymphaea mexicana* y *Potamogeton pusillus*. El ambiente se encuentra dominado por agricultura de humedad, riego y temporal, bosque de encino-pino y mesófilo de montaña, y pastizales; el clima presente es seco semicálido, semiseco templado, semicálidos húmedos, templados subhúmedos y húmedos, con un rango de precipitación de los 400 a 2,500 mm. Suelos dominados por cambisol, feozem, fluvisol, litosol, luvisol, regosol y rendzina (figura 31).

Dos de los tres cuadrantes de riqueza moderadamente alta (de 9 a 12 especies por cuadrante), se ubican en la cuenca Río Pánuco (con 10 especies), una en el estado de San Luis Potosí y otra en Querétaro (con 10 especies), por otro lado, el otro cuadrante se ubica al norte de la SMOr, en la cuenca Río Bravo (con 11 especies). Los primeros dos comparten entre sí agricultura de riego y temporal, pastizal y selva mediana subperennifolia; un clima semicálido húmedo y templado subhúmedo con una precipitación entre los 1,000 y 1,800 mm; un suelo dominado por feozem, litosol, rendzina y vertisol. El tercer cuadrante presenta agricultura de riego y temporal, bosque de galería, matorral xerófilo y desértico, pastizal, vegetación de desiertos arenosos y vegetación halófila; un clima muy seco cálido y semicálido, seco cálido y semicálido, con un rango de precipitación entre los 200 y 500 mm (figura 31).

Los cuadrantes con una riqueza moderada (de 6 a 9 especies por cuadrante), se encuentran principalmente en la cuenca de Río Pánuco a excepción de un cuadrante al sureste de la cuenca Río Bravo (figura 31).

7.3.2 Diversidad

7.3.2.1 Por cuencas hidrológicas

Con base en el índice de Shannon, las cuencas más diversas fueron Río Bravo ($H' = 3 - 4$) y Río Pánuco ($H' = 3 - 4$). Esta diversidad fue equitativa entre especies, lo que significa que todas las especies ubicadas en ambas cuencas podrían ser seleccionadas o recolectadas de forma aleatoria. Tres cuencas (Arroyo Bajío Quelitos, Arroyo El Rayo del Puerto y Cuenca Interior de Matehuala) que conforman a la región de El Salado, presentaron un índice moderadamente bajo ($H' = 1 - 2$), el resto de las cuencas obtuvieron un índice nulo. Este índice señala una equidad de especies baja, donde es más probable que se encuentre de forma aleatoria un ejemplar de la especie dominante que del resto. Todas las cuencas de la región Mapimí reportan un índice nulo, esto por la falta de especies registradas para dichas cuencas (figura 32 y tabla 2).

Las cuencas Río Bravo y Río Pánuco presentan una variedad de tipos de vegetación y uso de suelo como agricultura de riego y temporal, bosque de pino-encino, bosque de galería, vegetación secundaria arbustiva y herbácea. La cuenca de Río Bravo se caracteriza por la dominancia de matorrales desérticos micrófilos, rosetófilos y submontanos, mezquiales, vegetación halófila, entre otras; mientras que Río Pánuco domina el mezquital, bosque mesófilo de montaña, matorral desértico micrófilo, rosetófilo, selva baja subcaducifolia y caducifolia, entre otras. Los climas en ambas cuencas van desde los fríos hasta los cálidos, pero la cuenca Río Bravo también cuenta con climas muy secos cálidos. El rango de precipitación en la cuenca Río Bravo es de 200 a 1,500 mm, mientras que la precipitación de la cuenca Río Pánuco es de 300 a 3,000 mm. Ambas cuencas disponen de una amplia variedad de tipos de suelos.

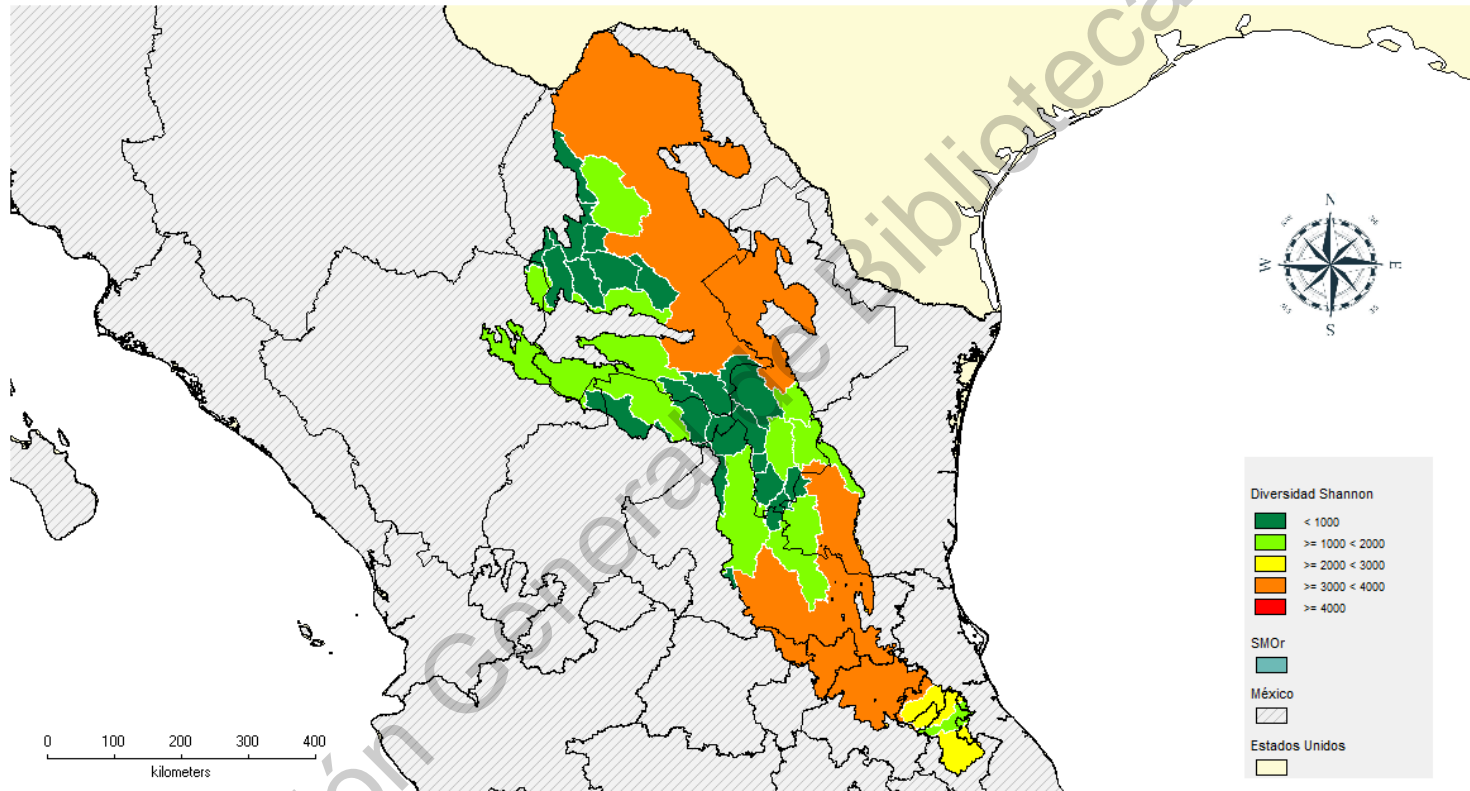


Figura 32. Diversidad de Shannon por cuencas hidrológicas. Las cuencas Río Pánuco y Río Bravo presentan la mayor diversidad ($H' = 3 - 4$), que representa una equidad entre especies y, por lo tanto, cualquier especie tiene la misma oportunidad de ser muestreado de forma aleatoria. La mayor parte de las cuencas que conforman a las regiones El Salado y Mapimí presentan una diversidad nula ($H' < 1$) por no tener registros de plantas acuáticas.

Tabla 2. Diversidad de las cuencas según los índices de Simpson (λ) y Shannon (H'). Los valores de Simpson reflejan dominancia de especies (Baja $\lambda = 0 - 0.25$; Moderadamente baja $\lambda = 0.25 - 0.5$; Moderadamente alta $\lambda = 0.5 - 0.75$; Alta $\lambda = 0.75 - 1$). Los valores de Shannon reflejan equidad entre las especies (Baja $H' = 0 - 1$; Moderadamente baja $H' = 1 - 2$; Media $H' = 2 - 3$; Moderadamente alta $H' = 3 - 4$; Alta $H' = 4 - 5$).

Cuencas - especies			
Cuencas	Simpson	Shannon	No. Spp
Río Pánuco	0.984	4.127	62
Río Bravo	0.971	3.526	34
Río Tuxpan (Pantepec)	0.933	2.708	15
Río Tecolutla	0.9	2.303	10
Cuatro Ciénegas	0.857	1.946	7
Cuenca Interior de Matehuala	0.857	1.946	7
Río Cazones	0.857	1.946	7
Río Nazas	0.833	1.792	6
Río Soto La Marina	0.8	1.609	5
Arroyo El Rayo del Puerto	0.75	1.386	4
Río Conchos-Chorreras	0.75	1.386	4
Arroyo Bajío Quelitos	0.667	1.099	3
Lago El Carmen	0.5	0.693	2
Valle El Sobaco	0.5	0.693	2
La Lagunita	0	0	1

Las cuencas Arroyo El Lobo, Arroyo El Pato, Arroyo Las Vegas, Cerrito de Vacas, Cuenca de San Luis Potosí, El Salado, El Saltillero, Lago El Guaje, Lago El Hundido, Lago El Rey, Lago La Boquilla, Lago La Leche, Lago La Mancha, Lago Tecolotes, Lomas El Venado, Valle El Hundido y Valle San Marcos y Pinos, no registraron especies de vegetación acuática estricta. Estas cuencas presentan una vegetación y uso de suelo dominante por agricultura de riego y temporal, bosques de pino-encino, matorral desértico micrófilo y rosetófilo, mezquital, pastizal, vegetación secundaria arbórea y herbácea. El clima es principalmente seco, semiseco a templado subhúmedo, con un rango de precipitación de 200 a 600 mm. Los suelos son dominados por litosol, xerosol y yermosol.

El índice de Simpson demuestra que la mayor parte de las cuencas en la SMO cuentan con una diversidad alta ($\lambda > .75$). Esto se interpreta que en estas cuencas

hay al menos una especie mejor representada que el resto de las especies acuáticas. La cuenca Valle El Sobaco, muestra un índice moderadamente alto ($\lambda = .5 - .75$), esto por motivo de que la especie *Cladium jamaicense* domina por un individuo de más que *Potamogeton nodosus* (figura 33 y tabla 2).

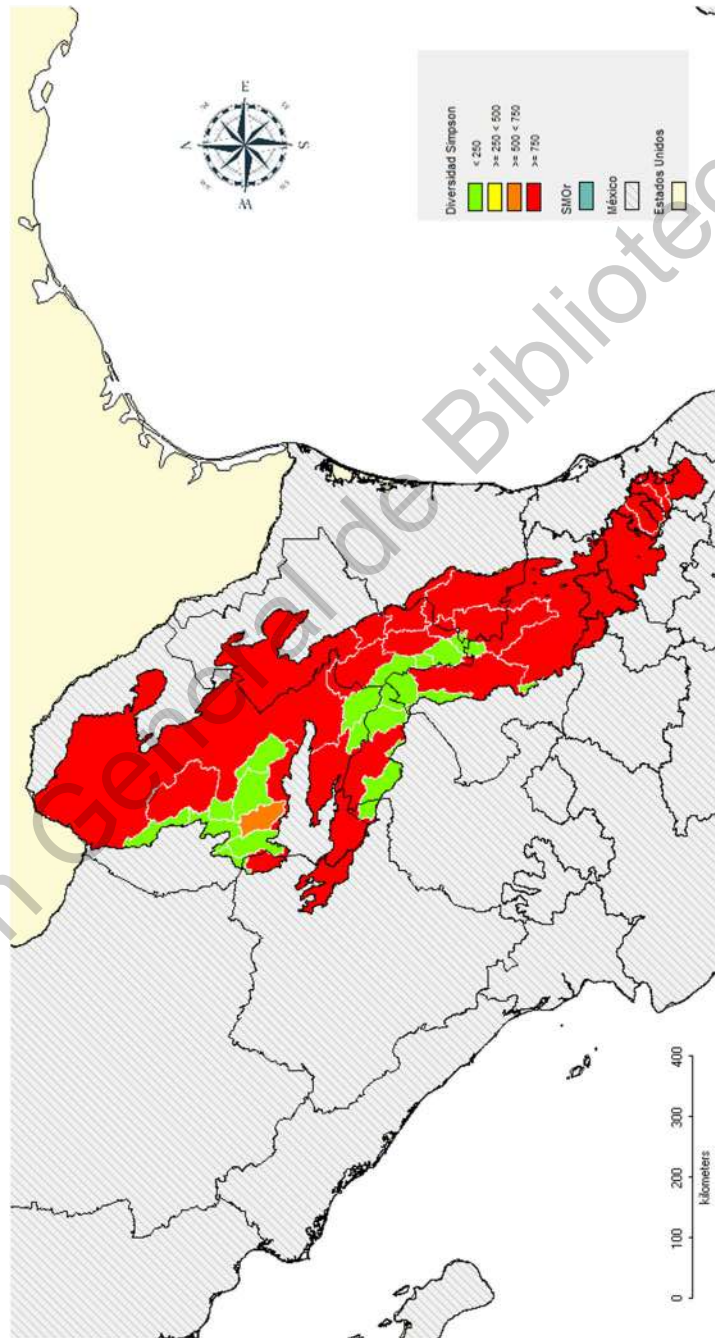


Figura 33. Diversidad de Simpson por cuencas hidroclógicas. La gran parte de las cuencas presentaron un índice elevado ($\lambda = .75 - 1$), lo que presenta una dominancia de alguna especie. La cuenca Valle El Sobaco (naranja) presenta un valor moderadamente alto ($\lambda = .5 - .75$) por la presencia de un individuo de más de *Cladium jamaicense*. La mayor parte de las cuencas que conforman a las regiones El Salado y Mapimí presentan una diversidad nula por no tener registros de plantas acuáticas.

7.3.2.2 Diversidad por cuadrantes

El índice de Shannon muestra en gran parte de la SMO una baja diversidad de especies ($H' = 0 - 2$), que se representa como una baja equidad de especies. Al norte de la provincia se presentan cuadrantes relativamente aislados donde la mayor parte cuentan con un índice muy bajo ($H' = 0 - 1$) por una o dos especies que se pueden registrar hasta dos veces. Hacia el sur de la provincia, dominando en gran parte en la cuenca de Río Pánuco, se encuentran cuadrantes más conexos, con un índice bajo ($H' = 1 - 2$) por la presencia de hasta seis especies donde incluso dos se registran hasta seis veces dentro del mismo cuadrante. Solo se presentan cinco cuadrantes con un índice de diversidad media ($H' = 2 - 3$) los cuales representan hasta 13 especies registradas varias veces, que se puede interpretar como que esas zonas tienen una equidad de especies media (figura 34).

El índice de Simpson refleja cuadrantes aislados hacia el norte, a comparación del sur donde éstos se muestran conglomerados. Los cuadrantes con un índice de diversidad baja ($\lambda = 0 - .25$) representan a una especie que se repite más de una vez en el mismo cuadro. Los cuadrantes de índice relativamente bajo ($\lambda = .25 - .5$) se deben por dos especies donde una está más representada con uno o más registros. Los cuadrantes con un índice relativamente alto ($\lambda = .5 - .75$) se relacionan entre dos y cinco especies, donde una se registra con más de cinco datos, mientras que las otras se registran una a cuatro veces. Los cuadrantes de índice mayor ($\lambda = .75 - 1$) reflejan la presencia de una a siete especies con un registro dentro del mismo cuadrante (figura 35).

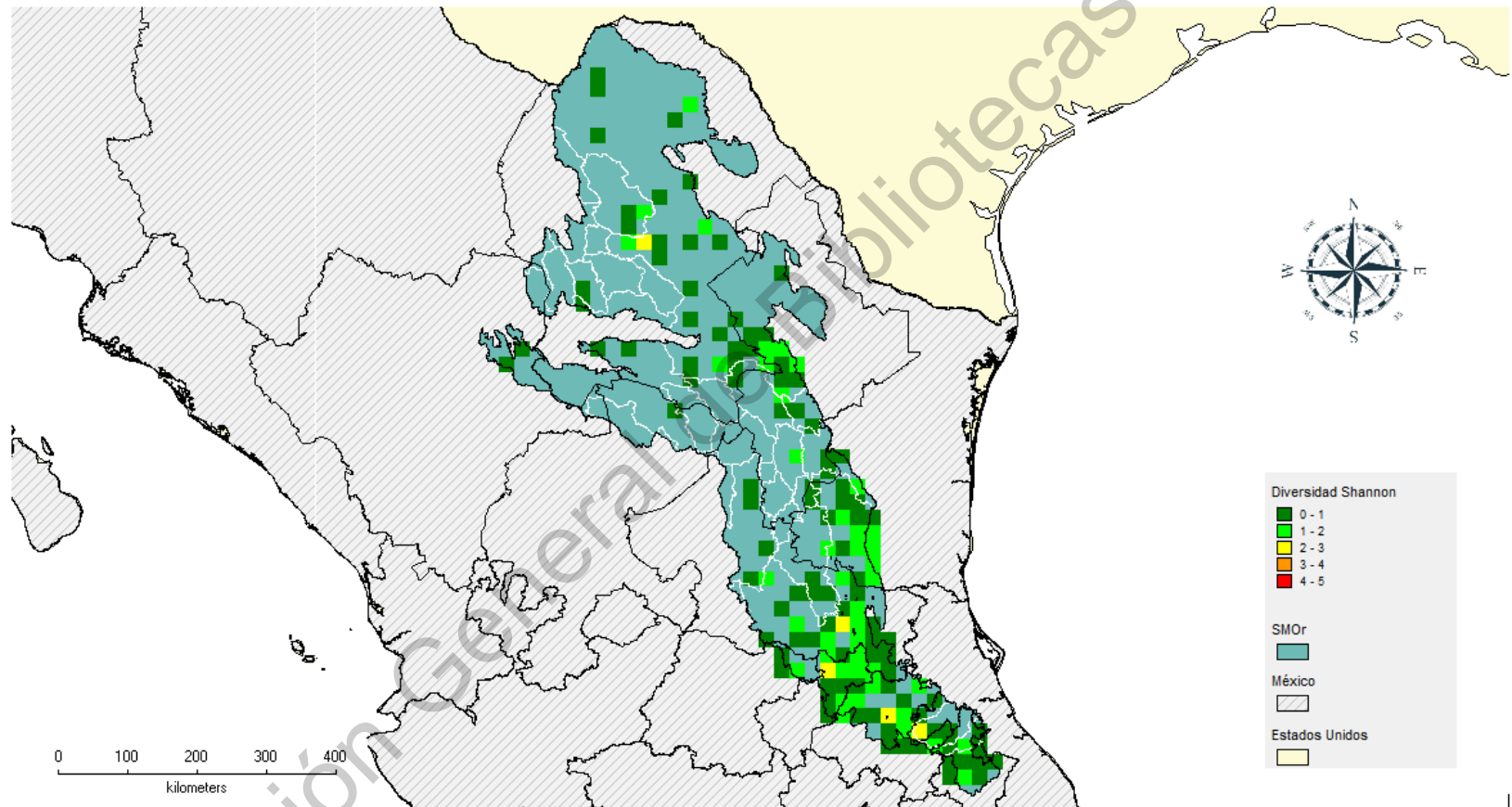


Figura 34. Diversidad de Shannon usando una celda-grilla de cuadrantes de 17 x 19 km ($A= 323 \text{ km}^2$). Los cuadrantes verdes oscuro representan un índice de diversidad muy bajo ($H' = 0 - 1$) por la presencia de una o dos especies, reflejando una baja representación equitativa entre las especies. Los cuadrantes verdes claro presentan una diversidad baja ($H' = 1 - 2$) de hasta seis especies registradas. Los cuadrantes amarillos reflejan una diversidad media ($H' = 2 - 3$) por el registro de hasta 13 especies, mostrando una equidad entre especies moderada.

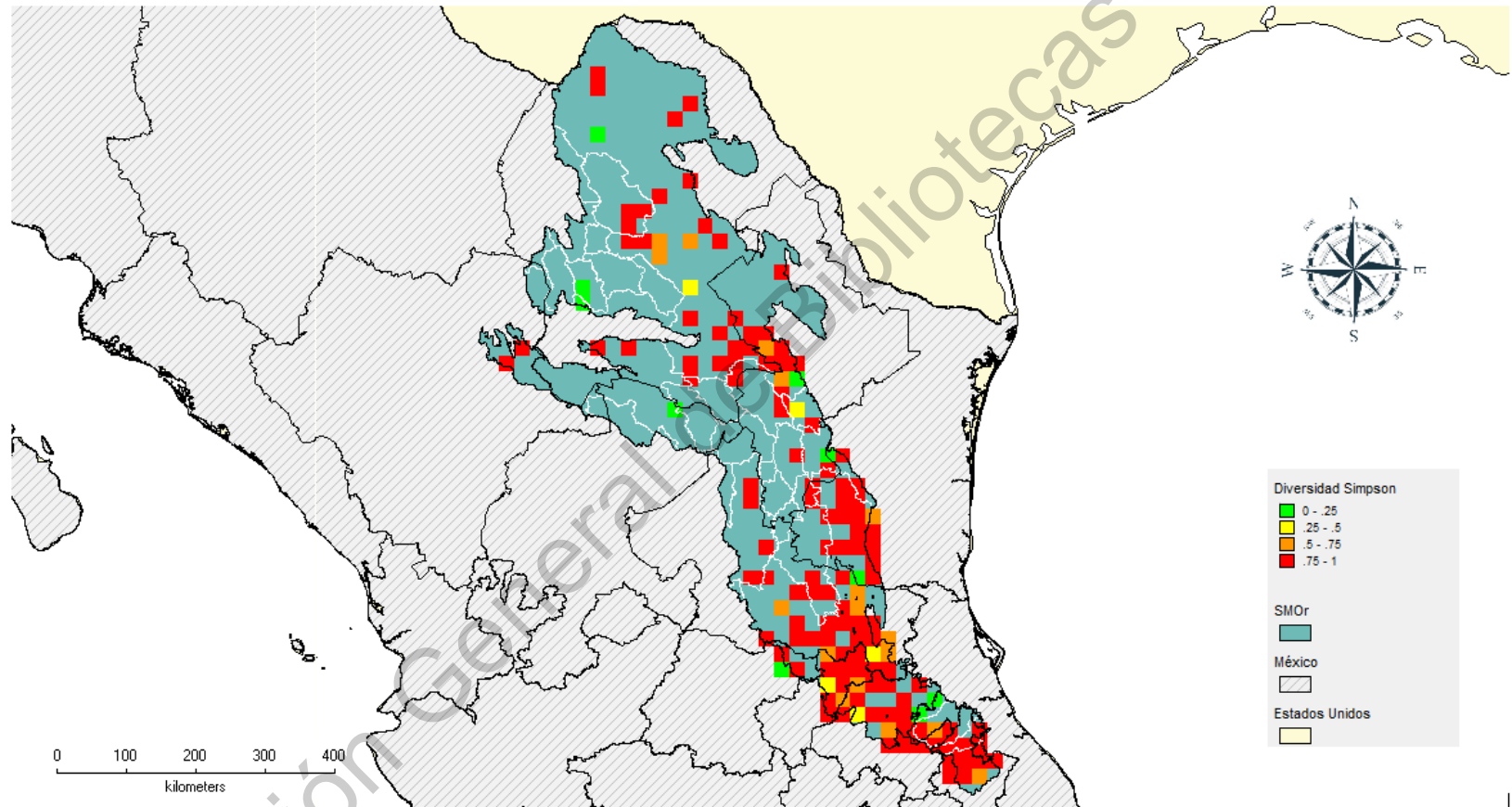


Figura 35. Diversidad de Simpson usando una celda-grilla de cuadrantes de 17 x 19 km ($A= 323 \text{ km}^2$). Los cuadrantes verdes muestran un índice de diversidad baja ($\lambda= 0 - .25$), mostrando una dominancia de especies baja, es decir, los cuadrantes presentan el registro de una especie que se puede ubicar en distintos puntos. Los cuadrantes amarillos representan una diversidad relativamente baja ($\lambda= .25 - .5$) por la presencia de dos especies, la cual una domina en número de registros. Los cuadrantes anaranjados de diversidad relativamente alta ($\lambda= .5 - .75$), señalan la presencia de dos a cinco especies y donde una domina por número de registros. Los cuadrantes rojos muestran una alta dominancia ($\lambda= .75 - 1$) entre las especies, reflejando la dominancia de una especie en un punto en específico.

7.3.3 Modelo de nicho ecológico

A nivel nacional, las variables climáticas que comparten las especies de flora acuática estricta, diferenciaron zonas desde baja probabilidad (0 – 0.25 percentil) a alta probabilidad (20 – 38 percentil) para el establecimiento de este tipo de vegetación. Se muestra que el nicho ecológico de las especies registradas, se comparten entre otras provincias fisiográficas como la Sierra Madre Occidental, Sierra y Llanura del Norte, Mesa del Centro, Llanura Costera del Golfo del Norte y Eje Neovolcánico.

Enfocándonos a la SMOr, la mayor frecuencia (20 – 38 percentil) de áreas para presentar algún nicho ecológico de las plantas acuáticas estrictas está ubicado en la cuenca Arroyo el Rayo del Puerto entre los estados de San Luis Potosí y Tamaulipas. No obstante, esta concentración se va situando al noreste de la SMOr pasando por una parte de la cuenca Río Pánuco, Río Soto La Marina, Río Conchos-Chorreras y una pequeña parte al sureste de la cuenca Río Bravo, en a los estados de Tamaulipas y Nuevo León (figura 36).

Las zonas con una frecuencia moderadamente alta (10 – 20 percentil), se encuentran principalmente en gran parte de la cuenca Río Pánuco, en los estados de Querétaro e Hidalgo, y las cuencas Arroyo el Rayo del Puerto y algunas localidades de las cuencas Río Soto La Marina y Río Conchos-Chorreras. Las zonas con una concentración media (5 – 10 percentil), se encuentran principalmente al norte de la SMOr, al igual que las zonas moderadamente bajas (2.5 – 5 percentil) que se distribuye en varias localidades de la SMOr. Las zonas con baja frecuencia (0 – 2.5 percentil) se presentan en algunas zonas puntuales de los extremos del polígono de la SMOr. Sin embargo, al centro de la provincia, se muestra una zona de baja frecuencia y que separa las áreas de frecuencia media (al norte de la SMOr) y alta (al sur de la SMOr) la cual se le denominará “zona seca” (figura 36).

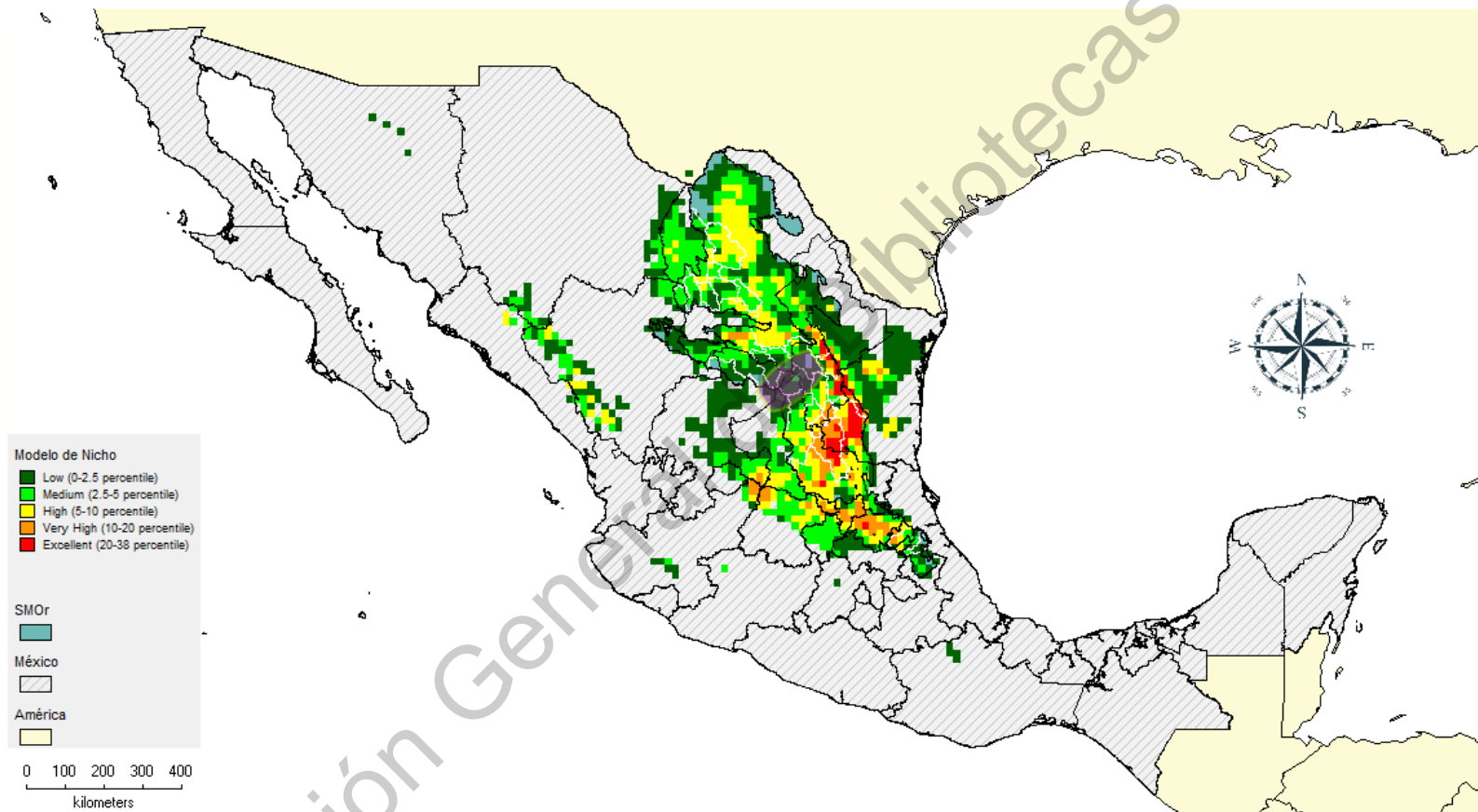


Figura 36. Modelo de nicho ecológico. La tonalidad representa la probabilidad de encontrar o de que se establezca un nicho para la flora acuática estricta. La mayor probabilidad (zona roja) se ubica principalmente en la cuenca Arroyo el Rayo del Puerto, enseguida se recorre hacia el noreste de la cuenca Río Pánuco, y subiendo por la ladera a barlovento pasando por las cuencas Río Soto la Marina, Río Conchos-Chorreras hasta llegar a una muy pequeña porción del sureste de la cuenca Río Bravo. Se señala un área (color púrpura) dominada como "Zona seca" donde se presenta una baja probabilidad, separando parcialmente a la SMOr en dos zonas de alta y media probabilidad de encontrar un nicho ecológico para la flora acuática estricta.

Las zonas con frecuencia alta y moderadamente alta presentan principalmente agricultura de riego y temporal, bosque de pino – encino, mesófilo de montaña, matorral desértico, matorral submontano y xerófilo, palmar, pastizal, selva baja subcaducifolia y caducifolia, selva mediana subcaducifolia y vegetación secundaria arbustiva y herbácea. El clima es seco cálido y semicálido, semiseco húmedo y templado, cálido húmedo, semicálido subhúmedo, templado subhúmedo, semifrío y frío; con un rango de precipitación entre los 200 y 2,000 mm. Los suelos están dominados por litosol, luvisol, regosol, rendzina, vertisol y cambisol. Un punto importante que remarcar, es que la zona de alta frecuencia se ve influenciado directamente con los vientos alisios que traen humedad desde el Golfo de México.

Las zonas de frecuencia media y moderadamente baja se encuentran principalmente al norte de la SMOr, conformadas por las regiones Bravo-Conchos, Mapimí y Nazas-Aguanaval. La vegetación y uso de suelo dominante es agricultura de riego y temporal, bosque de pino y encino, matorral desértico, xerófilo submontano, pastizal, vegetación halófila y vegetación secundaria arbustiva. El clima que predomina es muy seco cálido y semicálido, seco semicálido y templado, semiseco templado, templado subhúmedo, semifrío y frío; el rango de precipitación entre los 200 y 1,500 mm. Los suelos dominantes son xerosol, yermosol, regosol, litosol y rendzina.

La zona seca se ubica en el centro de la SMOr, no atraviesa completamente la provincia por un área de alta frecuencia de nicho ecológico. La zona seca está conformada por las cuencas Arroyo el Pato, El Saltillero, Lago El Carmen, Lago El Hundido y Lago Tecolotes. La zona presenta agricultura de riego y temporal, bosque de coníferas, pino, encino, mesófilo de montaña, matorral desértico y xerófilo, vegetación halófila y vegetación secundaria arbustiva. El clima es muy seco semiseco, seco semicálido a templado, semiseco semicálido a templado, semifrío subhúmedo y templado subhúmedo; el rango de precipitación va desde los 200 a 1,000 mm. El tipo de suelo dominante es de tipo xerosol, litosol, regosol y rendzina.

7.4 Coeficiente de similitud

7.4.1 Cuencas y sus características ambientales

El fenograma genera nueve agrupaciones de cuencas vecinas que forman áreas distribuidas en la SMOr (figura 37). Con el propósito de describir de forma general, a cada grupo se le asignó una letra. La representación geográfica muestra claramente que las cuencas que comparten sus características ambientales llegan a diferenciar las regiones hídricas que conforman la SMOr. (figura 38). El apéndice 3 se describe las características ambientales de cada cuenca que integra la SMOr.

La región El Salado se clasifica en cuatro grupos (F, G, H, I), y la región San Fernando-Soto La Marina comparte sus cuencas en el grupo F. La tabla que detalla los índices de similitud de cada grupo según el Coeficiente de Sørensen muestra que las cuencas Río Conchos-Chorreras y Río Soto La Marina comparten la similitud más elevada ($I_S=0.693$), seguido de la relación entre Río Cazonés y Río Tuxpan (Pantepec) ($I_S=0.680$) (tabla 3).

Grupo A: se encuentra formado por las tres cuencas más sureñas de la SMOr, Río Tecolutla, Río Tuxpan (Pantepec) y Río Cazonés. La vegetación y uso de suelo que se presenta es agricultura de riego y temporal, bosque manipulado, mesófilo de montaña, pino y encino, pastizal, selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbustiva y herbácea. El clima va desde el cálido húmedo, semicálido húmedo, templado húmedo y subhúmedo, y un clima frío. El rango de precipitación está entre los 500 a 4,500 mm. Los suelos dominantes son andosol, cambisol, luvisol, rendzina, regosol, vertisol y feozem.

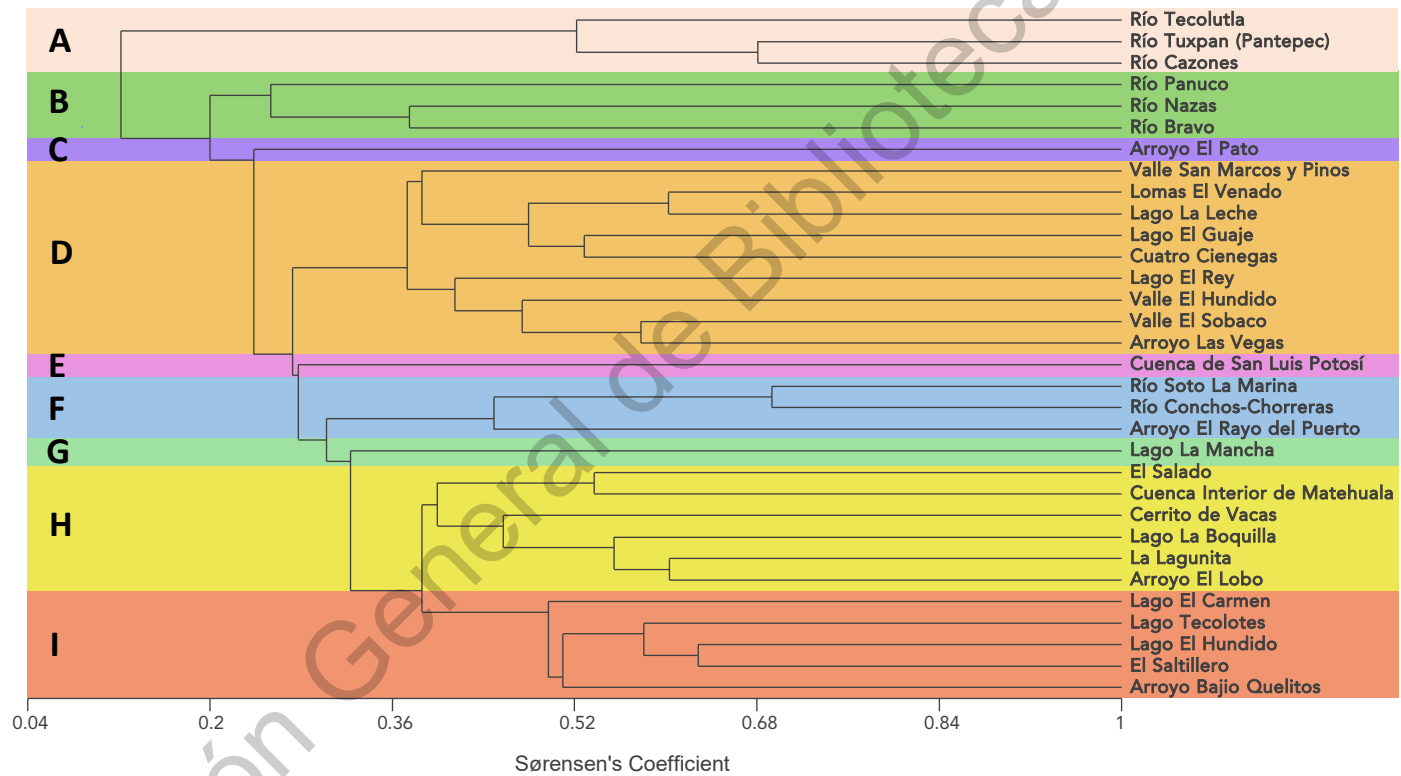


Figura 37. Fenograma del Coeficiente de Sørensen de las cuencas y sus características ambientales. Cada color conforma un grupo, nombrado con una letra. Se crearon nueve grupos. El grupo A presenta características distintas al resto de los grupos. Los grupos B, C, D, E, F, G, H, I, forman un grupo de tipo anidado, que representan una parte de un grupo mayor que comparte todas las características. $I_s < 1$ es menor la similitud de las cuencas.

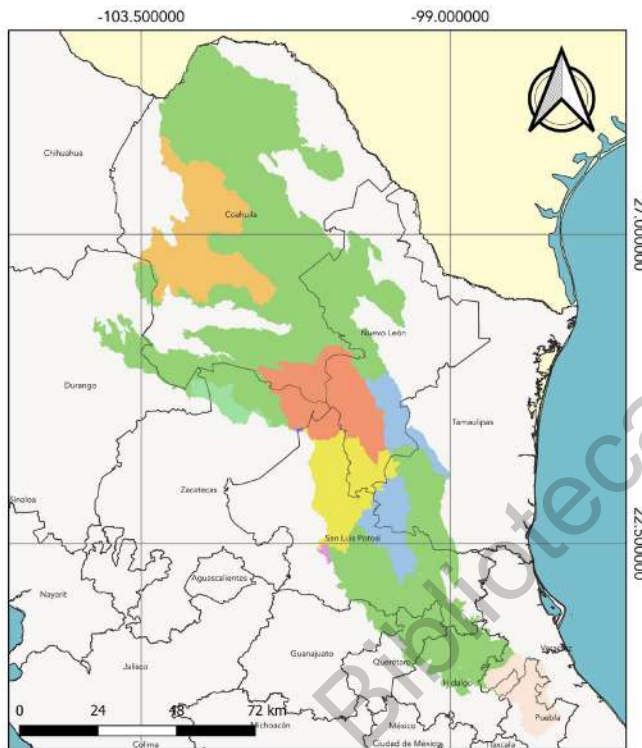


Figura 38. Representación geográfica de los nueve grupos formados según el Coeficiente de Sørensen de las cuencas y sus características ambientales.

Grupo B: se conforma por las cuencas más grandes de la SMO, Río Bravo al norte de la provincia, Río Nazas al noroeste y Río Pánuco al sur. La vegetación y uso de suelo que se comparten son agricultura de riego y temporal, bosque de coníferas, espinoso, pino y encino, matorral xerófilo, submontano, desértico, pastizal, selva baja caducifolia y subcaducifolia, vegetación halófila, vegetación secundaria arbustiva y herbácea. El clima de las cuencas varía de muy seco cálido y semicálido, seco cálido a templado, semiseco semicálido a templado, templado subhúmedo, semifrío subhúmedo, y frío. El rango de precipitación está entre 200 y 3,000 mm. Los suelos que dominan son castañozem, feozem, flusivol, litosol, luvisol, rendzina, regosol, solonchak, vertisol y xerosol.

Tabla 3. Valores del Coeficiente de Similitud de Sørensen para las cuencas y sus características ambientales. $I_s < 1$ es menor la similitud de las cuencas.

Nodo	Grupo 1	Grupo 2	Similitud
1	Río Conchos-Chorreras	Río Soto La Marina	0.693
2	Río Cazones	Río Tuxpan (Pantepec)	0.68
3	El Saltillero	Lago El Hundido	0.629
4	Arroyo El Lobo	La Lagunita	0.603
5	Lago La Leche	Lomas El Venado	0.602
6	Node 3	Lago Tecolotes	0.581
7	Arroyo Las Vegas	Valle El Sobaco	0.578
8	Node 4	Lago La Boquilla	0.554
9	Cuenca Interior de Matehuala	El Salado	0.537
10	Cuatro Ciénegas	Lago El Guaje	0.528
11	Node 2	Río Tecolutla	0.522
12	Arroyo Bajío Quelitos	Node 6	0.509
13	Node 12	Lago El Carmen	0.497
14	Node 10	Node 5	0.48
15	Node 7	Valle El Hundido	0.474
16	Node 8	Cerrito de Vacas	0.457
17	Arroyo El Rayo del Puerto	Node 1	0.449
18	Node 15	Lago El Rey	0.415
19	Node 16	Node 9	0.399
20	Node 14	Valle San Marcos y Pinos	0.386
21	Node 13	Node 19	0.386
22	Río Bravo	Río Nazas	0.375
23	Node 18	Node 20	0.373
24	Node 21	Lago La Mancha	0.324
25	Node 24	Node 17	0.302
26	Node 25	Cuenca de San Luis Potosí	0.277
27	Node 26	Node 23	0.272
28	Node 22	Río Pánuco	0.254
29	Node 27	Arroyo El Pato	0.238
30	Node 29	Node 28	0.2
31	Node 30	Node 11	0.122

Grupo C: está integrado por la cuenca Arroyo El Pato. Se registran tres tipos de vegetación: bosque de pino y los matorrales desérticos de tipo micrófilo y rosetófilo. Su clima es seco y semiseco templado. Su precipitación está entre los 300 y 500 mm. Y su suelo cuenta con xerosol y litosol.

Grupo D: se ubica al noroeste de la SMOr en el estado de Coahuila. Está integrado por las cuencas Arroyo Las Vegas, Cuatro Ciénegas, Lago El Guaje, Lago El Rey, Lago La Leche, Lomas El Venado, Valle El Hundido, Valle El Sobaco y Valle San Marcos y Pinos. Presenta agricultura de riego y temporal, bosques de coníferas, galería, pino y encino, matorral xerófilo, desértico y submontano, vegetación gipsófila y vegetación secundaria arbustiva. Los climas que definen al grupo son muy secos semicálidos a los semisecos templados. Su precipitación está dentro del rango 200 a 500 mm. Los suelos son de tipo castañozem, fluvisol, litosol, rendzina, regosol, solonchak, solonetz, vertisol, xerosol y yermosol.

Grupo E: ubicado al suroeste de la SMOr, está integrado por la Cuenca de San Luis Potosí. Presenta agricultura de riego y temporal, bosque espinoso, de encino, matorrales xerófilos, desérticos y vegetación secundaria arbustiva. Los climas van desde los semisecos templados a los muy secos templados. Su rango de precipitación está entre los 300 y 600 mm. El suelo es principalmente litosol, pero hay presencia de rendzina, xerosol, feozem, vertisol y planosol.

Grupo F: ubicado en dos partes de la SMOr. La primera parte está integrada por las cuencas Arroyo El Rayo del Puerto y Río Conchos-Chorreras, al este de la provincia. La segunda parte está integrada por la cuenca Río Soto La Marina adentrándose en el centro-norte de la cuenca Río Pánuco. El grupo presenta agricultura de riego y temporal, bosque espinoso, coníferas, mesófilo de montaña, pino y encino, matorral xerófilo, desértico y submontano, vegetación halófila, vegetación secundaria arbustiva y herbácea. Los tipos de climas en el grupo van desde el frío, hasta los secos semicálidos. La precipitación mínima es de 300 mm,

mientras que la mayor es de aproximadamente 1,800 mm. Sus suelos contienen xerosol, rendzina, litosol, vertisol, feozem, regosol y fluvisol.

Grupo G: integrado por la cuenca Lago La Mancha. Forma parte de la zona sur de la subprovincia de las Sierras Transversales. Presenta agricultura temporal, matorral xerófilo y vegetación secundaria arbustiva. Los climas varían de muy secos semicálidos a secos semicálidos. Su precipitación es de 200 a 500 mm. Los suelos del grupo son principalmente de tipo xerosol, seguido de litosol, regosol, solonetz, solonchak y rendzina.

Grupo H: ubicado al oeste de la SMOr, arriba de la cuenca Río Pánuco, este grupo se conforma por las cuencas Arroyo El Lobo, Cerrito de Vacas, Cuenca Interior de Matehuala, El Salado, La Lagunita y Lago La Boquilla. La vegetación y uso de suelo que se comparten son agricultura de riego y temporal, bosque espinoso, coníferas, pino y encino, matorral xerófilo, desértico, pastizal, vegetación halófila y vegetación secundaria arbustiva. El clima es muy seco semicálido y templado, seco semicálido y templado, semiseco semicálido y templado, semicálido templado, templado subhúmedo, semifrío subhúmedo, y frío. El rango de precipitaciones está entre los 200 a 1,000 mm. Los tipos de suelos presentes en el área son castañozem, litosol, rendzina, regosol y xerosol.

Grupo I: se encuentra al centro y hacia el oeste de la SMOr. Las cuencas que conforman al grupo son Arroyo Bajío Quelitos, El Saltillero, Lago El Carmen, Lago El Hundido y Lago Tecolotes. La vegetación y uso de suelo que se asocia es agricultura de riego y temporal, bosque espinoso, coníferas, pino y encino, matorral desértico, pastizal y pastizal halófilo y vegetación secundaria arbustiva. El clima está representado por los tipos secos semicálidos y templados, semisecos templados, templado subhúmedos, y fríos. El rango de precipitación está entre los 200 y los 1,000 mm. Los tipos de suelos dominantes son castañozem, feozem, litosol, rendzina, regosol, solonchak y xerosol. Este grupo conforma la “zona seca” donde

la probabilidad de encontrar algún nicho ecológico de la flora acuática estricta es relativamente nula.

7.4.2 Cuencas y la presencia de especies

La distribución de las especies en las cuencas forma seis grupos (señalados con numeración romana) (figura 39). La representación geográfica de los grupos no refleja un patrón de distribución en relación de las especies y la ubicación de las cuencas (figura 40). La tabla del Coeficiente de Sørensen, señala índices bajos ($I_S = < 0.6$), donde el índice más alto pertenece a las cuencas de Río Bravo y Río Pánuco con un valor de $I_S = 0.563$ (tabla 4).

Grupo I: se conforma por las cuencas La Lagunita y Arroyo El Rayo del Puerto al norte-centro de la cuenca Río Pánuco. El grupo se conforma por las especies *Cladium jamaicense*, *Nymphaea ampla*, *Trichocoronis wrightii* y *Wolffia brasiliensis*, donde está última es la única registrada para la cuenca La Lagunita. Los tipos de vegetación y uso de suelo predominantes son agricultura temporal, bosque de pino, matorral desértico y vegetación halófila. El clima es de tipo seco semicálido, semiseco semicálido, y templado subhúmedo, con una precipitación entre los 400 a 800 mm. El suelo es de tipo feozem, litosol, xerosol, rendzina y regosol.

Grupo II: se conforma solo por la cuenca Río Cazonas al sur de la SMOr. El grupo cuenca con las especies *Azolla microphylla*, *Heteranthera limosa*, *Marsilea macropoda*, *Pontederia sagittata*, *Sagittaria guayanensis*, *Thalia geniculata* y *Utricularia gibba*. La vegetación y uso de suelo asociada a esta flora acuática es principalmente agricultura temporal y pastizal. El clima es de tipo cálido húmedo, semicálido húmedo y templado húmedo. El rango de precipitaciones está entre los 1,800 y los 3,000 mm. Los suelos son dominados con cambisol, feozem, litosol, luvisol, regosol y rendzina.

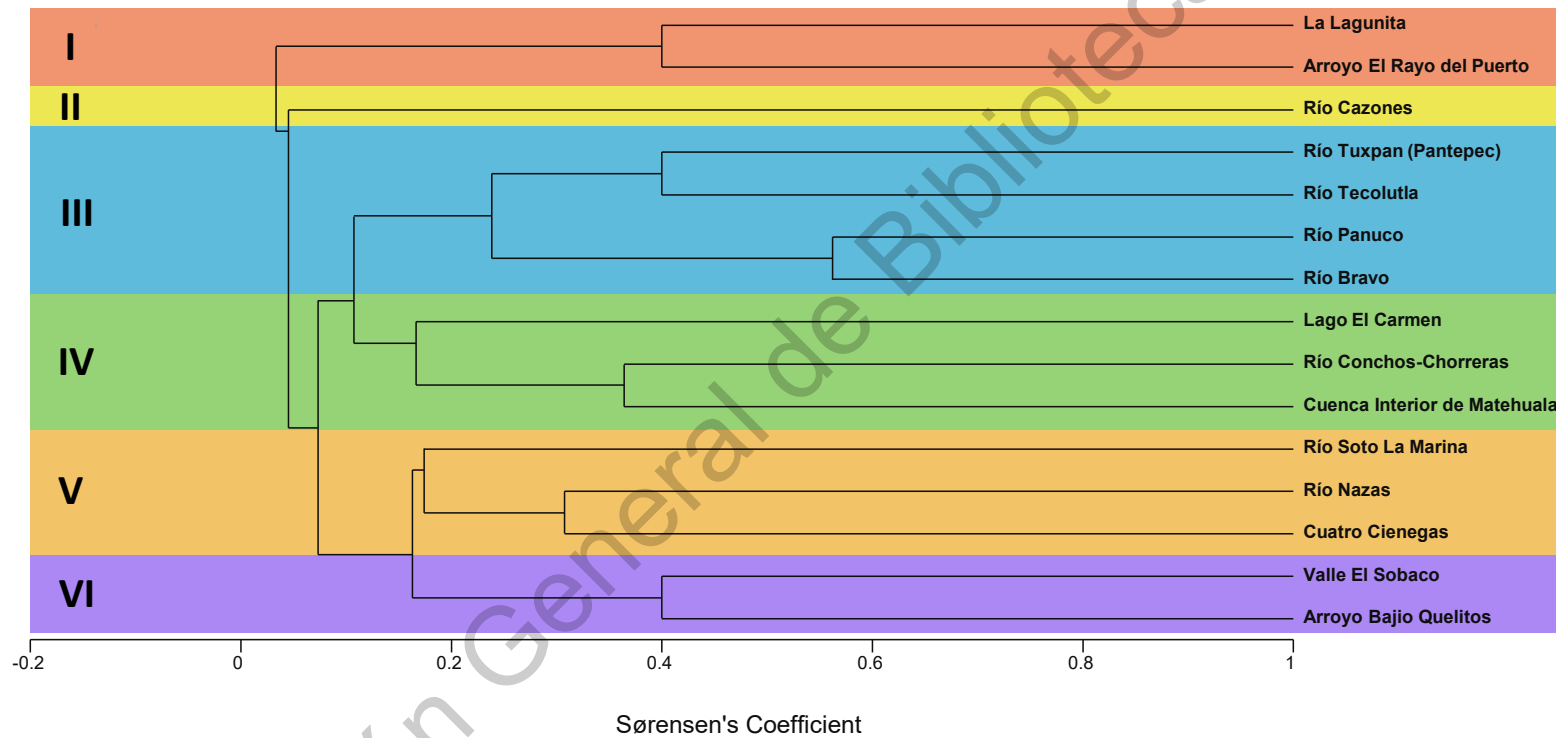


Figura 39. Fenograma del Coeficiente de Sørensen de las cuencas y las especies que se registran en ellas. De las 32 cuencas, solo 15 presentaron al menos un registro de alguna especie. Cada color conforma un grupo, nombrado con número romano. Se crearon seis grupos que se diferencian por la similitud de las especies que se comparten. $I_s < 1$ es menor la similitud de las cuencas.

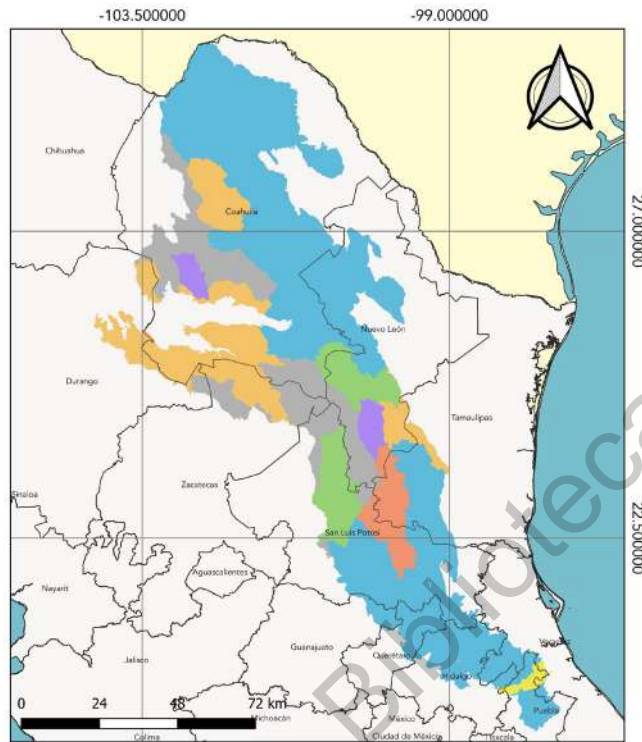


Figura 40. Representación geográfica de los nueve grupos formados según el Coeficiente de Sørensen de las cuencas y la similitud que comparten con la presencia de las especies. Las cuencas de color gris no presentan especies registradas.

Tabla 4. Valores del Coeficiente de Similitud de Sørensen para las cuencas y las especies que se comparten. $I_s < 1$ es menor la similitud de las cuencas.

Nodo	Grupo 1	Grupo 2	Similitud
1	Río Bravo	Río Pánuco	0.563
2	Arroyo Bajío Quelitos	Valle El Sobaco	0.4
3	Arroyo El Rayo del Puerto	La Lagunita	0.4
4	Río Tecolutla	Río Tuxpan (Pantepec)	0.4
5	Cuenca Interior de Matehuala	Río Conchos-Chorreras	0.364
6	Cuatro Ciénegas	Río Nazas	0.308
7	Node 1	Node 4	0.239
8	Node 6	Río Soto La Marina	0.174
9	Node 5	Lago El Carmen	0.167
10	Node 2	Node 8	0.163
11	Node 9	Node 7	0.107
12	Node 10	Node 11	0.074
13	Node 12	Río Cazones	0.045
14	Node 13	Node 3	0.034

Grupo III: se conforma por las cuencas de Río Tuxpan (Pantepec), Río Tecolutla, Río Pánuco y Río Bravo. El grupo se distribuye de forma discontinua desde el norte hasta el extremo sur, sin embargo, no pasa por el centro de la SMOr y al sur se separa por el grupo II. De las 70 especies que conforman al grupo, 40 de éstas se encuentran en más de una cuenca: *Acrostichum danaeifolium*, *Bacopa monnieri*, *Callitriche heterophylla*, *Canna glauca*, *Caperonia palustris*, *Ceratophyllum demersum*, *Cladium jamaicense*, *Eleocharis acicularis*, *Heteranthera dubia*, *H. limosa*, *H. mexicana*, *H. rotundifolia*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Leersia hexandra*, *Lemna aequinoctialis*, *L. valdiviana*, *Lilaeopsis schaffneriana*, *Limosella aquatica*, *Lobelia purpusii*, *Ludwigia palustris*, *L. repens*, *Marsilea mollis*, *Micranthemum umbrosum*, *Najas guadalupensis*, *Nymphaea ampla*, *N. gracilis*, *Paspalum distichum*, *Potamogeton foliosus*, *P. illinoensis*, *P. nodosus*, *P. pusillus*, *Ranunculus hydrocharoides*, *Schoenoplectus americanus*, *S. pungens*, *Taxodium mucronatum*, *Typha domingensis*, *Utricularia gibba*, *U. perversa* y *Zannichellia palustris*. La vegetación y uso de suelo asociada al tipo la flora acuática estricta del grupo está conformada por agricultura de riego y temporal, bosque espinoso, coníferas, galería, mesófilo de montaña, pino y encino, matorral desértico, submontano y xerófilo, palmar, pastizal, selva baja caducifolia y subcaducifolia, vegetación de desiertos arenosos, vegetación halófila, vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea. El clima es de tipo muy seco cálido y semicálido, seco cálido a templado, semiseco cálido a templado, cálido húmedo y subhúmedo, semicálido húmedo, y templado húmedo a subhúmedo. La precipitación del grupo es muy variada, desde los 200 a 3,500 mm. Los suelos dominantes son de tipo litosol, rendzina, regosol, feozem, luvisol, vertisol, solonchak, cambisol y xerosol.

Grupo IV: se conforma por las cuencas Lago El Carmen, Río Conchos-Chorreras y Cuenca Interior de Matehuala. El grupo es discontinuo y se dividen en dos zonas de la SMOr. La primera zona hacia la ladera oeste a sotavento de la provincia arriba de la cuenca Río Pánuco; la segunda zona hacia la ladera este a

barlovento, en la parte alta de la cuenca Río Soto La Marina. Cuatro de las 10 especies (*Lemna minuta*, *Paspalum distichum*, *Typha latifolia* y *Zannichellia palustris*) se comparten en más de una cuenca. La vegetación y uso de suelo que está asociada a la flora acuática del grupo es agricultura de riego y temporal, bosque de pino, matorral desértico y vegetación secundaria arbustiva. El clima es semiseco semicálido y templado, seco semicálido y templado, templado subhúmedo y semifrío subhúmedo. El rango de precipitación está entre los 300 y 600 mm. Los suelos dominantes son feozem, litosol, regosol, rendzina y xerosol.

Grupo V: conformado por las cuencas Río Soto La Marina, Río Nazas y Cuatro Ciénegas. El grupo es discontinuo repartiéndose en tres zonas de la SMOr. La primera zona se ubica al norte de la provincia entre las cuencas Río Bravo, Lago La Leche y Lago El Guaje; la segunda zona está conformada por toda la región hídrica de Nazas-Aguanaval al oeste de la provincia; la tercera zona está ubicada al este de la provincia arriba de la cuenca Río Pánuco. Se registran 16 especies, de las cuales *Bacopa monnieri*, *Ludwigia palustris*, *L. repens*, *Nuphar advena* y *Potamogeton nodosus* se encuentran en más de una cuenca. Las especies están asociadas a la agricultura de riego y temporal, bosque de pino y encino, matorral desértico y submontano, y vegetación halófila. El clima es muy seco cálido y semicálido, semiseco templado, y templado subhúmedo, con precipitaciones entre los 200 y 1,200 mm. Los suelos están dominados por solonchak, xerosol y regosol.

Grupo VI: se conforma por las cuencas Valle El Sobaco y Arroyo Bajío Quelitos. El grupo es discontinuo, una cuenca está al centro de la SMOr a lado de Río Soto La Marina, mientras que otra cuenca se encuentra al norte de la provincia arriba de Río Nazas. Se registran las especies *Cladium jamaicense*, *Lemna minuta*, *Potamogeton nodosus* y *Typha domingensis*, siendo la primera la única que se comparte entre las dos cuencas. La vegetación asociada es bosque espinoso y matorral desértico. El clima es de tipo muy seco semicálido y seco semicálido, con

precipitaciones entre los 200 y 400 mm. El suelo dominante es de tipo xerosol y regosol.

7.4.3 Especies y las características ambientales

El fenograma diferencia nueve grupos en las que se comparten las 76 especies de flora acuática con datos georreferenciados, los cuales se marcan con números decimales (figura 41). La tabla de similitud del coeficiente de Sørensen, muestra que las especies *Eriocaulon microcephalum*, *Habenaria repens* y *Nymphaea mexicana* tienen una similitud muy cercana ($I_S=1$). El resto de los índices disminuyen desde el segundo más elevado ($I_S=<0.846$) (tabla 5). El apéndice 2 describe de forma general las características ambientales que comparte cada especie.

Grupo 1: conformado por las especies *Bolboschoenus maritimus*, *Eleocharis mutata*, *Najas marina*, *Ruppia maritima*, *Sagittaria montevidensis* y *Schoenoplectus pungens*. Se distribuyen principalmente en el Río Bravo, a excepción de *N. marina* que se registra en Río Nazas y *S. pungens* que se encuentra en Río Pánuco. La vegetación asociada es matorral desértico, vegetación halófila y vegetación secundaria arbustiva. El clima de las especies es muy seco cálido y semicálido y seco semicálido. El rango de precipitación está entre los 200 y 600 mm. El suelo es dominado por rendzina, solonchak y xerosol.

Grupo 2: se conforma por las especies *Marsilea vestita*, *Potamogeton diversifolius* y *Tristicha trifaria*. Las cuencas en las que se registran alguna de las especies son Cuatro Ciénegas, Cuenca Interior de Matehuala y Río Pánuco. La vegetación y tipos de suelos que predominan son agricultura de riego, matorral desértico, vegetación secundaria arbustiva. El clima es muy seco semicálido y semiseco semicálido, con precipitaciones entre 400 y 600 mm. Los suelos dominantes son litosol y feozem.

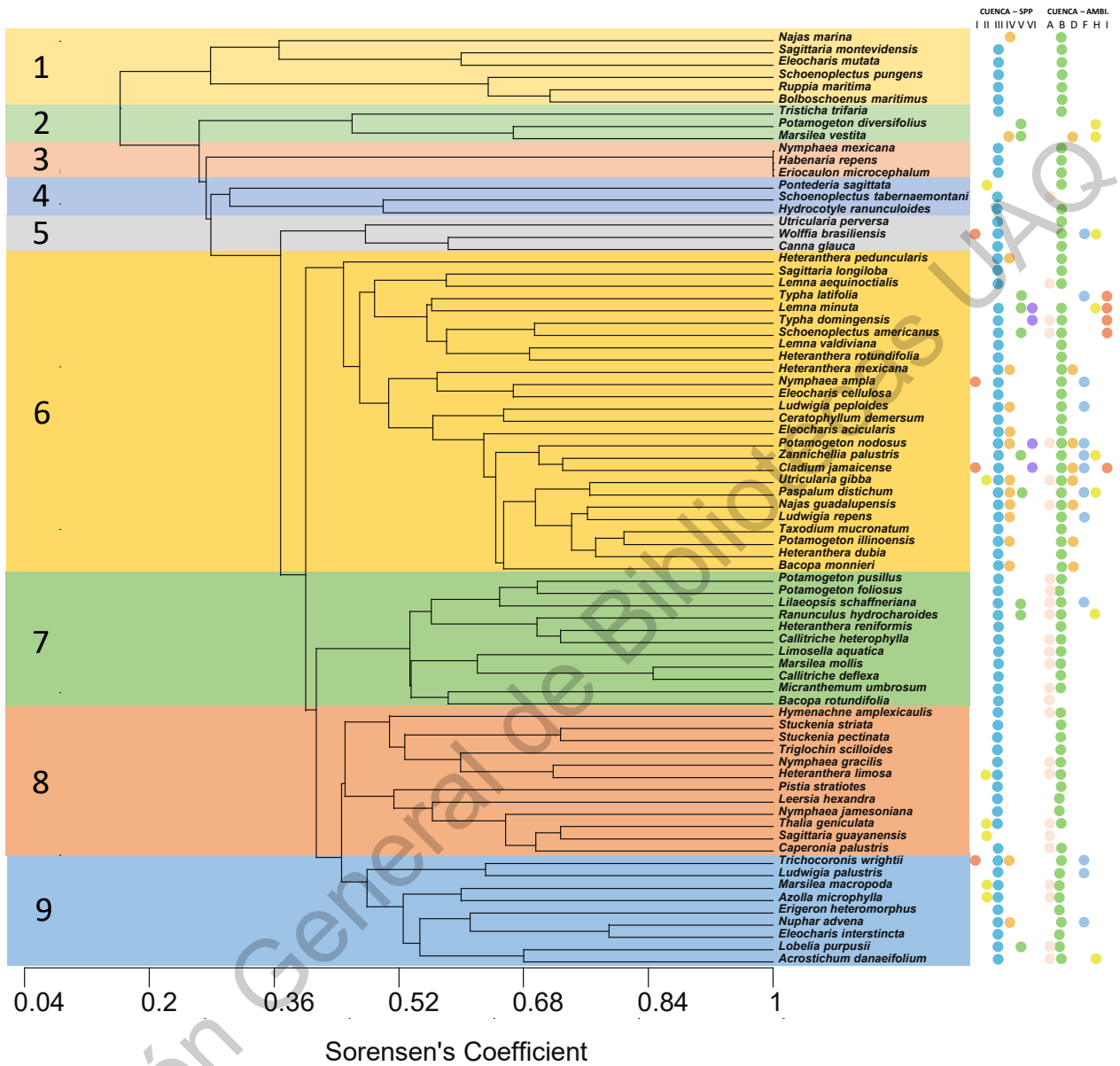


Figura 41. Fenograma del Coeficiente de Sørensen de las especies y sus características ambientales. Cada color conforma un grupo, nombrado con número decimal. Se crearon nueve grupos que se diferencian por la similitud del ambiente en el que se encuentran. Los puntos representan los grupos en los análisis de similitud de las cuencas y su relación con las especies (izquierda) y el medio ambiente (derecha). $I_s < 1$ es menor la similitud de las cuencas.

Tabla 5. Valores del Coeficiente de Similitud de Sørensen para las especies y sus características ambientales. $J_s < 1$ es menor la similitud de las cuencas.

Nodo	Grupo 1	Grupo 2	Similitud
1	<i>Eriocaulon microcephalum</i>	<i>Habenaria repens</i>	1.00
2	Node 1	<i>Nymphaea mexicana</i>	1.00
3	<i>Callitriche deflexa</i>	<i>Marsilea mollis</i>	0.846
4	<i>Potamogeton illinoensis</i>	<i>Taxodium mucronatum</i>	0.809
5	<i>Eleocharis interstincta</i>	<i>Nuphar advena</i>	0.789
6	<i>Heteranthera dubia</i>	Node 4	0.773
7	<i>Paspalum distichum</i>	<i>Utricularia gibba</i>	0.765
8	<i>Ludwigia repens</i>	<i>Najas guadalupensis</i>	0.762
9	Node 6	Node 8	0.742
10	<i>Cladium jamaicense</i>	<i>Zannichellia palustris</i>	0.730
11	<i>Callitriche heterophylla</i>	<i>Heteranthera reniformis</i>	0.727
12	<i>Sagittaria guayanensis</i>	<i>Thalia geniculata</i>	0.727
13	<i>Stuckenia pectinata</i>	<i>Stuckenia striata</i>	0.727
14	<i>Heteranthera limosa</i>	<i>Nymphaea gracilis</i>	0.718
15	<i>Bolboschoenus maritimus</i>	<i>Ruppia maritima</i>	0.714
16	Node 10	<i>Potamogeton nodosus</i>	0.699
17	<i>Potamogeton foliosus</i>	<i>Potamogeton pusillus</i>	0.698
18	Node 11	<i>Ranunculus hydrocharoides</i>	0.697
19	<i>Caperonia palustris</i>	Node 12	0.696
20	Node 9	Node 7	0.695
21	<i>Schoenoplectus americanus</i>	<i>Typha domingensis</i>	0.694
22	<i>Heteranthera rotundifolia</i>	<i>Lemna valdiviana</i>	0.688
23	<i>Acrostichum danaeifolium</i>	<i>Lobelia purpusii</i>	0.680
24	<i>Eleocharis cellulosa</i>	<i>Nymphaea ampla</i>	0.667
25	<i>Marsilea vestita</i>	<i>Potamogeton diversifolius</i>	0.667
26	Node 19	<i>Nymphaea jamesoniana</i>	0.657
27	<i>Bacopa monnieri</i>	Node 20	0.655
28	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Ludwigia peploides</i>	0.655
29	<i>Lilaeopsis schaffneriana</i>	Node 17	0.649
30	Node 27	Node 16	0.644
31	Node 15	<i>Schoenoplectus pungens</i>	0.635
32	<i>Ludwigia palustris</i>	<i>Trichocoronis wrightii</i>	0.632
33	Node 30	<i>Eleocharis acicularis</i>	0.629
34	Node 3	<i>Limosella aquatica</i>	0.621
35	Node 5	<i>Erigeron heteromorphus</i>	0.612
36	<i>Azolla microphylla</i>	<i>Marsilea macropoda</i>	0.600
37	<i>Eleocharis mutata</i>	<i>Sagittaria montevidensis</i>	0.600

Continuación...

Nodo	Grupo 1	Grupo 2	Similitud
38	Node 14	<i>Triglochin scilloides</i>	0.599
39	<i>Bacopa rotundifolia</i>	<i>Micranthemum umbrosum</i>	0.583
40	<i>Canna glauca</i>	<i>Wolffia brasiliensis</i>	0.583
41	Node 22	Node 21	0.581
42	<i>Lemna aequinoctialis</i>	<i>Sagittaria longiloba</i>	0.581
43	Node 24	<i>Heteranthera mexicana</i>	0.569
44	Node 33	Node 28	0.564
45	Node 26	<i>Leersia hexandra</i>	0.563
46	<i>Lemna minuta</i>	<i>Typha latifolia</i>	0.563
47	Node 18	Node 29	0.562
48	Node 41	Node 46	0.556
49	Node 23	Node 35	0.547
50	Node 39	Node 34	0.536
51	Node 50	Node 47	0.534
52	Node 38	Node 13	0.527
53	Node 49	Node 36	0.525
54	Node 45	<i>Pistia stratiotes</i>	0.514
55	Node 52	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	0.508
56	Node 44	Node 43	0.507
57	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	0.500
58	Node 48	Node 42	0.489
59	Node 53	Node 32	0.479
60	Node 40	<i>Utricularia perversa</i>	0.477
61	Node 56	Node 58	0.470
62	Node 25	<i>Tristicha trifaria</i>	0.460
63	Node 54	Node 55	0.451
64	Node 61	<i>Heteranthera peduncularis</i>	0.449
65	Node 59	Node 63	0.447
66	Node 65	Node 51	0.414
67	Node 66	Node 64	0.400
68	Node 67	Node 60	0.368
69	Node 37	<i>Najas marina</i>	0.367
70	Node 57	<i>Pontederia sagittata</i>	0.303
71	Node 68	Node 70	0.279
72	Node 31	Node 69	0.279
73	Node 71	Node 2	0.273
74	Node 73	Node 62	0.264
75	Node 74	Node 72	0.163
76	Node 68	<i>Nymphaea jamesoniana</i>	0.168
77	Node 74	Node 72	0.167

Continuación...

Nodo	Grupo 1	Grupo 2	Similitud
78	Node 67	Node 42	0.161
79	Node 77	Node 75	0.144
80	Node 79	Node 78	0.130
81	Node 63	Node 73	0.128
82	Node 71	Node 47	0.105
83	Node 82	Node 76	0.086
84	Node 80	Node 83	0.083
85	Node 84	Node 81	0.059

Grupo 3: conformado por las especies *Eriocaulon microcephalum*, *Habenaria repens* y *Nymphaea mexicana*, es el grupo donde el índice de similitud es $I_S=1$. Su distribución es en la cuenca Río Pánuco. Los registros no definen un tipo de vegetación y un tipo suelo, en ambos casos se señala ambiente acuático. El clima es templado húmedo y una precipitación entre 1,800 y 2,000 mm.

Grupo 4: se conforma por las especies *Hydrocotyle ranunculoides*, *Pontederia sagittata* y *Schoenoplectus tabernaemontani*. La distribución principal es en Río Pánuco, sin embargo, *H. ranunculoides* se distribuye al norte de la SMOr en la cuenca de Río Bravo y *S. tabernaemontani* que se ubica más al sur de la provincia en la cuenca Río Cazones. La vegetación asociada es bosque de encino, matorral desértico, pastizal y vegetación secundaria arbórea. El clima es de tipo semiseco templado, cálido húmedo, semicálido húmedo y templado húmedo. El mínimo rango de precipitación está entre los 300 y 400 mm, mientras que el máximo se presenta entre los 1,800 y 2,500 mm. El suelo que domina es de tipo luvisol, litosol, regosol y rendzina.

Grupo 5: se conforma por las especies *Canna glauca*, *Utricularia perversa* y *Wolffia brasiliensis*. Se ubican en las cuencas Arroyo El Rayo del Puerto, La Lagunita, Río Bravo y Río Pánuco. La vegetación y el uso de suelo que se asocia es agricultura temporal, bosque pino y encino, y matorral submontano. El clima es

semiseco semicálido y templado subhúmedo, con un rango de precipitación entre 500 y 1,000 mm, sin embargo, *U. perversa* se encuentra en localidades donde la precipitación es entre 1,500 y 1,800 mm. Los suelos son dominados por litosol, rendzina y regosol.

Grupo 6: se registran 27 especies: *Bacopa monnieri*, *Ceratophyllum demersum*, *Cladium jamaicense*, *Eleocharis acicularis*, *E. cellulosa*, *Heteranthera dubia*, *H. mexicana*, *H. peduncularis*, *H. rotundifolia*, *Lemna aequinoctialis*, *L. minuta*, *L. valdiviana*, *Ludwigia peploides*, *L. repens*, *Najas guadalupensis*, *Nymphaea ampla*, *Paspalum distichum*, *Potamogeton illinoensis*, *P. nodosus*, *Sagittaria longiloba*, *Schoenoplectus americanus*, *Taxodium mucronatum*, *Typha domingensis*, *T. latifolia*, *Utricularia gibba* y *Zannichellia palustris*. Se distribuyen en todas las cuencas excepto en La Lagunita. La vegetación y uso de suelo predominantes son agricultura de riego y temporal, bosque espinoso, coníferas, galería, mesófilo de montaña, pino y encino, matorral desértico, submontano y xerófilo, pastizal, selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, vegetación de desiertos arenosos, vegetación halófila, vegetación secundaria arbórea y arbustiva. El clima es muy seco cálido a semicálido, seco cálido a templado, semiseco semicálido a templado, cálido húmedo a subhúmedo, semicálido húmedo, templado húmedo a subhúmedo. El rango de precipitación está entre los 200 a 3,000 mm. Los suelos dominantes son de tipo cambisol, feozem, litosol, luvisol, regosol, rendzina, solonchak, vertisol y xerosol.

Grupo 7: se conforma por las especies *Bacopa rotundifolia*, *Callitriche deflexa*, *C. heterophylla*, *Heteranthera reniformis*, *Lilaeopsis schaffneriana*, *Limosella aquatica*, *Marsilea mollis*, *Micranthemum umbrosum*, *Potamogeton foliosus*, *P. pusillus* y *Ranunculus hydrocharoides*. Se distribuye principalmente en las cuencas Río Pánuco y Río Tuxpan (Pantepec), sin embargo, también hay especies en las cuencas Cuenca Interior de Matehuala, Río Bravo, Río Conchos-Chorreras y Río Tecolutla. La vegetación y uso de suelo asociada es agricultura de riego y temporal,

bosque mesófilo de montaña, pino y encino, matorral submontano, pastizal, vegetación secundaria arbórea, arbustiva y herbácea. El clima es semiseco semicálido a templado, cálido húmedo a subhúmedo, semicálido húmedo, y templado húmedo a subhúmedo. El rango de precipitación está entre los 400 a 3,500 mm. Los suelos dominantes son de tipo cambisol, feozem, litosol, luvisol, regosol y rendzina.

Grupo 8: está conformado por las especies *Caperonia palustris*, *Heteranthera limosa*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Leersia hexandra*, *Nymphaea gracilis*, *N. jamesoniana*, *Pistia stratiotes*, *Sagittaria guayanensis*, *Stuckenia pectinata*, *S. striata*, *Thalia geniculata* y *Triglochin scilloides*. Se distribuyen principalmente en la cuenca de Río Pánuco, pero también algunas se comparten en las cuencas Río Bravo, Río Cazones, Río Tecolutla y Río Tuxpan (Pantepec). La vegetación y uso de suelos predominantes son agricultura de riego y temporal, bosque de pino y encino, matorral submontano, pastizal, selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbórea y arbustiva. El clima es semiseco semicálido a templado, cálido húmedo a subhúmedo, semicálido húmedo, templado húmedo y subhúmedo. El rango de precipitación es de 300 a 3,000 mm. Los tipos de suelos dominantes son cambisol, feozem, litosol, luvisol, regosol, rendzina, vertisol y xerosol.

Grupo 9: está conformado por las especies *Acrostichum danaeifolium*, *Azolla microphylla*, *Eleocharis interstincta*, *Erigeron heteromorphus*, *Lobelia purpusii*, *Ludwigia palustris*, *Marsilea macropoda*, *Nuphar advena* y *Trichocoronis wrightii*. Las especies se distribuyen principalmente en la cuenca Río Pánuco, sin embargo, también hay registros en las cuencas Arroyo El Rayo del Puerto, Cuenca Interior de Matehuala, Río Bravo, Río Cazones, Río Soto La Marina, Río Tecolutla y Río Tuxpan (Pantepec). La vegetación y uso de suelos asociados son agricultura de riego y temporal, bosque mesófilo de montaña, pino y encino, matorral desértico, palmar, pastizal, selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, y vegetación secundaria arbórea y arbustiva. El clima es seco cálido a semicálido, semiseco

semicálido, cálido subhúmedo, semicálido húmedo, templado húmedo a subhúmedo. El rango de precipitación está entre los 300 y 3,000 mm. Los suelos están dominados por cambisol, feozem, litosol, luvisol, regosol y vertisol.

Se demuestra que el grupo 6 está formado por las especies cuyas preferencias ambientales es amplio y se encuentran en la mayoría de las cuencas. Los grupos B y III comparten la gran parte de las especies a excepción de *Marsilea vestitata*, *Potamogeton diversifolius* *Sagittaria guayanensis* y *Typha latifolia*; estos grupos se presentan en las cuencas de Río Bravo y Río Pánuco, siendo las más diversas a nivel ambiental.

Las especies que conforman los grupos 7, 8 y 9 tienen una preferencia hacia el grupo A donde las cuencas poseen una vegetación y uso de suelo dominado por agricultura, bosques, pastizales, selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbustiva y herbácea; los climas son cálidos húmedos a templado subhúmedos y fríos, con un rango de precipitación entre los 500 a 4,500 mm; y suelos dominados por andosol, cambisol, luvisol, rendzina, regosol, vertisol y feozem.

El grupo II está conformado principalmente por especies pertenecientes a los grupos 8 y 9. Se presenta la vegetación y uso de suelo de agricultura y pastizal, un clima cálido y templado, con precipitaciones entre los 1,800 y 3,000 mm; los suelos están principalmente asociados con cambisol, feozem, litosol, luvisol, regosol.

VIII DISCUSIÓN

8.1 Especies acuáticas estrictas

A nivel nacional, Mora-Olivo *et al.* (2013) registraron para México 240 especies de plantas vasculares acuáticas estrictas. En consecuencia, la SMOr concentraría el 41.25% de la flora vascular acuática estricta reportada para el país.

Villaseñor y Ortiz (2014) enlistaron 1,283 especies acuáticas estrictas y subacuáticas. Si llegásemos considerar las plantas subacuáticas para la SMOr, el

número de especies aumentaría considerablemente a un aproximado de 350 especies (Navarrete-Ledesma, en prep.), lo que equivale al 27.27% de la flora total registrada para algún ambiente acuático.

Con respecto a la SMOr, Salinas-Rodríguez (2018) reporta hasta 8,000 especies de plantas vasculares. El número de especies acuáticas estrictas inventariadas en este trabajo equivalen al 1.23% de la flora inventariada por la autora.

Se registran para la SMOr 99 especies agrupadas en 61 géneros y 37 familias, una cantidad inferior a la mencionada por Bonilla-Barbosa (2004), quien enlista 148 especies de acuáticas estrictas y subacuáticas, agrupadas en 73 géneros y 44 familias. De las familias con más especies, se destacan las familias Araceae y Cyperaceae con 11 especies y Potamogetonaceae con nueve especies; Bonilla-Barbosa señala a la familia Cyperaceae (con 21 especies) como la más diversa, seguida de Lemnaceae (ahora Araceae) con nueve especies (sumando una especie perteneciente originalmente a la familia Araceae) y Pontederiaceae con ocho especies. De esta última familia no se consideró en este trabajo a *Eichhornia crassipes*, reduciendo a siete el número total de especies para la familia.

En relación con el endemismo, Rzedowski (1991a y b) menciona que un 3% de la flora acuática presente en México es endémica, mientras que Mora-Olivo *et al.* (2013) señalan que el país alberga un 8.3% de flora acuática endémica. Basándonos en la investigación de Mora-Olivo *et al.* (2013), la SMOr alberga el 3.32% de especies acuáticas estrictas endémicas.

El trabajo de Mora-Olivo *et al.* (2013) mencionan que el 5.41% de las especies acuáticas estrictas presentes en el país son introducidas. La SMOr registra siete especies de flora introducida equivaliendo el 2.91% de la reportada para México.

La mayor concentración de las especies se presenta al sur de la SMO, desde el estado de Tamaulipas hasta el estado de Puebla. Las especies endémicas mostraron una distribución similar al sur de la provincia. El endemismo de la flora acuática no ha tenido mucha atención con respecto a su preferencia ambiental y, a pesar de que hoy en día están limitadas a su distribución, se reportan algunos géneros como paleoendémicos (Rzedowski, 1991b). Stuckey (1993) señala que la mayor cantidad de endemismos puede estar mejor representada en regiones tropicales. Mora-Olivo *et al.* (2013) mencionan que muchas de las especies, en especial, las endémicas se encuentran en zonas montañosas, áridas y en cuerpos de agua temporales. La posible relación entre las zonas montañosas y sus endemismos sería por la preferencia de las especies a zonas calcáreas (Rzedowski, 1991b).

8.2 Inventario y datos georreferenciados

Los inventarios de las bases de datos están incompletos, regiones, grupos o especies presentan datos restringidos o muy escasos, disminuyendo la confiabilidad en la predicción de la riqueza de especies (Sosa y Loera, 2017). Solo el 76.76% de los taxones enlistados para este trabajo contaron con coordenadas, mientras que el resto de los datos no contaban con registros georreferenciados, localidades o colectas. Se observó que en las bases de datos de los herbarios existe una gran cantidad de especies registradas sin una localidad exacta, siendo el estado, el único dato referente a la ubicación. Otros registros, mostraban localidades con nombres coloquiales, motivo que dificultó su localización y en algunos casos no se logró determinar.

La disponibilidad de los datos georreferenciados ha sido un factor importante para que la investigación de las relaciones ambientales y la distribución de las especies sea más fácil y confiable (Sosa y Loera, 2017). Además, estos datos

permiten comprender los impulsos históricos de la riqueza de las especies (Sosa y Loera, 2017).

Muchas de las recolectas llegan a generar sesgos. Esto es principalmente por los esfuerzos en campo dirigidos a las cercanías de zonas urbanas, vías de comunicación o transporte, áreas de prioridad a la conservación que son atractivas (Venegas-Barrera *et al.*, 2015). Muchos investigadores procuran cubrir una gran extensión, para obtener costos y tiempos bajos, por lo que muchas veces se excluyen lugares con poca accesibilidad (Venegas-Barrera *et al.*, 2015).

Con base en este trabajo, se observa que la mayoría de las especies acuáticas con georreferencia están situadas en las cercanías de las carreteras, áreas naturales protegidas, parques estatales o nacionales, lagos y presas donde hay actividades recreativas o muy cercanas a asentamientos humanos, cada localidad se ubica cerca una comunidad y tiene caminos definidos. Para reducir el sesgo por las localidades pobremente muestreadas o sin muestrear, se podría usar el muestreo estratificado azaroso con fines de incrementar el esfuerzo de recolecta en sitios donde su evaluación es casi o completamente nula (Venegas-Barrera *et al.*, 2015). Esto es recomendado a escala regional para generar estimaciones ambientales más precisas en relación con la distribución de las especies (Venegas-Barrera *et al.*, 2015).

8.3 Factores bióticos

8.3.1 Vegetación

El mayor número de especies acuáticas estrictas se registran en zonas donde domina el uso de suelo por agricultura temporal (con 39 especies), seguida de vegetación secundaria arbustiva (32 especies), especialmente la que se encuentra en el bosque de encino con nueve especies (9.09%) y agricultura de riego (29 especies). Olmsted (1993) menciona que la transformación de los humedales a

zonas de agricultura ha traído consigo la contaminación y reducción de estos ecosistemas y ha cambiado los ciclos de inundación y nivel freático. Se considera que la manipulación, la aplicación de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y otros químicos podría relacionarse al establecimiento y propagación de las plantas acuáticas (Lobato-De Magalhães y Martínez, 2018). Se conoce que las características químicas del agua influyen en la distribución de las plantas (Lobato-De Magalhães y Martínez, 2018), siendo las aguas alcalinas y con una variedad de nutrientes las que mejor podrían predecir la distribución de la flora acuática (Jones *et al.*, 2003).

Alahuhta *et al.* (2020) discuten que la riqueza de las especies crece conforme hay mayor disponibilidad de nutrientes, lo cual disminuye cuando las concentraciones se elevan demasiado. Este aumento de nutrientes se correlaciona positivamente con las tierras de cultivo y el desarrollo urbano.

Esta manipulación y el cambio de uso del suelo podría estar favoreciendo el establecimiento de la flora acuática por la implementación de químicos y fertilizantes que benefician a los cultivos. La implementación de plantas acuáticas en cultivos con fines de purificación de aguas, artesanías u ornamental tales como *Eichhornia crassipes* o *Typha latifolia* ha provocado una propagación descontrolada. Se ha dado a conocer que la acción antropogénica, es el método más efectivo, fácil y rápida para la propagación de la flora acuática (Mora-Olivo y Villaseñor, 2007; Les *et al.*, 2003).

La vegetación asociada con las plantas acuáticas podría estar relacionada de manera importante con la composición encontrada (Lobato-De Magalhães y Martínez, 2018). Olmsted (1993) menciona que los tipos de vegetación están relacionados con la temporalidad de lluvia, superficies inundadas y tipos de suelo con poco drenaje que permita la formación de cuerpos de agua temporales o permanentes (figura 42). Un ejemplo que la autora menciona sobre estos tipos de

vegetación son las selvas bajas inundables, que se relacionan más a los periodos de lluvias y donde su riqueza se ve afectada por los incendios que oxidan la materia orgánica superficial y cambia la superficie de suelo. Por ende, podemos considerar que la vegetación puede estar cambiando las características del suelo y a su vez, la del agua, lo que estaría cambiando la composición vegetal de las plantas acuáticas.



Figura 42. Bosque ripario o de galería formada por vegetación como los ahuehuetes o sabinos (*Taxodium mucrunatum*) que están relacionados a ambientes de superficies inundados. Tamasopo, S.L.P.

Se considera que el tipo de vegetación está relacionada con la luz que reciben las plantas acuáticas. Uno de los factores primordiales que afectan al establecimiento de la flora acuática es la cantidad y calidad de luz que puede penetrar a la columna de agua (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado, 2006). Las plantas acuáticas tienen la capacidad de crecer bajo condiciones donde la luz penetra al 1% de lo que llegaría a la superficie (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado, 2006). La temporalidad de la luz participa en la dominancia de las plantas acuáticas (Barko *et al.*, 1986) y en la variación de la cobertura, biomasa, composición y riqueza de especies (Santamaría, 2002). Son *et al.* (2018) mencionan que la luz se considera como un factor que influye en la distribución y riqueza de las plantas acuáticas

sumergidas y que las partículas finas, nitrógeno, fósforo, biomasa y clorofilas en suspensión podrían ser parámetros que actúen negativamente en la disponibilidad de la luz.

8.4 Factores bióticos

8.4.1 Clima y precipitación

Se muestra que las zonas templadas subhúmedas de la SMOr, presentan un mayor número de registros de especies. Este tipo de clima cuentan con una temperatura media anual entre los 12° y 18°C, con una precipitación media anual de 500 y 2,500 mm (García, 2004). El alto número de especies afines al clima podría estar relacionada por la distribución de las plantas acuáticas a lo largo de la historia geológica, climatológica, glacial y florística pasada (Stuckey, 1993). Sawada *et al.* (2003) mencionan que el cambio del clima después del último máximo glacial, ayudó a la distribución de las plantas acuáticas por Norte América.

Gracias a los eventos geológicos e históricos como el retroceso del océano y la retirada de cubiertas de hielo, las plantas acuáticas tuvieron la disponibilidad de dispersarse en distintas direcciones (Stuckey, 1993). Algunas especies se establecieron en hábitats protegidas, mientras que otras migraron a altitudes más bajas donde el clima es más cálido (Stuckey, 1993). También, el norte de la SMOr presenta áreas más áridas y calientes, por ende, se podría hipotetizar que las zonas donde se registran especies de flora acuática pudieron haber sido remanentes de cuando el clima era menos caliente y las plantas acuáticas se establecieron de zonas más húmedas y frías.

Luna *et al.* (2004) señalaron que la composición biótica de la SMOr puede variar entre las laderas de la sierra; en decir, la cara oriente manifiesta una alta riqueza en especies de amplia distribución y vegetaciones asociadas a climas cálido húmedos, distinto contrastante a la cara occidental, la cual refleja una disminución

en riqueza taxonómica y un aumento en endemismos, así como vegetaciones asociadas a climas áridos. Esto se relaciona con la mayor riqueza de especies que se encuentran en la SMOr. Se observa que la mayor concentración de individuos está en la ladera a barlovento, donde la acción de los vientos húmedos traídos del Golfo de México favorece a la comunidad vegetal de plantas acuáticas. Olmsted (1993) menciona que las frías corrientes de California provocan zonas desérticas, mientras que las corrientes cálidas del Golfo de México producen zonas de alta humedad y abundante lluvia. Además, la sombra orográfica influenciada por los vientos alisios húmedos provenientes del Golfo de México, permite el establecimiento de una alta riqueza, en los ecosistemas tropicales, con climas entre cálido-húmedos y templados del sur de la Sierra Madre Oriental (Olmsted, 1993).

Yan *et al.* (2013) demostraron que la alta riqueza de especies acuáticas está influenciada por el clima. Además, los autores mencionan que las herbáceas acuáticas tienen una alta riqueza y diversidad por la plasticidad de los organismos pequeños a sus nichos fundamentales, así como la producción de brotes y tallos subterráneos. Esto apoya el registro de las especies que se pueden presentar en zonas donde el clima y el rango de precipitación es variada.

Alahuhta *et al.* (2020) mostraron que el clima actual beneficia a la riqueza de las especies acuáticas, es decir, el rango de su distribución. La temperatura media anual tuvo mayor correlación con la riqueza de las especies en Norteamérica (Estados Unidos y Canadá) y parte de Europa. Sin embargo, en Norteamérica también se vio muy influenciado la precipitación media anual. Los autores reportan que la influencia de los climas podría estar influenciando en la respuesta fisiológica (ej. germinación y tasa de crecimiento) de la vegetación acuática.

8.4.2 Edafología

La vegetación acuática se registra en suelos con dominancia en regosoles. Estos suelos están presentes aproximadamente un 18.5% del territorio mexicano, se ubican principalmente en regiones secas y montañosas (SEMARNAT, 2012, 2002). Cuentan con la característica de estar presentes en lugares donde no han sufrido algún tipo de presión o compresión, por lo que sus horizontes no están bien definidos (SEMARNAT, 2012; Bautista *et al.*, 2005). Estos suelos son pobres en materia orgánica por ser jóvenes y formadas por el depósito de roca y arena acarreada por el agua (SEMARNAT, 2002). Existen variantes como los regosoles éutricos y calcáreos que al estar desprovista de vegetación se vuelve dura e impide la filtración del agua hacia el subsuelo (SEMARNAT, 2012).

Las características de los regosoles se podrían vincular a la presencia de la flora acuática. La modificación antropogénica genera que este suelo se vuelva compacto sobre todo en zonas donde abunda la agricultura y donde la vegetación deba de ser removida, provocando la acumulación de charcas de agua.

Otros tipos de suelos donde se registran gran parte de las especies de plantas acuáticas son los litosoles y rendzinas. Estos suelos son pocos profundos y con alto contenido de material calcáreo (SEMARNAT, 2012, 2002). Son muy abundantes en zonas con compleja orografía como la SMO_r (SEMARNAT, 2012, 2002). Su poca retención de agua no permite que se establezcan cuerpos de agua, en consecuencia, se puede deducir que los registros de la flora acuática se deben solo por la abundancia del suelo en la SMO_r.

8.4.3 Relieve geográfico

Los humedales de México llegan a variar por la diversidad climática, orogenia y geología (Olmsted, 1993). Algunas plantas encontradas de forma aislada en las

montañas se han considerado como sobrevivientes de la flora austral (Stuckey, 1993). El relieve heterogéneo y fragmentado de la SMOr podría estar desempeñando un papel importante para la actual distribución fragmentada de las especies acuáticas dados en los modelos de riqueza y diversidad.

Las barreras geográficas y los patrones de dispersión a larga distancia son contribuciones que afecta la distribución de las plantas acuáticas (Santamaría, 2002). Las grandes montañas y pequeñas sierras son importantes en el sistema de drenaje de las cuencas, dividiendo por una serie de factores topográficos que aíslan comunidades de incluso plantas acuáticas (Huidobro *et al.*, 2005). Los sitios montañosos presentan pocos humedales, por ende, la diversidad de flora acuática es menor que las planicies costeras (Mora-Olivo *et al.*, 2013).

8.4.4 Altitud

Las especies de plantas acuáticas de la SMOr se distribuyeron en todos los gradientes altitudinales. Jones *et al.* (2003) mencionan que el predictor de la riqueza de especies es la altitud. Lot (2012) menciona que hay especies (principalmente en las monocotiledóneas) donde su distribución va desde el nivel del mar como los pastos marinos, hasta especies presentes a altitudes superiores a los 4,000 msnm. Los resultados actuales registran solo dos especies que se localizan a una altitud superior de los 3,000 msnm, *Eleocharis acicularis* (registrada desde los 100 hasta los 3,100 msnm) y *Lilaeopsis schaffneriana* (ubicada desde los 2,000 hasta los 3,600 msnm).

Rzedowski (2020) menciona que las asteráceas acuáticas estrictas y subacuáticas tienen preferencia a altitudes superiores a los 1,800 msnm en ambientes con dominancia de bosques de coníferas, bosques de encino y algunos pastizales. Hay registros donde se conocen un número mayor de especies acuáticas en altitudes menores de 1,000 msnm, sin embargo, la mayoría de las especies son

de amplia distribución altitudinal (Mora-Olivo *et al.*, 2013). Esto último apoya la alta riqueza de especies registradas en altitudes menores de los 1,500 msnm. Se registra el 32.32% de las especies con preferencia a altitudes menores de los 1,500 msnm, mientras que, el 4.04% de las especies solamente se encuentran arriba de los 1,500 msnm. No obstante, el 40.40% de las especies se ubican entre los 100 msnm y arriba de los 3,000 msnm.

Se ha reportado que las plantas acuáticas no siguen la regla de Rapoport donde determina que el área de distribución de las especies desciende conforme aumenta la altitud (o latitud) (Jones *et al.*, 2003). Existen otras características que podrían influir en la distribución de las especies de plantas acuáticas y que estén relacionadas como la altitud, temperatura, precipitación y radiación solar (Elith y Leathwick, 2009; Sánchez, 2007; Jones *et al.*, 2003).

La altitud participa de forma importante en la captación del agua. Según la temporalidad el flujo y energía del agua permite la movilización de la sedimentación, limpieza de canales y cortar los bancos de los bordes (Hauer *et al.*, 2016). Se considera la importancia de las superficies rocosas o de grava para que el agua aflore en forma de manantiales o estanques en la llanura aluvial o directamente en el río (Hauer *et al.*, 2016). Una de las áreas protegidas e importantes dentro de la SMO es el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM) que actúa como un colector de agua y permite la entrada de ésta de forma subterránea por medio de la recarga vertical por la precipitación, infiltración de las corrientes superficiales, o una combinación (Pérez-Ortiz, 2013). De esta manera, el papel dinámico que tiene el sistema montañoso con la captación y el flujo del agua, genera que ésta se dirija y se concentre en altitudes bajas, generando una mayor concentración de cuerpos acuáticos que beneficie a la riqueza de las plantas acuáticas.

8.4.5 Latitud

Las plantas acuáticas estrictas ponen en consideración la importancia de la zona de transición entre las regiones templadas y tropicales (Murphy *et al.*, 2019b; Crow, 1993). Santamaría (2002) menciona que las zonas geográficas que cuentan regiones tropicales y templadas cercanas, pueden presentar floras similares (principalmente a nivel familiar). Martínez y García (2001) registraron para el estado de Querétaro una mayor cantidad de especies acuáticas con afinidad tropical, enseguida de especies boreales.

Para este trabajo no se consideró la latitud y la afinidad de las especies a las regiones biogeográficas neártica y neotropical. Se observa que existe un mayor número de especies al sur del Trópico de Cáncer donde los climas son más cálidos y húmedos. La riqueza y diversidad de las especies disminuye y se fragmenta conforme nos alejamos hacia el norte del Trópico de Cáncer. Las especies neotropicales son más abundantes que las neárticas, sin embargo, la mayoría de las plantas acuáticas son de amplia distribución en el continente (Mora-Olivo y Villaseñor, 2007; Mora-Olivo *et al.*, 2013). Crow (1993) comparó la distribución y riqueza de las plantas acuáticas a lo largo de un gradiente latitudinal y demostró que las regiones templadas cálidas presentan una riqueza mayor a las regiones tropicales. Pero, cuando se habla de diversidad, se invierte la dominancia, es decir, las regiones tropicales suelen tener mayor diversidad que las regiones templadas (Crow, 1993).

Alahuhta *et al.* (2020) mostraron que en Europa la riqueza de especies acuáticas era mayor en latitudes más elevadas. Mientras que en Norteamérica (Estados Unidos y Canadá), era lo contrario, la riqueza de especies acuáticas disminuye conforme aumenta la latitud.

8.5 Riqueza y diversidad

Se demuestra que la mayor riqueza se ubica en localidades muy limitadas de la SMO. La mayor parte de los cuadrantes de 440 km² implican de 1 a 6 especies, mientras que, la mayor riqueza está presente en un cuadrante con 13 especies. Esta riqueza por cuadrante es muy baja si se compara con lagos como el de Pátzcuaro, Michoacán, que cuenta una superficie aproximada de 100 km², y se han catalogado hasta 48 especies de flora acuática, subacuática y tolerante (Lot y Novelo, 1988); otro lago importante es el de Cuitzeo en Michoacán donde enlistan 25 especies de plantas acuáticas estrictas en una superficie de 420 km² (Rojas y Novelo, 1995); la laguna de Yuriria en el estado de Guanajuato con un superficie de 97 km² alberga un aproximado de 20 especies de plantas acuáticas (Ramos y Novelo, 1993). Se ha encontrado una riqueza de hasta 31 especies en charcas temporales de Amealco y Humilpan en Querétaro (Martínez y García, 2001). Se considera que el número de especies por cuadrantes podría ser mayor si se cuenta que no todos los registros de flora acuática están georreferenciados. Además, se considera que los estudios en charcas temporales no son muy abundantes y se desconoce la riqueza que podrían albergar estos cuerpos de agua.

A nivel de cuenca, Córdova (2000) realizó una tesis donde trabaja sobre la diversidad de plantas acuáticas y subacuáticas en ríos y arroyos de la cuenca Pánuco abarcando los estados de Guanajuato, San Luis Potosí y Querétaro. La autora colectó 342 especies en 27 localidades que llegó a muestrear. Del total de especies, 51 son acuáticas estrictas. La autora discute que el bajo número de especies de acuáticas estrictas es debido a los sistemas lóticos y que la corriente del agua evita el establecimiento de varias especies. En el actual trabajo se registraron 62 especies para la cuenca Pánuco. Sin embargo, el número se podría considerar no contrastante si consideramos que el área de la cuenca Pánuco que se usa en el trabajo también incluye los estados de Hidalgo y Tamaulipas, los cuáles se han registrado como estados con una alta riqueza de especies.

Mora-Olivo *et al.* (2013) mencionan que los cuerpos de agua permanentes albergan hasta el 82.1% de la flora acuática estricta, mientras que 31.1% se encuentra en cuerpos de agua temporales. Lobato-De Magalhães y Martínez (2018) enlistan hasta 126 especies de flora acuática (estricta, subacuática y tolerante) en 39 humedales temporales en el centro de México. Mora-Olivo y Novelo (2006) mencionan que la vegetación acuática estricta en la Reserva de la Biósfera El Cielo, está mejor representada en los ríos que en otros cuerpos de agua de la Reserva. Las charcas temporales manifiestan una diversidad elevada, sobre todo en zonas bajas y al este de la Reserva. Los arroyos, algunos estacionales, mostraron una diversidad menor, donde la flora puede ser tolerante o temporal que se desarrollan en tiempos cortos. Los canales son muy cambiantes por estar manipulados las actividades antropogénicas, por ende, la diversidad es menor. Las lagunas y abrevaderos son otros sistemas donde su diversidad de flora acuática es escasa. Sin embargo, para el actual trabajo, durante la minería de datos, no se especificaba el cuerpo de agua donde se registraba la especie, esa información no fue posible de analizar. Por lo tanto, es importante que futuras investigaciones que se enfoquen a la flora acuática señalen el tipo de ambiente y/o cuerpo de agua en la que están realizando el estudio.

Un trabajo similar a este, pero donde se trabaja con especies terrestres geófitos mostró una relación importante entre la riqueza de especies y su clima, mientras que el endemismo es beneficiado por factores topográficos y la precipitación (Sosa y Lorea, 2017). Además, los autores mencionaron que la precipitación se relacionó con la riqueza de especies, es decir, donde hay una mayor cantidad de precipitación, la riqueza aumenta. Otro punto que consideran los autores es la compleja variedad de hábitats presentes en los sistemas montañosos y los suelos con poco drenaje que permitió la alta riqueza de este grupo.

Como se ha mencionado anteriormente, algunas especies, están relacionadas con factores bióticos y abióticos. Las variaciones estacionales como la época de la

lluvia o temperatura influyen en el establecimiento de la flora acuática estricta (Mora-Olivo y Novelo, 2006). Se ha mencionado que, en los sistemas montañosos, las plantas acuáticas estrictas son más afines a charcas temporales que surgen en la temporada de lluvias (Mora-Olivo *et al.*, 2013). Esto apoya al cuadrante de alta riqueza donde el clima es principalmente cálido y húmedo con precipitaciones entre los 400 y 2,500 mm. Además, las cuencas Río Pánuco y Río Bravo que reflejan una diversidad moderadamente alta ($H' = 3-4$; $\lambda = >.75$) y las cuencas Río Tecolutla y Río Tuxpan (Pantepec) que indican una diversidad media ($H' = 2-3$; $\lambda = >.75$) mantienen climas cálidos y húmedos con precipitaciones entre los 200 a 4,500 mm.

8.6 Modelo de nicho

Se demuestra que las cuencas con mayor probabilidad de encontrar o que se establezca la vegetación acuática estricta son las que se presentan en zonas cálidas, templadas y húmedas, donde la precipitación es menor a los 2,000 mm. Las zonas de mayor frecuencia para el nicho ecológico, están ubicadas desde el sur de la SMO y hacia la vertiente de barlovento, donde hay mayor interacción con los vientos húmedos traídos del océano.

Esta interacción con los vientos húmedos, trae consigo precipitaciones en las zonas de alta montaña, recargando constantemente los cuerpos de agua. Los ríos de montaña, cuentan con la característica de tener altos niveles de oxigenación, favoreciendo formas de vida como la vegetal, animal, fúngica, de microorganismos, entre otras (Sánchez, 2007). A comparación de la biomasa de los ecosistemas terrestres que se almacena en las plantas, los sistemas acuáticos tienen un flujo activo de materia y energía (Sánchez, 2007) (figura 43). Este ciclo del agua permite que los cuerpos de agua se recarguen constantemente y que siempre cuenten con minerales y nutrientes para el establecimiento de la flora acuática.



Figura 43. Las corrientes de agua que forman parte de las montañas, forman un papel importante y muy dinámico con el ecosistema, moldean la superficie terrestre, llevan consigo sedimentos, nutrientes y otros elementos que son importantes para la biota de los ecosistemas acuáticos. Tamasopo, S.L.P.

La vegetación es variada, la cual podría estar relacionada de forma importante en los suelos, en la retención de agua, composición de materia orgánica, entre otras (Olmsted, 1993). También, la vegetación podría influir la cantidad de luz que llega al nivel del suelo y que puede penetrar a la columna de agua (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado, 2006).

La “zona seca” presenta una vegetación similar a la zona de alta frecuencia. No obstante, esta zona cuenta con vegetación halófila, la cual se caracteriza por tener suelos salinos. Los climas son dominados por zonas secas con una precipitación menor a 1,000 mm. Otra característica importante sería que las cuencas pertenecen a la ladera a sotavento, donde los vientos son secos y sin humedad en ella. Olmsted (1993) afirma que los vientos cargados de humedad y que participan en la sombra orográfica, juegan un papel importante en la riqueza y establecimiento de la flora acuática.

Estas características podrían desempeñar un papel fundamental para el establecimiento de este grupo particular de flora. No es certero que las cuencas estén ausentes de la vegetación acuática. Es necesario ejecutar una recolecta intensa donde se incluyan las cuencas del eje seco y se puedan analizar la vegetación acuática presente en los cuerpos de agua.

La zona de mayor importancia se asemeja al área con mayor valor en el modelo de Hotspots obtenido en Salinas-Rodríguez (2015) y Salinas-Rodríguez *et al.* (2017). La composición biótica de los ecosistemas acuáticos llega a variar dependiendo de la historia de la distribución (Sánchez, 2007). De esta manera, los lagos encontrados en las montañas pueden presentar flora y fauna diferente a los lagos ubicados en la base (Sánchez, 2007). La geología y climatología han actuado sobre la biota que ha permitido que se desarrollen localmente a su arreglo actual (Sánchez, 2007).

Los modelos de la distribución de especies son una herramienta que nos permite caracterizar la ubicación de las especies a partir de predicadores relevantes y funciones tales como los ambientales (Elith y Leathwick, 2009). Pero sus aplicaciones en los modelos dependen de un equilibrio entre los datos ambientales, la extrapolación del tiempo o espacio y el uso y manejo de los datos para que éstos sean más equivalentes (Elith y Leathwick, 2009). El uso de la gradilla permite que las variables predictoras sean más exactas espacialmente y que los registros sean más precisos (Elith y Leathwick, 2009).

Los modelos de distribución de especies, en cierto grado proveen errores. Los resultados de datos deficientes generan una pérdida de covariables, muestras pequeñas, sesgadas o ausentes, además de especificaciones erróneas en el modelo (Elith y Leathwick, 2009). En consecuencia, los modelos predictivos tratan de recuperar esas zonas no muestreadas (Venegas-Barrera *et al.*, 2015).

8.7 Índices de similitud

Los tres análisis que se han implementado, reflejan principalmente un patrón de similitud anidado, lo que quiere decir es que los grupos son pobres en especies y que participan en forma de subgrupo dependiente de comunidades ricas en especies. Los subgrupos se forman por la similitud de factores ambientales abióticos como el clima, edafología, precipitación, altitud y bióticos como los tipos de vegetación. Los resultados mostrados en este trabajo son similares a la investigación de Mora-Olivo *et al.* (2008) quienes trabajaron con los patrones de similitud de la flora acuática estricta del estado de Tamaulipas. Los autores concluyen que la flora acuática estricta refleja un patrón anidado, y forman parte de una misma unidad florística. Además, que la distribución de la riqueza se explica mejor por los gradientes altitudinales, latitudinales y climáticos, por lo que su distribución y similitud estarán relacionadas con las zonas donde se comparten más estas características (Mora-Olivo *et al.*, 2008).

8.8 Conservación

Esta investigación trata de explicar el cómo las comunidades de plantas acuáticas se distribuyen a lo largo de un sistema montañoso y que factores ambientales son importantes para que estos ecosistemas estén equilibrados. El campo de la biogeografía es amplio y sus aplicaciones en el tema de conservación ahora deberían de ser un tema obligado.

Ubicar la vegetación acuática en mapas ha sido una tarea complicada (Lot *et al.*, 2015). Sin embargo, el uso de imágenes en alta resolución ha sido una herramienta que permite generar inventarios y clasificar los humedales presentes en México (Carrera-González *et al.*, 2010). En 1991 DUMAC comenzó a generar el inventario y clasificación de humedales en México y mediante las nuevas

herramientas han generado un gran aporte para conocer las características y condiciones de los humedales (Carrera-González *et al.*, 2010).

Se han generado planes para la conservación para la flora terrestre, sin embargo, para la flora acuática son casi nulos los planes con esta finalidad (Mora-Olivo *et al.*, 2013). La falta de información sobre la distribución, las relaciones ecológicas, las amenazas hacia la riqueza por la introducción de especies exóticas, la modificación, la eliminación de las plantas acuáticas y los algunos cuerpos de agua, influyen en la pérdida de los ecosistemas acuáticos, por ende, es necesario proponer estrategias.

Para México, los cuerpos de agua dulce son los que representan la mayor diversidad de especies de flora acuática estricta con 224 especies (Mora-Olivo *et al.*, 2013). Los humedales permanentes cuentan 197 especies de plantas acuáticas estrictas, mientras que los cuerpos de agua temporales cuentan con 176 especies (Mora-Olivo *et al.*, 2013). El endemismo en los sistemas acuáticos se considera como una prioridad alta para su conservación (Sánchez, 2007). Se han generado muy pocos estudios sobre la flora acuática en los humedales temporales, a pesar que estos ecosistemas contienen endemismos elevados (Rzedowski, 2020). Se reporta que la gran parte de las especies acuáticas y subacuáticas de Asteraceae se encuentran principalmente en humedales temporales geográficamente aislados (Rzedowski, 2020). Martínez y García (2001), registraron un mayor número de especies de acuáticas en humedales temporales de Querétaro, que en los permanentes.

Los sistemas acuáticos han sido ignorados y se han puesto en riesgo. Su deterioro ha sido causado por acción natural y/o antropogénico (Carrera-González *et al.*, 2010; Pérez-Munguía *et al.*, 2007). Los ecosistemas acuáticos tienen propiedades de resistencia y en cierto grado resiliencia para restablecerse cuando son alterados. Sin embargo, el ambiente acuático no siempre regresa a su estado

inicial, porque su balance depende de otros factores (Sánchez, 2007). En algunos lugares estos sistemas se ven afectados por la contaminación de drenajes, industrial, basura, entre otras (Carrera-González *et al.*, 2010; Sánchez, 2007). Algunos humedales temporales han sido usados con fines alimenticios para animales, otros han sido fragmentados por caminos y carreteras, o son perjudicados por la construcción de casas. En consecuencia, se daña la estructura de la flora presente en los ecosistemas acuáticos (Martínez y García, 2001).

El cambio climático es un tema que actualmente es de preocupación. Las regiones boreales podrían ser las principales en ser afectados en cuanto a su diversidad y eso incluye los sistemas acuáticos (Alahuhta *et al.*, 2011). Modelos predictivos para ecosistemas acuáticos de Finlandia señalan que la cobertura de las plantas acuáticas enraizadas emergentes llegará a ser más amplia (Alahuhta *et al.*, 2011). Y uno de las variables responsables de este comportamiento será el aumento en las temperaturas, precipitaciones y la disponibilidad de suelos ricos en turba (Alahuhta *et al.*, 2011). Algunas de las especies se convertirán en una amenaza para especies sensibles a sus determinados ecosistemas, por ende, este tipo de predicciones ayudan ir tomando medidas preventivas (Martínez y Gómez, 2019; Bonilla-Barbosa y Santamaria, 2014; Alahuhta *et al.*, 2011).

El inventario de los humedales apoya la toma de decisiones con respecto a la conservación y manejo, así como la planeación y regulación de las actividades productivas (Carrera-González *et al.*, 2010). Actualmente se han establecido protocolos para el estudio, seguimiento, valoración, caracterización y restauración de los sistemas acuáticos. Estos protocolos permiten dar a conocer la calidad del agua, estado de conservación, el papel que juegan los atributos bióticos y abióticos (Pérez-Munguía *et al.*, 2007).

Para conservar 227 especies de plantas acuáticas estrictas, es necesario involucrar a 13 estados de México. Solo con la participación de Baja California,

Michoacán, Tabasco y Veracruz, se estaría abarcando aproximadamente el 90% de las especies (Mora-Olivo *et al.*, 2013).

La distribución de la flora acuática estricta depende principalmente de la dispersión a larga distancia por factores bióticos como las aves. Pero aún es necesario estudios más detallados sobre los mecanismos de distribución, al igual que la distribución real y actual (Mora-Olivo *et al.*, 2013). Será necesario proponer planes de manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos para cuidar de la flora y fauna, establecer reservas o áreas naturales protegidas que integren a los humedales y cuerpos de agua donde haya una alta riqueza de plantas acuáticas. Los modelos ayudan a generar escenarios de alerta para que investigadores como ecólogos e instituciones ambientales se enfoquen y brinden atención a esas áreas de interés con ayuda de programas y planes de uso, manejo y conservación.

En 1971 se generó a nivel mundial la “Lista Ramsar”, donde se asignaron humedales con importancia internacional en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos. En México existen 142 sitios Ramsar de los cuales en la SMOr hay ocho sitios (Ramsar, 2020) (figura 44). La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, en línea) administra 182 áreas que se distribuye en distintas categorías; la SMOr cuenta con 26 de estas áreas de protección. Estas áreas son de gran importancia para la protección y el control de la diversidad de la flora acuática. Muchas áreas protegidas cuentan con un sistema para controlar el uso y manipulación de su flora (figura 44).

Comparando los resultados de distribución actual y potencial de este trabajo, se propone incrementar el número de estas áreas de protección para resguardar el mayor número de especies de plantas acuáticas. Este trabajo enfoca su atención al norte y sur de la SMOr, para ser estudiada más a detalle e involucrar a otros organismos que apoyen a la toma de decisiones para la conservación y cuidado de los ecosistemas acuáticos.

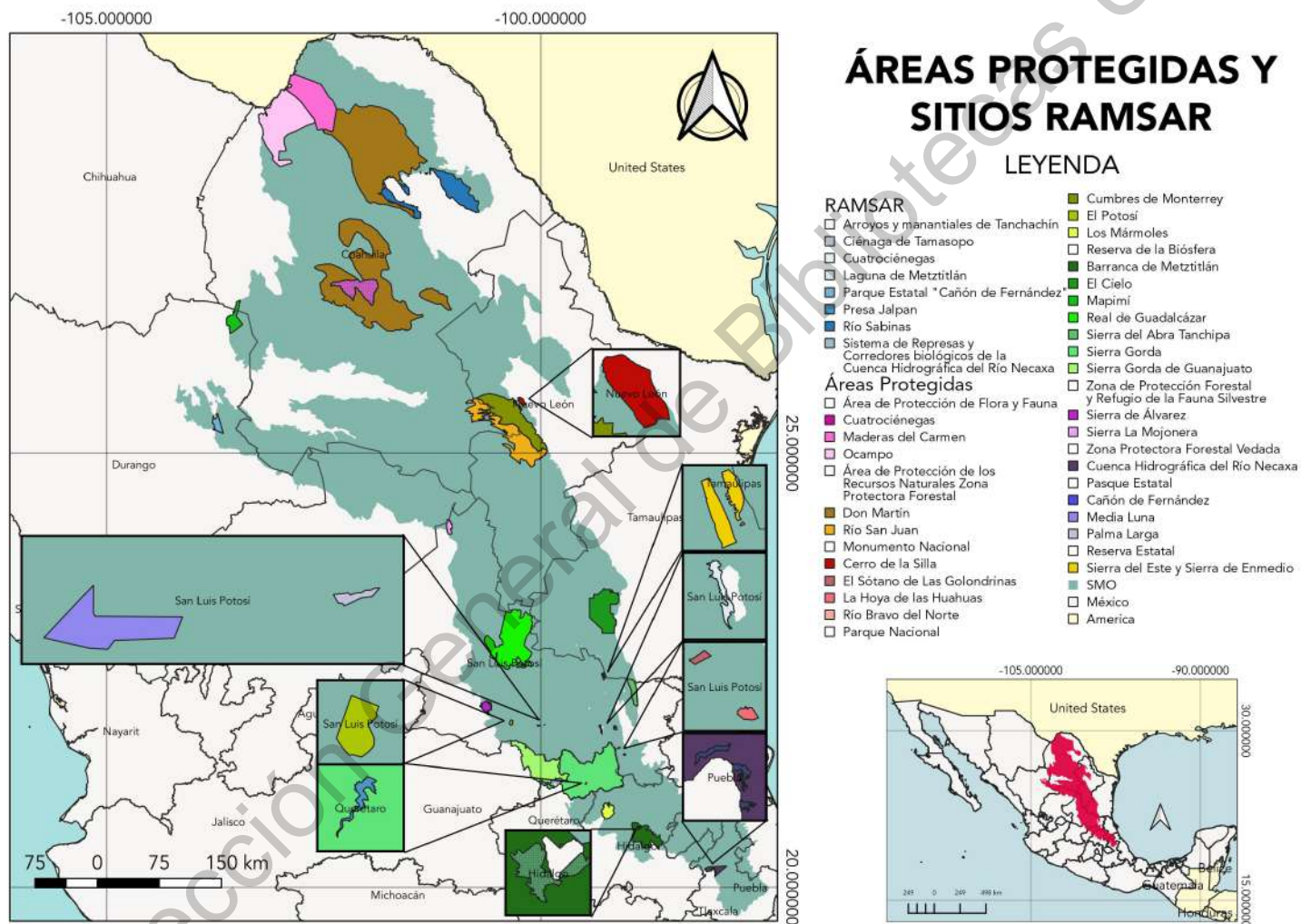


Figura 44. Sitios protegidos y ubicados en la Sierra Madre Oriental según las cartas geográficas de la CONANP (2015, 2017); Bezaury-Creel *et al.*, (2009). Estos sitios fueron promovidos por organizaciones nacionales (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) y tratados internacionales (Convención sobre los Humedales, RAMSAR).

IX CONCLUSIONES

Se registraron 99 especies de plantas acuáticas estrictas. El número de especies podría ser mayor y superior a lo mostrado si se consideran las especies subacuáticas, sumando un aproximado de 350 especies acuáticas estrictas y subacuáticas.

Del total de especies, se registran ocho especies endémicas, siete para México y una para la SMOr, equivaliendo el 3.32% de la flora endémica perteneciente al grupo de las plantas acuáticas estrictas en el país. Se mencionan siete especies introducidas, de las cuales no se consideraron para este trabajo. Siete especies están bajo alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y 52 especies en categoría de “Preocupación menor” de la lista roja IUCN.

Las familias Araceae y Cyperaceae son las más diversas, seguido de Potamogetonaceae. Los géneros con mayor registro de especies son *Eleocharis*, *Heteranthera*, *Lemna*, *Nymphaea*, *Potamogeton* y *Sagittaria*. Las hidrófitas enraizadas emergentes son las que mejor están representadas entre las formas de vida.

Del total de especies reportadas, solo 76 (76.76%) obtuvieron al menos un registro georreferenciado. La mayoría de los datos se concentran en lugares con acceso a caminos, de interés turístico o de conservación como parques, reservas, lagunas, presas o cerca de alguna comunidad poblada. Se requiere más esfuerzo para analizar de forma sistemática y aleatoria toda la SMOr y poder estudiar aquellas zonas donde los trabajos botánicos son casi o completamente nulos. A nivel estatal, Hidalgo, Coahuila y Querétaro son los estados que más especies se registraron.

De forma general, las especies se distribuyen de forma amplia a lo largo de la SMOOr. El sur de la provincia es la que mayor riqueza de especies presenta, al igual que endemismos. Solamente 15 de las 32 cuencas presentan al menos un registro de alguna especie de flora acuática estricta. La región Pánuco y las cuencas Río Bravo y Río Pánuco son la más importantes en riqueza de especies. Con respecto a la diversidad, las cuencas de Río Pánuco (al sur de la SMOOr) y Río Bravo (al norte), se consideran con mayor índice de equidad de especies, mientras que la mayor parte de las cuencas (incluyendo Río Pánuco y Río Bravo) se consideran con un índice de dominancia muy alto.

Se registran más especies en climas templados, con precipitaciones entre los 400 y 800 mm. La riqueza y diversidad se presenta mejor en localidades donde los climas van desde los fríos hasta los secos, con un rango de precipitación de 300 a 3,000 mm. Se considera que el clima y el rango de precipitación son importantes para el establecimiento y desarrollo de la flora acuática estricta. También, se observa una preferencia de la flora acuática al distribuirse en la vertiente oriental de la SMOOr donde los vientos húmedos provenientes del Golfo de México tienen más efecto en los cuerpos de agua.

El mayor número de registros de especies están asociadas al tipo de uso de suelo de agricultura temporal, donde se considera que su alta relación a este tipo de vegetación podría estar influenciada por la introducción de las actividades antropogénicas y el cambio en la composición química del agua por los fertilizantes y otros productos usados en la práctica de la agricultura. También se contempla el papel fundamental que juega la vegetación para la estructura y permeabilidad del agua hacia los suelos, además de la calidad e intensidad de la luz que reciben las plantas por afuera y dentro de la columna del agua.

No se determinó una correlación con el tipo de suelo, aunque podrían participar en conjunto con la vegetación. Los regosoles fueron el tipo de suelo más

asociado con la vegetación acuática y tiende a compactarse cuando es desprovisto de vegetación y puede retener el agua. Mientras que los litosoles y rendzinas no tienen un efecto y su abundancia se debe principalmente al surgimiento de la SMOr.

La altitud tampoco refleja una correlación hacia la distribución de la flora acuática. Se presentan especies con una preferencia a altitudes menores o mayores a los 1,500 msnm. Sin embargo, la mayoría de las especies se comparten entre los 100 msnm y los 3,000 msnm. El rango altitudinal se relaciona a las temperaturas, climas, radiación y tipos de vegetación que podrían afectar más al establecimiento y calidad de vida de la flora acuática estricta.

Si se compara la riqueza de los cuadrantes de la SMOr con algunos grandes lagos o lagunas en México, se concluye que la riqueza de la provincia no es alta. Incluso se ha registrado cuerpos de agua temporales donde el número de especies es mayor a las reportadas en los cuadrantes dentro de la SMOr. Esta riqueza pobre se puede deber a la falta de investigación y colecta de datos georreferenciados hacia la flora acuática estricta. Se considera que la riqueza de la SMOr puede ser mayor si se ejerce un mayor esfuerzo en campo y no se ignoran los cuerpos de agua temporales.

La diversidad en las familias y géneros mejor representados en especies, muestran que su diversidad es baja. La mayor parte de los sitios señalados presentan una especie como única o varias especies, donde una domina por uno o dos registros de más. Al igual que la riqueza, la falta de registros georreferenciados genera un sesgo para estudios de este tipo. Son escasos los ejemplares e investigaciones que reportan la ubicación exacta del ejemplar. Además, se encontraron trabajos donde se enfocan a un grupo, familia o género, generando una desigualdad en la cantidad de datos de las especies en las bases de datos.

El modelo de nicho arroja dos zonas de mayor probabilidad de establecimiento de la flora acuática. La zona más importante equivale al sur de la SMO_r, de la cual, la mayor frecuencia se concentra en gran parte de la cuenca Arroyo el Rayo del Puerto, pasando por el noreste de la cuenca Río Pánuco y subiendo hacia al norte por las cuencas Río Soto La Marina, Río Conchos-Chorreras, hasta llegar a una mínima porción sureña de la cuenca Río Bravo.

La segunda zona importante con una frecuencia media está ubicada al norte de la SMO_r, equivaliendo gran parte de las cuencas Río Bravo y Cuatro Ciénegas.

Las zonas de alta probabilidad de establecimiento de la flora acuática podrían estar muy relacionadas a la acción directa de los vientos húmedos traídos del Golfo de México. Mientras que las especies al norte presentan una gran plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales. Su capacidad de propagación y distribución les permite llegar a largas distancias y establecerse de manera eficaz en los cuerpos de agua permanentes o temporales.

Trabajos que son similares al actual permiten que generemos conocimientos amplios de las preferencias de las especies que estamos tratando. Estos resultados dirigen la atención a localidades o áreas donde las poblaciones de flora acuática pueden estar presentes y que elementos debemos de cuidar o enfocarnos para su mantenimiento y conservación. Además, al investigar la correlación de los factores bióticos y abióticos hacia los organismos a una escala que agrupe varias zonas, permite que se pueda generalizar las preferencias ambientales y enfocarnos a los lugares que presentan tales condiciones para una mejor conservación del área.

A pesar de que el trabajo se desarrolló con datos de recolectas e investigaciones previas, existen sesgos por el número de registros, por la ubicación que se tuvo que determinar, por errores en la identificación de los autores previos, entre otros problemas. No obstante, el trabajo genera una idea hacia dónde dirigir las futuras investigaciones y que mejorar para evitar estos sesgos. Se recomienda

aumentar el esfuerzo de investigación en campo, georreferenciar cada colecta y mencionar el ambiente que se encuentra el ejemplar.

Es importante mencionar que, fue nulo en número de investigaciones que se enfocan a la distribución de las plantas acuáticas y el papel que juega el medio ambiente hacia éstas, en las grandes provincias de México. Por ende, este trabajo se podría considerar como el primero en enfocarse a las plantas acuáticas para una provincia fisiográfica. Aún falta mucho por conocer sobre la flora acuática en la SMOr. El actual trabajo solo demostró y respondió algunas dudas sobre la distribución de las especies acuáticas. Pero aún quedan algunas preguntas, tales como:

- ¿La calidad de agua de los ecosistemas acuáticos se verá afectado a lo largo del gradiente latitudinal de la SMOr?
- ¿La dispersión de las especies estará relacionada con un organismo migratorio o que se distribuya a lo largo de la SMOr?
- ¿Qué hay del futuro?, ¿Cómo será la riqueza y diversidad de la flora acuática estricta en unos años o hasta lo permitido de los modelos predictivos?
- La flora acuática de otras provincias montañosas de México, ¿tendrán las mismas o similares correlaciones hacia factores abióticos y bióticos?
- ¿Habrá vestigios como flora acuática escondida o fósiles que nos reflejen la historia de la distribución actual de las plantas acuáticas?
- ¿Qué especies nuevas o qué tanto aumentaría la riqueza y diversidad si se analiza de forma más completa y/o aleatoria la SMOr?

X REFERENCIAS

- Acosta-Arce L. y R. Agüero-Alvarado (2006). Malezas acuáticas como componentes del ecosistema. *Agronomía Mesoamericana*. 17(2). Pps. 213–219
- Alahuhta J., J. Heino y M. Luoto (2011). Climate change and the future distributions of aquatic macrophytes across boreal catchments. *Journal of Biogeography*. 38(2). Doi: 10.1111/j.1365-2699.2010.02412.x
- Alahuhta J., H. Antikainen, J. Hjort, A. Helm y J. Heino (2020). Current climate overrides historical effects on species richness and range size of freshwater plants in Europe and North America. *Journal of Ecology*. No. 108. Pps. 1262–1275. DOI: 10.1111/1365-2745.13356
- Alanís-Flores G. J., G. Cano y Cano y M. Rovalo Merino (1996). Vegetación y flora de Nuevo León: una guía botánico-ecológica. *CEMEX*. Monterrey, México. Pps. 260
- Alonso-Castro A. J., J. J. Maldonado-Miranda, A. Zarate-Martínez, M. del R. Jacobo-Salcedo, C. Fernández-Galicia, L. A. Figueroa-Zuñiga, N. A. Rios-Reyes, M. A. de León-Rubio, N. A. Medellín-Castillo, A. Reyes-Munguia, R. Méndez-Martínez y C. Carranza-Alvarez (2012). Medicinal plants used in the Huasteca Potosina, México. *Journal of Ethnopharmacology*. 143(1). Pps. 292–298
- Arredondo Montes de Oca J. L., J. R. Bonilla-Barbosa y B. Santamaría Arauz (2015). Flora y Vegetación Acuáticas Vasculares de la Reserva Estatal las Estacas, Morelos, México. *Mesoamericana*. 19(2). Pps. 31–38
- Ávila-Sánchez P., A. Sánchez-González C. Catalán-Heverástico R.C. Almazán-Núñez y J. Jiménez-Hernández (2018). Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*. No. 45. Pps 101-113. DOI: 10.18387/polibotanica.45.8
- Barko J. W., M. S. Adams, N. L. Clesceri (1986). Environmental factors and their consideration in the management of submerged aquatic vegetation: a review. *Journal Aquatics Plant Manage*. Vol. 24. Pps. 1–10

- Barrita Zagada M. J. (2011). Flora y vegetación acuática vasculares de la reserva de la biosfera barranca de Metztlán, Hidalgo, México. (Tesis licenciatura). *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*. Facultad de Ciencias Biológicas. Pps. 136
- Bautista F., D. Palma-López y W. Huchin-Malta (2005). Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán. En: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. *Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología*. Pps. 105–122
- Bezaury-Creel J. E., J. F. Torres, L. M. Ochoa-Ochoa, Marco Castro-Campos, N. Moreno (2009). Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales, del Distrito Federal y Municipales de México. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México
- Bonilla-Barbosa J. (1994). Plantas acuáticas ornamentales del estado de Morelos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Universidad Autónoma de Chapingo. Pps. 79–83
- Bonilla-Barbosa J. R. (2004). Flora acuática vascular. En: Luna, I. *et al.*, (eds.). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. *Las prensas de Ciencias*. México, D.F. Pps. 149–159
- Bonilla-Barbosa J. R. (2007). Flora Acuática Vascular Faja Volcánica Transmexicana. En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinosa (Eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México. Pps. 113–127
- Bonilla-Barbosa J. R. (2013). Flora acuática vascular del estado de Hidalgo: Cuenca hidrológica del Río Moctezuma, México. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. *Centro de Investigaciones Biológicas*. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. FM026. México

- Bonilla-Barbosa J. R. y A. Novelo Retana (1995). Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. Serie Cuadernos, No. 26. *Instituto de Biología, UNAM*. México
- Bonilla-Barbosa J. R. y B. Santamaría Araúz (2014). Plantas acuáticas exóticas y trasladadas invasoras en México. En: Mendoza Alfaro R. E. y P. Koleff Osorio (Coords.). Especies acuáticas invasoras en México. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*. México. Pps 223–247
- Bonilla-Barbosa J. R. y J. L. Figueroa (2011). Plantas acuáticas y su relevancia en la acuicultura. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*. (15). Pps. 57–63
- Bonilla-Barbosa J. R., J. A. Viana-Lases y F. Salazar-Villegas (2000). Listados Florísticos de México. XX Flora Acuática de Morelos. *Instituto de Biología, UNAM*. México. Pps. 29
- Bonilla-Barbosa, J. R., J. L., Arredondo-Montes de Oca y B. Santamaría-Arauz (2015). Flora y Vegetación Acuáticas Vasculares de la Reserva Estatal las Estacas, Morelos, México. *Mesoamericana*. 19(2). Pps. 31–38
- Bonilla-Meza S. y E. Mangas-Ramírez (2011). Diversidad de plantas acuáticas en Puebla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.). La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Gobierno del Estado de Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Pps. 169–173
- Carranza González E. (2005) Conocimiento actual de la flora y la diversidad vegetal del estado de Guanajuato, México. *Flora del bajío y de regiones adyacentes*. Fascículo complementario XXI. Michoacán. Pps. 22
- Carrasco-Ortiz M., G. Munguía-Lino, A. Castro-Castro, G. Vargas-Amado, M. Harker y A. Rodríguez (2019). Riqueza, distribución geográfica y estado de conservación del género *Dahlia* (Asteraceae) en México. *Acta Botanica Mexicana*. No. 126. Pps. 24. DOI: 10.21829/abm126.2019.1354

- Carrera-González E., G. De la Fuente de León, A. Moreno-Talamantes y O. A. Leal-Nares (2010). Inventario y clasificación de humedales en México. *Conference: XIV International SELPER's Symposium*. Guanajuato, Gto.
- Cerón-Carpio A. B., J. L. Contreras-Jiménez y V. H. De Gante-Cabrera (2012). Inventario pteridoflorístico del área de protección de recursos naturales "Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa", porción Puebla, México. *Polibotánica*. No. 33. Pps. 41–55
- Cervantes M. (2007). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. En: Sánchez O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-Huitzil y L. Zambrano. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. INE-SEMARNAT*. México. Pp. 37–67
- Cervantes-Zamora, Y., S. L. Cornejo-Olgín, R. Lucero-Márquez, J. M. Espinoza-Rodríguez, E. Miranda-Viquez y A. Pineda-Velázquez (1990). Clasificación de Regiones Naturales de México, IV. 10. 2. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. *INEGI*. Escala 1: 4,000,000
- Chandler M., L. See, K. Copas, A. M. Z. Bonde, B. Claramunt López, F. Danielsen, J. K. Legind, S. Masinde, A. J. Miller-Rushing, G. Newman, A. Rosemartin y E. Turak (2017). Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. *Biological Conservation*. Vol. 213. Pps 280–294
- Chediack S., N. Ramírez-Marcial, M. Martínez-Icó y H. E. Castañeda-Ocaña (2018). Macrófitos de los humedales de montaña de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. No. 89. Pps. 757-768. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2018.3.2420
- CNA (1998). Hidrología, regiones hidrológicas, cuencas, 1:250000, aspecto, físico, hidrológica. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México
- CONABIO (1998b). Subcuencas hidrológicas. Extraído de Boletín hidrológico. (1970). Subcuencas hidrológicas en Mapas de regiones hidrológicas. Escala más común 1:1,000,000. *Secretaría de Recursos Hidráulicos, Jefatura de Irrigación y control de Ríos, Dirección de Hidrología*. México

- CONABIO (2019). CONABIO lanza la aplicación móvil: EncicloVida. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*. En prensa. Disponible en: <https://www.gob.mx/conabio/prensa/conabio-lanza-la-aplicacion-movil-enciclovida?idiom=es>
- CONABIO (en línea). CONABIO página principal. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México. [Citado el 30 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conabio>
- CONABIO (1998a). Curvas de nivel para la República Mexicana. Escala 1:250,000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)*. México
- CONANP (2015). Sitios RAMSAR de México. *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. México
- CONANP (2017). Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana. *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. México
- CONANP (en línea). Página principal. *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. [Citado el 08/11/2020]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conanp>
- Contreras-Medina R. y I. Luna-Vega (2007). Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms. *Biodiversity and Conservation*. 16(6). Pps. 1803–1821
- Córdova Delgado B. C. (2000). Diversidad de plantas acuáticas y subacuáticas en ríos y arroyos de la cuenca del Pánuco. (Tesis licenciatura). *Universidad Autónoma de Querétaro*. Facultad de Ciencias Naturales. México. Pps 111.
- Croat T. B. y M. Carlsen (2003). Araceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo 114. Instituto de Ecología A.C. México. Pps 41
- Crow G. E. (1993). Species diversity in aquatic angiosperms: latitudinal patterns. *Aquatic Botany*. Vol. 44. Pps. 229–258
- Dalton P. A. y R. A. Novelo (1983). Aquatic and wetland plants of the Arnold Arboretum. *Arnoldia*. 43(2). Pps. 7–44

- Den Hartog C., B. I. Van Tussenbroek, J. G. R. Wong, P. M. Ruaro, y J. M. Guzmán (2016). A new *Ruppia* from Mexico: *Ruppia mexicana* n. sp. *Aquatic Botany*. No. 131. Pps. 38–44
- Denisse S. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. México. Pps. 78
- Díaz Pardo E. (2011). Situación actual de los peces invasores en Querétaro. *Revista Universitaria de Divulgación del Conocimiento: Extensión Nuevos Tiempos: Vida Exótica e Invasora*. Universidad Autónoma de Querétaro. México. Pps. 21–27
- Díaz-Barriga H. y M. Palacios-Ríos (1992). Lista preliminar de especies de pteridofitas de los estados de Guanajuato, Michoacán y Querétaro (México). *Flora del bajío y de regiones adyacentes*. Fascículo complementario III. Michoacán. Pps. 57
- Donati D., C. Bianchi, G. Pezzi, L. Conte, A. Hofer y A. Chiarucci (2016). Biogeography and ecology of the genus *Turbiniacarpus* (Cactaceae): environmental controls of taxa richness and morphology. *Systematics and Biodiversity*. Doi: 10.1080/14772000.2016.1251504
- Eguiluz de Antuñano S., M. Aranda García y R. Marrett (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. No. 53
- Elith J. y J. R. Leathwick (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. Pps 677–997. Doi: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159
- Enciclovida (en línea). Página principal. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*. [Citado el 11/03/2021] Disponible en: <https://enciclovida.mx/>
- Encina-Domínguez J. A. (2018). Vegetación del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas. En: La biodiversidad en Coahuila: Estudio de Estado.

Vol. II. *CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza, México*. Pps. 119–126

Encina-Domínguez J. A. y J. A. Meave (2018). Bosques ribereños del noreste del estado. En: *La biodiversidad en Coahuila: Estudio de Estado*. Vol. II. *CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza*. México. Pps. 127–132

Estrada Arellano J. R. (2015). Flora y fitogeografía de la Sierra del Rosario, Durango, México. (Tesis doctoral). *Universidad Autónoma de Nuevo León*. México. Pps. 75

Estrada-Castillón E., J. Villarreal-Quintanilla, M. M. Salinas-Rodríguez, H. Rodríguez-González, J. Jiménez-Pérez y M. A. García-Aranda (2013). Flora and phytogeography of Cumbres de Monterrey National Park, Nuevo Leon, Mexico. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 7(2). Pps. 771–801

Fick S. E. y R. J. Hijmans (2017). WorldClim: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 37(12). Pps. 4302–4315

Flores Flores J. W. (2020) Metodologías de muestreo de la diversidad florística. (Trabajo monográfico licenciatura). *Universidad Nacional de Cajamarca*. Facultad de Ciencias Agrarias. Perú. Pps. 71

Fortanelli-Martínez J., J. García-Pérez y P. Castillo-Lara (2014). Estructura y composición de la vegetación del bosque de niebla de Copalillos, San Luis Potosí, México. *Acta Botanica Mexicana*. No. 106. Pps. 161–186

Francisco-De la Cruz, A., J. A., Villarreal-Quintanilla, A. E., Estrada-Castillón y D. Jasso-Cantú (2017). Flora y vegetación del municipio Álamo Temapache, Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana*. Vol. 121. Pps. 83–124

García E. (1998). Climatología, precipitación, 1:1,000,000, aspecto, físico, climatología, precipitación. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México

- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Serie Libros*. UNAM. México. Pps 96
- GBIF (en línea). GBIF Home page. *Global Biodiversity Information Facility*. [Citado el 30 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://www.gbif.org>
- Gómez-Escamilla I. N., A. Espejo-Serna, A. R. López-Ferrari y T. Krömer (2019). Distribución geográfica de angiospermas epífitas de la región terrestre prioritaria Cerros Negro-Yucaño, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*. 67(1). Pps. 118–131
- Gómez-Pompa A., T. Krömer y R. Castro-Cortés (2010). Atlas de la Flora de Veracruz. Un patrimonio natural en peligro. Gobierno del Estado de Veracruz. *Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana*. Veracruz. Pps. 525
- González-Castañeda N., G. Cornejo-Tenorio y G. Ibarra-Manríquez (2010). El género *Ficus* (Moraceae) en la provincia biogeográfica de la Depresión del Balsas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No. 87. Pps. 105–124
- Hauer F. R., H. Locke, V. J. Dreitz, M. Hebblewhite, W. H. Lowe, C. C. Muhlfeld, C. R. Nelson, M. F. Proctor y S. B. Rood (2016). Gravel-bed river floodplains are the ecological nexus of glaciated mountain landscapes. *Science Advances*. 2(6). Pps 13
- Hernández Sandoval L., C. E. González Romo y F. González-Medrano (1991). Plantas útiles de Tamaulipas. *Anales del Instituto de Biología*. Serie Botánica. UNAM, México. 62(1). Pps. 1–38
- Hernández-Cerda M. E. y G. Carrasco-Anaya (2004). En: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinosa (eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. *Las prensas de Ciencias*. México, D.F. Pps. 63–108
- Hernández-Rojas A. C., J. Kluge, T. Krömer, C. Carvajal-Hernández, L. Silva-Mijangos, G. Miehe, M. Lehnert, A. Weigand y M. Kessler (2019). Latitudinal patterns of species richness and range size of ferns along elevational gradients

at the transition from tropics to subtropics. *Journal of Biogeography*. No. 47. Pps. 1383–1397

Hernández-Sandoval L., J. Treviño, A. Mora-Olivo y M. Martínez (2005). Diversidad florística y endemismos. En: Sánchez-Ramos G., P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (Eds.). *Historia Natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. Universidad Autónoma de Tamaulipas*. México. Pps. 244–259

Heynes-Silerio S. A., M. S. González Elizondo, M. González Elizondo, L. Ruacho González e I. L. López Enriquez (2017). Humedales: vegetación acuática y subacuática. En: Cruz Angón A., E. Castaños Rochell, J. Valero Padilla y E. D. Melgarejo. *La biodiversidad en Durango: Estudio de Estado. CONABIO*. México. Pps. 249–257

Hijmans R. E., L. Guarino, C. Bussink, P. Mathur, M. Cruz, I. Barrantes y E. Rojas (2004). Sistema de información geográfica para el análisis de datos de distribución de especies: Manual. *Diva-Gis versión 4*. Pps. 91

Hijmans R., E. Rojas, M. Cruz, R. O'Brien e I. Barrantes (2020). Diva-Gis. Disponible en: <https://www.diva-gis.org/>

Huidobro L., J. J. Morrone, J. L. Villalobos y F. Álvarez (2006). Distributional patterns of freshwater taxa (fishes, crustaceans and plants) from the Mexican Transition Zone. *Journal of Biogeography*. Vol. 33. Pps. 731–741

iNaturalist (en línea). Condiciones de Servicio de iNaturalist. *California Academy of Sciences*. National Geographic Society. [Citado el 11/03/2021] Disponible en: https://www.inaturalist.org/pages/condiciones_de_servicio

INEGI (1982). Carta fisiográfica. México. Escala 1:1,000,000. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. México

INEGI (2001). Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. [Citado el: 30/11/20 20]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/#Mapa>

INEGI (2008). Características edafológicas fisiográficas climáticas e hidrográficas de México. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México. Pp 32

- INEGI (2013). Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250,000. Serie II (Continuo Nacional). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)*. México
- INEGI (2016). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Union), escala: 1:250,000. edición: 1. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Aguascalientes, México
- IUCN (en línea) Red List Categories and Criteria. [citado en 03/12/2020] Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/>
- Izazola-Rodríguez P. (2021). Lemnaceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo 222. Instituto de Ecología A.C. México. Pps 25
- Jiménez-Alfaro B., M. Hájek, R. Ejrnaes, J. Rodwell, P. Pawlikowski, E. J. Weeda, J. Laitinen, A. Moen, A. Bergamini, L. Aunina, L. Sekulová, T. Tahvanainen, F. Gillet, U. Jandt, D. Dítê, P. Hájková, G. Corriol, H. Kondelin y T. E. Díaz (2014). Biogeographic patterns of base-rich fen vegetation across Europe. *Applied Vegetation Science*. 17(2). Pps. 367–380
- Jones J. I., W. Li y S. C. Maberly (2003). Area, altitude and aquatic plant diversity. *Ecography*. Vol. 26. Pps. 411–420
- Kovach W. L. (2007) MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. *Kovach Computing Services*. Pentraeth. Wales. U.K.
- Les D. H., D. J. Crawford, R. T. Kimball, M. L. Moody y E. Landolt (2003). Biogeography of discontinuously distributed hydrophytes: a molecular appraisal of intercontinental disjunctions. *International Journal of Plant Sciences*. 164(6). Pps. 917–932
- Lobato-De Magalhães T. y M. Martínez (2018). Temporary freshwater wetlands floristics in central Mexico highlands. *Botanical Sciences*. 96(1). Pps. 138–156
- Lobato-de Magalhães T., Y. Ricob, D. Cabrera-Toledod y M. Martínez (2020). Plant functional connectivity of *Nymphoides fallax* in geographically isolated temporary wetlands in Mexican highlands. *Aquatic Botany*. No. 164
- Longoria J. F. (1985). Tectonic transpression in the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico: An alternative model. *Geology*. No. 13. Pps. 453–456

- López Castillo G. I., G. J. Alanís Flores, S. Favela Lara y M. Torres Morales (2018). Diversidad de la vegetación riparia del Río La Silla Monterrey-Guadalupe, Nuevo León. *Ciencia UANL*. No. 89. DOI: 10.29105/cienciauanl21.89-1
- Lot A. (1991). Vegetación y flora vascular acuática del Estado de Veracruz. (Tesis Doctoral). *Universidad Nacional Autónoma de México*. México. Pps. 227
- Lot A. (2012). Las monocotiledóneas acuáticas y subacuáticas de México. *Acta Botánica Mexicana*. Vol. 100. Pps. 135–148
- Lot A. (2015). Catálogo de la flora y la vegetación de los humedales mexicanos. *Universidad Nacional Autónoma de México*. México Pps. 172
- Lot A. (2017). Plantas acuáticas mexicanas: una contribución a la Flora de México. Dicotiledóneas. *Universidad Nacional Autónoma de México*. México Vol. 2. Pps. 310
- Lot A. y A. Novelo (1988). Vegetación y flora acuática del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *The Southwestern Naturalist*. 33(2). Pps. 167–175
- Lot A., A. Novelo y P. Ramírez-García (1986). Listados florísticos de México. V Angiospermas acuáticas mexicanas 1. *Instituto de Biología, UNAM*. México.
- Lot A., M. Olvera, C. Flores y A. Díaz (2015). Guía Ilustrada de Campo: Plantas Indicadoras de Humedales. *Instituto de Biología, UNAM*. México. Pps. 238
- Lot A., R. Medina Lemos y F. Chiang (2013). Plantas acuáticas mexicanas: una contribución a la Flora de México. Monocotiledóneas. *Universidad Nacional Autónoma de México*. Vol. 1. México. Pps. 399
- Lot A. y M. Olvera García (2011). Angiospermas acuáticas. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C.* México. Pps. 128-140
- Lugo-Hubp J. y C. Córdova (1991). Regionalización geomorfológica de la república mexicana. *Investigaciones geográficas*. Vol. 25. Pps. 25–63
- Luna I., J. J. Morrone y D. Espinosa (2004) Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. *Las prensas de Ciencias*. México, D.F. Pp. 536

- Magurran A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. *Princeton University Press*. 1era Ed. Pps. 179
- Martínez Jiménez M. y M. A. Gómez Balandra (2019). Aumentar las capacidades nacionales para el manejo de las especies exóticas invasoras (EEI) a través de la implementación de la Estrategia Nacional. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. México. Pps. 381
- Martínez M. y A. García Mendoza (2001). Flora y vegetación acuáticas de localidades selectas del estado de Querétaro. *Acta Botanica Mexicana*. Vol. 54. Pp. 1–23
- Martínez M. y L. G. Hernández-Sandoval (2012). Plantas acuáticas. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. La biodiversidad en Guanajuato: Estudio de Estado. Vol. II. *CONABIO/IEE*. México. Pps. 111–114
- Martínez M. y A. Novelo (1993). La vegetación acuática del estado de Tamaulipas, México. *Anales del Instituto de Biología Serie Botánica*. 64(2). Pps. 69–86
- Martínez M., F. Magallán Hernández y Y. Pantoja Hernández (2012). Los estudios de diversidad genética de plantas acuáticas como herramienta para la conservación de humedales en Guanajuato. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. La biodiversidad en Guanajuato: Estudio de Estado. Vol. II. *CONABIO/IEE*. México. Pps. 354–358
- Martínez M., L. Hernández-Sandoval, A. Mora-Olivo y A. Domínguez-Monroy (2004). Florística de Tamaulipas. En: En Luna I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. *Las prensas de Ciencias*. UNAM. México, D.F. Pps. 215–242
- Martínez Montenegro R. (2011). Flora y vegetación acuáticas vasculares del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. (Tesis licenciatura). *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*. Facultad de Ciencias Biológicas. Pps. 158
- Mata-Balderas J. M., S. E. Hernández-Cárdenas, E. Alanís-Rodríguez y A. Mora-Olivo (2020). Riqueza, composición y abundancia de especies en una comunidad vegetal ribereña en el río Santa Catarina, Monterrey, Nuevo León. *CienciaUAT*. 14(2). Pps. 6–20

- McDonald J. A. (1990). The alpine-subalpine flora of northeastern México. *Botanical Research Institute of Texas*. 14(1). Pps. 21–28
- Mendoza C. M. y A. Quevedo N. (2019). Lista florística del bosque de galería del río Metztlán, Hidalgo, México. *Acta Botanica Mexicana* No. 126. Pps 1495. DOI: 10.21829/abm126.2019.1495
- Miranda F. y E. Hernández X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No. 28. Pps. 29–179. Doi: 10.17129/botsci.1084
- Montano-Arias G., I. Luna-Vega, J. J. Morrone y D. Espinosa (2018). Biogeographical identity of the Mesoamerican dominion with emphasis on seasonally dry tropical forests. *Phytotaxa*. 376(6). Pps. 277–290
- Mora-Olivo A. y A. Lot (2018). Plantas acuáticas. En: La biodiversidad en Coahuila: Estudio de Estado. Vol. II. *CONABIO/Gobierno del Estado de Coahuila de Zaragoza*. México. Pps. 205–210
- Mora-Olivo A. y A. Novelo Retana (2005). La vegetación acuática y semiacuática. En: Sánchez-Ramos G., P. Reyes-Castillo y R. Dirzo (Eds.). Historia Natural de la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Universidad Autónoma de Tamaulipas*. Pps. 732
- Mora-Olivo A. y J. L. Villaseñor (2007). Diversidad y distribución de la flora vascular acuática de Tamaulipas, México. *Journal of the Botanical*. 1(1). Pps. 511–527.
- Mora-Olivo A. e I. Sánchez-Del Pino (2014). Primer registro de la maleza acuática *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae) para México. *Botanical Sciences*. Taxonomía y florística. 92(2). Pps. 189–192
- Mora-Olivo A., J. G. Martínez-Ávalos y E. de la Rosa-Manzano (2018). *Heteranthera peduncularis* (Pontederiaceae) en Tamaulipas, México. *Phytoneuron*. No. 7. Pps 1–4
- Mora-Olivo A., J. L. Villaseñor y M. Martínez (2013). Las plantas vasculares acuáticas estrictas y su conservación en México. *Acta Botanica Mexicana*. Vol. 103. Pps. 27–63

- Mora-Olivo, A., J. L. Villaseñor, I. Luna-Vega y J. J. Morrone (2008a). Patrones de distribución de la flora vascular acuática estricta en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 79(2). Pps. 435-448
- Mora-Olivo A., T. F. Daniel y M. Martínez (2008b). *Hygrophila polysperma* (Acanthaceae), una maleza acuática registrada por primera vez para la flora mexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. No. 79. Pps. 265–269
- Mora-Olivo A., A., Mendoza-Ruiz, y J. G., Martínez-Avalos (2016). *Isoetes tamaulipana* (Isoetaceae), a new species from Mexico. *Phytotaxa*. 267(2). Pps. 113–120
- Morales J. I., P. Castillo-Lara, R. Puente-Martínez y J. A. De-Nova (2020). Estudio florístico de la microcuenca del Cañón de Los Chivos, San Luis Potosí. *Botanical Science*. 98(4). Pps. 644-681. DOI: 10.17129/botsci.2623
- Moreno C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T-Manuales y Tesis SEA*. Vol. 1. México. Pps. 84
- Moreno-Casasola P., D. M. Infante Mata, H. López-Rosas, L. A. Peralta Peláez, G. Castillo-Campos, A. C. Travieso-Bello, W. A. Méndez Cortina, G. Sánchez-Ríos (2011). La biodiversidad de los humedales. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C.* México. Pps. 217–228
- Morrone J. J., D. Espinosa Organista y J. Llorente Bousquets (2002). Mexican biogeographic provinces: preliminary scheme, general characterizations, and synonymies. *Acta Zoológica Mexicana*. No. 85. México. Pps. 83–108
- Murphy K., A. Efremov, T. A. Davidson, E. Molina-Navarro, K. Fianza, T. C. Crivelari Betiol, P. Chambers, J. T. Grimaldo, S. Varandas Martins, I. Springuel, M. Kennedy, R. P. Mormul, E. Dibble, D. Hofstra, B. Andrés Lukács, D. Gebler, L. Baastrop-Spohr, J. Urrutia-Estrada (2019a). World distribution, diversity and endemism of aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*. Vol. 158. Doi: 10.1016/j.aquabot.2019.06.006

- Murphy K., P. Carvalho, A. Efremov, J. Tapia Grimaldo, E. Molina-Navarro, T. A. Davidson, y S. M. Thomaz (2019b). Latitudinal variation in global range-size of aquatic macrophyte species shows evidence for a Rapoport effect. *Freshwater Biology*. 65(9). Pps. 1622–1640
- Mutke J. y W. Barthlott (2005). Patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. *Biologiske skrifter*. 55(4). Pps. 521–531
- NOAA (en línea). National Oceanic and Atmospheric Administration. *National Weather Service (NWS)*. [Citado el 22/12/2020]. Disponible en: <https://www.weather.gov/about/>
- Novelo Retana A. (2005). Potamogetonaceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo 133. Instituto de Ecología A.C. México. Pps. 26
- Novelo Retana A. y L. Ramos (1998). Pontederiaceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo 63. Instituto de Ecología A.C. México. Pps. 19
- Novelo Retana A. y A. Lot (1988). Importancia de la vegetación acuática en los ecosistemas naturales. In: *Memorias del Simposio Internacional sobre Ecología y Conservación del Delta de los ríos Usumacinta y Grijalba*. Tabasco. Pps. 5–14
- Ochoa-Gaona S., L. J. Ramos-Ventura, F. Moreno-Sandoval, N. del C. Jiménez-Pérez, M. A. Haas-Ek y L. E. Muñoz-Delgado (2018). Diversidad de flora acuática y ribereña en la cuenca del río Usumacinta, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. No. 89. Pps 44.
- Olmsted I. (1993). Wetlands of Mexico. En: Whigham D. F., D. Dykyjová, S. Hejný (eds.). *Wetlands of the World I. Kluwer Academic Publishers*. Pps. 637–677
- Ontiveros Rodríguez N. A. (1999). Comunidades de plantas riparias del Parque Natural "La Estanzuela", Monterrey, Nuevo León, México. (Tesis licenciatura). *Universidad Autónoma de Nuevo León*. México. Pps. 63
- Palma-Ramírez A., I. Goyenechea y J. M. Castillo-Cerón (2014). Panbiogeography of the Santa María Amajac area, Hidalgo, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. No. 85. Pps. 1228–1234

- Pérez López M. E. (2009). Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango. (Tesis doctoral). *Instituto Politécnico Nacional*. Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C. Chihuahua. Pps. 102
- Pérez-Bravo R., G. A. Salazar y E. Mora-Guzmán (2010). Orquídeas de las Lomas-La Manzanilla, Sierra Madre Oriental, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No. 87. Pps. 125–129
- Pérez-Munguía R., R. Pineda-López y M. Medina-Nava (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. En: Sánchez O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-Huitzil y L. Zambrano. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. *INE-SEMARNAT*. México. Pps. 71–111
- Pérez-Ortiz J. (2013). Hidrología y Geohidrología. En: Cantú A. C., M. Rovalo M., J. Marmolejo M., S. Ortiz H., F. Serriñá (eds.), Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. *UANL-CONANP*. México. Pp. 89–98.
- Pinkava D. J. (1979). Vegetation and flora of the bolson of Cuatro Ciénegas region, Coahuila, Mexico, I. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No. 38. Pps 35-73
- Pinkava D. J. (1984). Vegetation and Flora of the Bolson of Cuatro Ciénegeas Region, Coahuila, Mexico: IV. Summary, Endemism and Corrected Catalogue. *Journal of the Arizona-Nevadal Academy of Science*. No. 19. Pps. 23–47
- QGIS (2020). QGIS Geographic Information System. *QGIS Association*. *Proyecto de la Fundación Geoespacial de Código Abierto*. Disponible en: <https://qgis.org>
- Ramírez-Fernández J. y D. Oesterreich-Masuch (2013). Desarrollo Geológico: De Continentes Ancestrales y Océanos a Sierras. En: Cantú A. C., M. Rovalo M., J. Marmolejo M., S. Ortiz H., F. Serriñá (eds.). Historia Natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey. México. *UANL-CONANP*. México. Pps. 59–77

- Ramos Ventura L. J. y A. Novelo Retana (1993). Vegetación y flora acuáticas de la laguna de Yuriria, Guanajuato, México. *Acta Botanica Mexicana*. Vol. 25. Pps. 61–79
- Ramsar (2020). La Lista de Humedales de Importancia Internacional. *Convención sobre los Humedales*. [Citado el 08/11/2020]. Disponible en: <http://www.ramsar.org>
- Rangel Rangel M. E. (1995). Estudio de la flora vascular acuática y subacuática en los ríos San Juan, Tula y Moctezuma, estados de Querétaro e Hidalgo, México. (Tesis licenciatura). *Universidad Nacional Autónoma de México*. México. Pps. 59
- Reyna-González Á. M., P.S. Soto-Borrego, E. Alanís-Rodríguez, V. M. Molina-Guerra y A. Collantes-Chávez-Costa (2021). Estructura y diversidad del matorral xerófilo en el noreste de México. *Polibotánica*. No. 51. Pps. 107-122. DOI: 10.18387/polibotanica.51.7
- Rial A. (2013). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. *Biota Colombiana*. 14 (2). Pps. 78–90
- Rodríguez A., A. Castro-Castro, G. Vargas-Amado, O. Vargas-Ponce, P. Zamora-Tavares, J. González-Gallegos, P. Carrillo-Reyes, M. Anguiano-Constante, M. Carrasco-Ortiz, M. García-Martínez, B. Gutiérrez-Rodríguez, J. Aragón-Parada, C. Valdes-Ibarra y G. Munguía-Lino (2018). Richness, geographic distribution patterns, and areas of endemism of selected angiosperm groups in Mexico. *Journal of Systematics and Evolution*. 56(5). Pps. 537–549
- Rojas Moreno J. y A. Novelo Retana (1995). Flora y vegetación acuáticas del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*. No. 31. Pps, 1–17
- Rosales Hernández J. A. (2020) Estructura y diversidad después de la aplicación de quemas prescritas en un área de matorral desértico micrófilo. (Tesis maestría). *Universidad Autónoma de Nuevo León*. Facultad de Ciencias Forestales. México. Pps. 58

- Ruiz-Jiménez C. A., O. Alcántara y I. Luna (2004). Límites. En: Luna, I. *et al.*, (eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental. *Las prensas de Ciencias*. México, D.F. Pps. 7–24
- Rzedowski J. (1991a). Diversidad y Orígenes de la Flora de México. *Acta Botánica Mexicana*. Vol. 14. Pp. 3–21
- Rzedowski J. (1991b). El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana*. Vol. 15. Pp. 47–64.
- Rzedowski J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*. Vol. 35. Pps. 25–44
- Rzedowski J. (2015). Catálogo preliminar de plantas vasculares de distribución restringida a la Sierra Madre Oriental. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo complementario XXXI. Instituto de Ecología AC. Pp. 39
- Rzedowski J. (2020). El endemismo en plantas mexicanas acuáticas y subacuáticas de la familia Asteraceae. *Polibotánica*. No. 49. Pps. 15–29. DOI: 10.18387/polibotanica.49.2
- Rzedowski J. (1978). Vegetación de México. Limusa. México D.F. Pps. 505
- Rzedowski J. y T. Reyna-Trujillo (1990). Divisiones florísticas. En: Tópicos fitogeográficos (provincias, matorral xerófilo y cactáceas). Atlas Nacional de México. Vol. 2. Escala 1:8,000,000. *Instituto de Geografía, UNAM*. México
- Salinas-Rodríguez M. M. (2015). Conocimiento, manejo y conservación de la diversidad florística de la Sierra Madre Oriental, México. (Tesis doctoral). *Universidad Autónoma de Nuevo León*. México
- Salinas-Rodríguez M. M. (2018). La Sierra Madre Oriental como reservorio de diversidad vegetal. *Revista Ciencia UANL*. Pps. 6
- Salinas-Rodríguez M. M. y J. Cruzado-Cortés (2011). Nota sobre un fragmento de bosque mesófilo de montaña del municipio de Río Verde, San Luis Potosí. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. No. 89. Pp. 126–128

- Salinas-Rodríguez M. M., E. Estrada-Castillón y J. Á. Villarreal-Quintanilla (2013). Flora and phytogeography of the Cañón de Iturbide, Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 7(2). Pps. 803–819
- Salinas-Rodríguez M. M., E. Estrada-Castillon, y J. A. Villarreal-Quintanilla (2017). Endemic vascular plants of the Sierra Madre Oriental, Mexico. *Phytotaxa*. 328(1). Pps. 1–52
- Salinas-Rodríguez M. M., M. J. Sajama, J. S. Gutiérrez-Ortega, P. Ortega-Baes, y A. E. Estrada-Castillón (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*. Vol. 46. Pps. 6–27
- Salinas-Rodríguez M.M., Hernández-Sandoval L., Carrillo-Reyes P... *et al.*, (en revisión). Flora y fitogeografía de la Sierra Madre Oriental. *Botanical Sciences*.
- Sánchez O. (2007). Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación En: Sánchez O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-Huitzil y L. Zambrano (Eds). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. INE-SEMARNAT*. México. Pps. 11–36
- Sánchez O., M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-Huitzil y L. Zambrano (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. INE-SEMARNAT*. México. Pps. 295
- Santamaría L. (2002). Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment. *Acta Oecologica*. No. 23. Pps. 137–154
- Sawada M., A. E. Viau y K. Gajewski (2003). The biogeography of aquatic macrophytes in North America since the Last Glacial Maximum. *Journal of Biogeography*. 30(7). Pps. 999–1017. Doi: 10.1046/j.1365-2699.2003.00866.x
- SEMARNAT (2002). Suelos. En: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. *Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. Pps. 85–127

- SEMARNAT (2012). Suelos. En: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. *Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental*. México. Pps. 119–154
- Soberón J., J. Llorente y H. Benitez (1996). An International View of National Biological Surveys. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 83(4). Pps. 562–573
- Son D., H. Chob, E. J. Lee (2018). Determining factors for the occurrence and richness of submerged macrophytes in major Korean rivers. *Aquatic Botany*. Vol. 150. Pps. 82-88. DOI: 10.1016/j.aquabot.2018.07.003
- Sosa V. e I. Loera (2017). Influence of current climate, historical climate stability and topography on species richness and endemism in Mesoamerican geophyte plants. *PeerJ*. Doi: 10.7717/peerj.3932
- Stuckey R. L. (1993). Phytogeographical outline of aquatic and wetland angiosperms in continental eastern North America. *Aquatic Botany*. No. 44. Pps. 259–301
- Tiner R. W. (1991). The Concept of a Hydrophyte for Wetland Identification: Individual plants adapt to wet environments. *BioScience*. 41(4). Pps. 236–247. Doi:10.2307/1311413
- Toivanen M., J. Hjort, J. Heino, H. Tukiainen, J. Aroviita y J. Alahuhta (2019). Is catchment geodiversity a useful surrogate of aquatic plant species richness?. *Journal of Biogeography*. No. 46. Pps. 1711-1722. DOI: 10.1111/jbi.13648
- Treviño-Garza E. J., C. Cavazos-Camacho y O. A. Aguirre-Calderón (2001). Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques*. 7(1). Pps. 13–25
- Tropicos (en línea). Tropicos Home page. *Missouri Botanical Garden*. [Citado el 30 de octubre de 2020]. Disponible en: <http://www.tropicos.org>
- Trujillo Segura J. C. (2019). Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-

- Lista de especies en riesgo. Publicada el 30 de diciembre de 2010. México. Pps. 103
- Valiente-Banuet A., F. González Medrado y D. Piñero Dalmau (1995). La vegetación selvática de la región de Gómez Farias, Tamulipas, México. *Acta Botanica Mexicana*. No. 33. Pps. 1–36
- Velazco Macías C. G., G. J. Alanis Flores, M. A. Alvarado Vázquez y L. Ramírez Freire, R. Foroughbakhch Pournavab (2011). Flora endémica de Nuevo León, México y estados colindantes. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 5(1). Pps. 275–298
- Velazco-Macías C., R. Foroughbakhch Pournavab, M. A. Alvarado Vázquez y G. J. Alanis Flores (2008). La familia Nymphaeaceae en el estado de Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*. 2(1). Pps. 593–603
- Venegas-Barrera C. S., A. Correa-Sandoval, A. Mora-Olivo, J. V. Horta-Vega (2015). Representatividad geográfica y ambiental de los registros de gastrópodos, pteridofitas y plantas acuáticas en el estado de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. N0. 86. Pps. 719–729. Doi: 10.1016/j.rmb.2015.06.002
- Villanueva-Díaz J. y H. E. Escobedo-Quiñones (2017). Ahuehuete. Viejo del agua o sabino (*Taxodium distichum* var. *mexicanum*) En: Cruz Angón A., E. Castaños Rochell, J. Valero Padilla y E. D. Melgarejo. La biodiversidad en Durango: Estudio de Estado. *CONABIO*. México. Pps. 365–369
- Villareal Q. J. A., M. Á. Carranza P., E. Estrada C. y A. Rodríguez G. (2006). Flora riparia de los ríos Sabinas y San Rodrigo, Coahuila, México. *Acta Botanica Mexicana*. No. 75. Pps. 1–20
- Villaseñor J. L. (2016). Check list of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(3). México. Pps. 559–902. DOI: 10.1016/j.rmb.2016.06.017

- Villaseñor J. L. y E. Ortiz (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Vol. 85. Pps. 134–142
- WorldClim (en línea). Bioclimatic variables. [citado el 01/06/21]. Disponible en: <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>
- Yan Y., X. Yang, y Z. Tang (2013) Patterns of species diversity and phylogenetic structure of vascular plants on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Ecology and Evolution*. 3(13). Pps. 4584–4595. Doi: 10.1002/ece3.847
- Zepeda-Gómez C., A. Lot-Helgueras, X. A. Nemiga y D. Madrigal-Urbe (2012). Florística y diversidad de las ciénegas del Río Lerma Estado de México, México. *Acta Botanica Mexicana*. No. 93. Pps. 23-49
- Zamudio S., E. Argüelles y R. Fernández (1991). Listado florístico preliminar del estado de Querétaro. *Flora del bajo y de regiones adyacentes*. Fascículo complementario II. Michoacán. Pps. 155

APÉNDICE 1

Inventario de especies de plantas acuáticas estrictas en la Sierra Madre Oriental. **HEE**: Enraizada emergente; **HES**: Enraizada sumergida; **HEHF**: Enraizada de hojas flotantes; **HETF**: Enraizada de tallos flotantes; **HLF**: Libres flotadoras; **HLS**: Libres sumergidas; **E-Méx** = Endémica a México; **E-SMOr** = Endémica a la SMOr; **T**=Traslucada. **A** = Amenazada; **Pr** = Sujetas a protección especial; **P** = En peligro de extinción; **LC** = Preocupación menor; *: Especies que no presentaron datos georreferencias.

ESPECIE	Autor(es)	F. vida	IUCN	NOM	Estado natural
PTERIDOFITAS					
MARSILEACEAE					
<i>Marsilea macropoda</i>	Engelm ex A. Braun	HEE			
<i>Marsilea mollis</i>	B.L. Rob. & Fernald	HEE			
<i>Marsilea vestita</i>	Hook. & Grev.	HEE			
PTERIDACEAE					
<i>Acrostichum danaeifolium</i>	Langsd. & Fisch.	HEE	LC		
SALVINIACEAE					
<i>Azolla microphylla</i>	Kaulf.	HLF	LC		
GIMNOSPERMAS					
CUPRESSACEAE					
<i>Taxodium mucronatum</i>	(Vahl) Roem. & Schult.	HEE	LC		
ANGIOSPERMAS					
ALISMATAACEAE					
<i>Echinodorus berteroi</i> *	(Spreng.) Fassett	HEE			
<i>Sagittaria demersa</i> *	J.G. Sm.	HEE			
<i>Sagittaria guayanensis</i>	Kunth	HEHF	LC		
<i>Sagittaria lancifolia</i> *	L.	HEE			
<i>Sagittaria latifolia</i> *	Willd.	HEE	LC		
<i>Sagittaria longiloba</i>	Engelm. ex J.G. Sm.	HEE			
<i>Sagittaria montevidensis</i>	Cham. & Schtdl	HEE			
APIACEAE					
<i>Lilaeopsis schaffneriana</i>	(Schltdl.) J. M. Coult. & Rose	HEE			
ARACEAE					
<i>Lemna aequinoctialis</i>	Welw.	HLF	LC		T
<i>Lemna gibba</i> *	L.	HLF	LC		T
<i>Lemna minuta</i>	Kunth	HLF	LC		
<i>Lemna obscura</i> *	(Austin) Daubs	HLF			T
<i>Lemna trisulca</i> *	L.	HLF	LC	Pr	
<i>Lemna valdiviana</i>	Phil.	HLF			

Continuación...

ESPECIE	Autor(es)	F. vida	IUCN	NOM	Estado natural
<i>Pistia stratiotes</i>	L.	HLF	LC		T
<i>Spirodela polyrhiza</i> *	(L.) Schleid.	HLF	LC		
<i>Wolffia brasiliensis</i>	Wedd.	HLF	LC		T
<i>Wolffia columbiana</i> *	H. Karst.	HLF	LC		
<i>Wolffiella lingulata</i> *	(Hegelm.) Helgelm.	HLF			
ARALIACEAE					
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	L. f.	HEE	LC		
ASTERACEAE					
<i>Erigeron heteromorphus</i>	B.L. Rob.	HEE			E-SMOr
<i>Gymnocoronis latifolia</i> *	Hook & Arn.	HEE			
<i>Jaegeria purpurascens</i> *	B.L. Rob.	HEE			E-Méx.
<i>Trichocoronis wrightii</i>	(Torr. & A. Gray) A. Gray	HEE			
CAMPANULACEAE					
<i>Lobelia purpusii</i>	Brandegee	HEE			E-Méx.
CANNACEAE					
<i>Canna glauca</i>	L.	HEE			
CERATOPHYLLACEAE					
<i>Ceratophyllum demersum</i>	L.	HETF	LC		T
CYPERACEAE					
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	(L.) Palla	HEE	LC		
<i>Cladium jamaicense</i>	Crantz	HEE			
<i>Eleocharis acicularis</i>	(L.) Roem. & Schult.	HEE	LC		
<i>Eleocharis cellulosa</i>	Torr	HEE			
<i>Eleocharis densa</i> *	Benth.	HEE	LC		E-Méx.
<i>Eleocharis acutangula</i> *	(Poir.) Link	HEE			
<i>Eleocharis interstincta</i>	(Vahl) Roem. & Schult.	HEE			
<i>Eleocharis mutata</i>	(L.) Roem. & Schult.	HEE	LC		
<i>Schoenoplectus americanus</i>	(Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller	HEE	LC		T
<i>Schoenoplectus pungens</i>	(Vahl) Palla	HEE			
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	(C.C. Gmel.) Palla	HEE	LC		
ELATINACEAE					
<i>Elatine brachysperma</i> *	A. Gray	HEE	LC		
ERIOCAULACEAE					
<i>Eriocaulon microcephalum</i>	Kunth	HEE			
EUPHORBIACEAE					
<i>Caperonia palustris</i>	(L.) A.St.-Hil	HEE			

Continuación...

ESPECIE	Autor(es)	F. vida	IUCN	NOM	Estado natural
HYDROCHARITACEAE					
<i>Najas guadalupensis</i>	(Spreng.) Magnus	HETF			T
<i>Najas marina</i>	L.	HETF	LC		T
JUNCAGINACEAE					
<i>Triglochin scilloides</i>	(Poir.) Hauman	HEE	LC		
LENTIBULARIACEAE					
<i>Utricularia gibba</i>	L.	HLS	LC		T
<i>Utricularia perversa</i>	P. Taylor	HLS			E-Méx.
<i>Utricularia macrorhiza</i> *	L.	HLS			
LINDERNIACEAE					
<i>Micranthemum umbrosum</i>	(Walt.) Blake.	HETF			
MARANTACEAE					
<i>Thalia geniculata</i>	L.	HEE	LC		T
MENYANTHACEAE					
<i>Nymphoides fallax</i> *	Ornduff	HEHF			T
NYMPHAEACEAE					
<i>Nuphar advena</i>	(Aiton) W.T. Aiton	HEHF			
<i>Nymphaea ampla</i>	(Salisb.) DC.	HEHF			T
<i>Nymphaea elegans</i> *	Hook.	HEHF			
<i>Nymphaea gracilis</i>	Zucc.	HEHF		A	E-Méx.
<i>Nymphaea jamesoniana</i>	Planch.	HEHF			
<i>Nymphaea mexicana</i>	Zucc.	HEHF		A	T
<i>Nymphaea odorata</i> *	Aiton	HEHF	LC		
ONAGRACEAE					
<i>Ludwigia palustris</i>	(L.) Elliott	HETF	LC		
<i>Ludwigia peploides</i>	(Kunth) P.H. Raven	HETF			T
<i>Ludwigia repens</i>	J.R. Forst.	HETF			
ORCHIDACEAE					
<i>Habenaria repens</i>	Nutt.	HEE			
PLANTAGINACEAE					
<i>Bacopa monnieri</i>	(L.) Wettst.	HEE	LC		
<i>Bacopa rotundifolia</i>	(Michx.) Wettst.	HEE	LC		
<i>Callitriche deflexa</i>	A. Braun ex Hegelm	HEE			
<i>Callitriche heterophylla</i>	Pursh	HETF	LC		

Continuación...

ESPECIE	Autor(es)	F. vida	IUCN	NOM	Estado natural
POACEAE					
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	(Rudge) Nees	HEE			T
<i>Leersia hexandra</i>	Sw.	HEE	LC		
<i>Paspalum distichum</i>	L.	HEE	LC		
PODOSTEMATAACEAE					
<i>Marathrum tenue</i> *	Liebm.	HES			
<i>Noveloa coulteriana</i> *	(Tul.) C.T. Philbrick	HETF		Pr	E-Méx.
<i>Podostemum ricciiforme</i> *	(Liebm.) P. Royen	HES		Pr	E-Méx.
<i>Tristicha trifaria</i>	(Bory ex Willd) Spreng	HES			
PONTEDERIAACEAE					
<i>Heteranthera dubia</i>	(Jacq.) MacMill.	HES	LC		
<i>Heteranthera limosa</i>	(Sw.) Willd.	HEE			T
<i>Heteranthera mexicana</i>	S. Watson	HEE		P	
<i>Heteranthera peduncularis</i>	Benth.	HEE			
<i>Heteranthera reniformis</i>	Ruiz & Pav.	HEE			
<i>Heteranthera rotundifolia</i>	(Kunth) Griseb.	HEE			
<i>Pontederia sagittata</i>	C. Presl	HEE			
POTAMOGETONACEAE					
<i>Potamogeton diversifolius</i>	Raf.	HETF			
<i>Potamogeton foliosus</i>	Raf.	HETF	LC		
<i>Potamogeton illinoensis</i>	Morong	HETF			
<i>Potamogeton natans</i> *	L.	HETF	LC	Pr	
<i>Potamogeton nodosus</i>	Poir.	HETF	LC		
<i>Potamogeton pusillus</i>	L.	HETF	LC		
<i>Stuckenia pectinata</i>	(L.) Börner	HETF	LC		T
<i>Stuckenia striata</i>	(Ruiz & Pav.) Holub	HETF			
<i>Zannichellia palustris</i>	L.	HETF	LC		
RANUNCULACEAE					
<i>Ranunculus hydrocharoides</i>	A. Gray	HEE			
RUPPIACEAE					
<i>Ruppia maritima</i>	L.	HETF	LC		T
SCROPHULARIACEAE					
<i>Limosella aquatica</i>	L.	HEE	LC		T
TYPHACEAE					
<i>Typha domingensis</i>	Pers.	HEE	LC		T
<i>Typha latifolia</i>	L.	HEE	LC		T

APÉNDICE 2

Lista de especies de plantas acuáticas estrictas en la Sierra Madre Oriental con sus características ambientales individualmente. **B-C** = Bravo-Conchos; **M** = Mapimí; **N-A** = Nazas-Aguanaval; **NV** = Norte de Veracruz; **P** = Pánuco; **S** = El Salado; **SF-SM** = San Fernando-Soto la Marina. **Coah.** = Coahuila; **Dgo.** = Durango; **Gto.** = Guanajuato; **Hgo.** = Hidalgo; **N.L.** = Nuevo León; **Pue.** = Puebla; **Qro.** = Querétaro; **S.L.P.** = San Luis Potosí; **Tamps.** = Tamaulipas; **Ver.** = Veracruz; **Zac.** = Zacatecas. Las claves de los tipos de vegetación y clima, se pondrán ver en los anexos.

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Acrostichum danaeifolium</i>	Agricultura temporal, bosque mesófilo, pastizal cultivado y vegetación secundaria arbustiva	Cálido subhúmedo y templado húmedo	1,500 – 3,000	Feozem, vertisol, luvisol, regosol, rendzina, cambisol, litosol	200 – 1,800	Qro., S.L.P., Ver.	NV, P
<i>Azolla microphylla</i>	Agricultura temporal y selva baja caducifolia	Cálido subhúmedo y templado húmedo	1,000 – 2,000	Rendzina, feozem, litosol, luvisol, vertisol, cambisol	400 – 1,650	Pue., Qro.	NV, P
<i>Bacopa monnieri</i>	Agricultura de riego, matorral desértico y submontano, pastizal, vegetación halófila xerófila y vegetación secundaria arbustiva.	Muy seco semicálido, seco cálido y semicálido, semiseco semicálido, templado subhúmedo y húmedo	200 – 2,000	Feozem, fluvisol, litosol, luvisol, regosol, rendzina, solonchak, xerosol, yermosol.	400 – 1,750	Coah., Hgo., Qro., Tamps.	B-C, N-A, P
<i>Bacopa rotundifolia</i>	Bosque de pino y vegetación secundaria arbórea	Templado subhúmedo y húmedo	1,500 – 3,000	Luvisol, feozem, cambisol	1,500 – 2,200	Hgo., Ver.	NV
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	Pastizal halófilo	Muy seco semicálido	200 – 300	Solonchak	800	Coah.	B-C
<i>Callitriche deflexa</i>	Agricultura temporal y bosque mesófilo	Cálido subhúmedo y templado húmedo	600 – 2,000	Cambisol, feozem, luvisol, regosol, litosol	600 – 2,000	Hgo., Qro.	P
<i>Callitriche heterophylla</i>	Agricultura temporal, bosque de pino y encino, pastizal inducido	Semicálido húmedo, semiseco semicálido, templado subhúmedo y húmedo	500 – 3,000	Cambisol, feozem, litosol, luvisol, andosol, regosol, rendzina	1,000 – 2,600	Gto., Hgo., Qro., Ver.	NV, P
<i>Canna glauca</i>	Bosque de encino-pino y matorral submontano	Semiseco semicálido y templado subhúmedo	600 – 1,000	Litosol, rendzina, regosol	800 – 2,400	N.L.	B-C, P

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Caperonia palustris</i>	Agricultura temporal y bosque de encino	Semicálido húmedo y templado subhúmedo	1,200 – 2,500	Litosol, regosol, vertisol, rendzina, feozem	200 – 250	Pue.	NV, P
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Agricultura de riego, matorral crasicaule y desértico rosetófilo, selva baja caducifolia y vegetación secundaria arbustiva	Cálido subhúmedo, semicálido húmedo, seco semicálido, semiseco semicálido, templado subhúmedo y húmedo	300 – 2,000	Feozem, litosol, vertisol, regosol, rendzina	200 – 1,600	Coah., Hgo., S.L.P., Tamps.	B-C, P
<i>Cladium jamaicense</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de mezquite y táscate, matorral crasicaule y desértico rosetófilo, pastizal halófilo, vegetación halófilo xerófilo y vegetación secundaria arbustiva	Muy seco cálido, muy seco semicálido, seco semicálido, semiseco semicálido, semiseco templado y templado subhúmedo	200 – 800	Feozem, litosol, regosol, solonchak, xerosol, rendzina, luvisol y vertisol	600 – 2,400	Coah., Hgo., N.L., Qro., S.L.P.	B-C, M, P, S
<i>Eleocharis acicularis</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de ayarín y de pino y encino, matorral submontano y pastizal inducido	Cálido subhúmedo, seco semicálido, semiseco templado, templado húmedo y subhúmedo	300 – 3,000	Cambisol, feozem, litosol, luvisol, planosol, xerosol, regosol, rendzina, vertisol	400 – 3,100	Coah., Hgo., Qro., S.L.P., Ver.	B-C, NV, P
<i>Eleocharis cellulosa</i>	Bosque de táscate, matorral desértico rosetófilo, pastizal halófilo, vegetación de desierto arenosos	Muy seco semicálido y seco semicálido	200 – 500	Litosol, regosol, solonchak, xerosol, feozem, rendzina	600 – 800	Coah.	B-C
<i>Eleocharis interstincta</i>	Agricultura de riego y temporal, pastizal inducido, selva baja caducifolia y vegetación secundaria arbórea	Cálido subhúmedo y templado subhúmedo	600 – 1,500	Cambisol litosol, vertisol, luvisol, regosol, rendzina	100 – 600	Qro., Tamps.	P

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Eleocharis mutata</i>	Matorral desértico micrófilo	Seco semicálido	200 – 300	Xerosol	550	Coah.	B-C
<i>Erigeron heteromorphus</i>	Agricultura de riego y temporal, palmar, pastizal cultivado, selva baja caducifolia y selva mediana subperennifolia	Semiseco semicálido, cálido subhúmedo y semicálido húmedo	600 – 1,800	Feozem, litosol, rendzina, vertisol, regosol, cambisol	200 – 1,050	Qro., S.L.P.	P
<i>Eriocaulon microcephalum</i>	Cuerpos de agua	Templado húmedo	1,800 – 2,000	Feozem, regosol, rendzina	1,350	Hgo.	P
<i>Habenaria repens</i>	Cuerpos de agua	Templado húmedo	1,800 – 2,000	Feozem, regosol, rendzina	1,350	Hgo.	P
<i>Heteranthera dubia</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de encino, pino y tásate, matorral submontano, pastizal cultivo, selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia	Cálido subhúmedo, seco semicálido, semicálido húmedo, semiseco semicálido y templado, templado subhúmedo	400 – 1,800	Cambisol, feozem, fluvisol, litosol, luvisol, regosol, rendzina, vertisol	200 – 2,150	Hgo., N.L., S.L.P., Tamps.	B-C, P
<i>Heteranthera limosa</i>	Agricultura temporal, bosque de pino, matorral submontano, vegetación secundaria arbustiva	Semicálido húmedo, semiseco semicálido y templado húmedo y subhúmedo	500 – 2,500	Cambisol, feozem, litosol, luvisol, regosol, rendzina	400 – 1,850	Gto., Hgo., Pue., Qro., Ver.	NV, P
<i>Heteranthera mexicana</i>	Matorral desértico rosetófilo, vegetación halófila xerófila y vegetación secundaria arbustiva	Muy seco semicálida, seco cálido, templado subhúmedo	300 – 1,000	Rendzina, xerosol, litosol, solonchak, vertisol	900 – 1,350	Coah. Qro.	B-C, P
<i>Heteranthera peduncularis</i>	Agricultura de riego y matorral submontano	Seco semicálido y semiseco semicálido	400 – 1,000	Fluvisol, litosol, regosol, rendzina, xerosol, luvisol, solonchak	1,200 – 1,550	Gto., Hgo., S.L.P., Tamps.	P

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Heteranthera reniformis</i>	Agricultura temporal, bosque de encino-pino, matorral submontano, pastizal inducido	Semicálido húmedo, semiseco semicálido, templado subhúmedo y húmedo	500 – 2,000	Feozem, litosol, luvisol, regosol, cambisol, rendzina	1,100 – 2,050	Gto., Hgo., Qro.	P
<i>Heteranthera rotundifolia</i>	Agricultura temporal	Semiseco templado y templado subhúmedo	300 – 1,800	Cambisol, feozem, rendzina, litosol, luvisol, regosol	1,400 – 2,050	Coah., Hgo., Qro.	B-C, P
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Bosque de encino, matorral desértico rosetófilo y vegetación secundaria arbórea	Semiseco templado, semicálido húmedo, templado húmedo	300 – 2,000	Litosol, luvisol, regosol, rendzina	800 – 2,300	Coah., S.L.P., Tamps.	B-C, P
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	Vegetación secundaria arbustiva	Semicálido húmedo y templado subhúmedo	800 – 2,500	Feozem, vertisol, regosol, luvisol	250 – 600	N.L., Ver.	B-C, NV
<i>Leersia hexandra</i>	Agricultura temporal y permanente, vegetación secundaria arbórea	Semiseco templado y templado subhúmedo	300 – 1,800	Rendzina, vertisol, xerosol, regosol, litosol	200 – 1,750	Coah., Tamps.	B-C, P
<i>Lemna aequinotialis</i>	Agricultura temporal y permanente, selva baja caducifolia y vegetación secundaria arbórea	Semiseco semicálido, templado subhúmedo y húmedo	400 – 2,000	Cambisol, litosol, regosol, rendzina, litosol, luvisol	800 – 1,400	Hgo., Pue., Qro., S.L.P.	NV, P
<i>Lemna minuta</i>	Agricultura de riego y temporal, matorral desértico rosetófilo	Seco semicálido, semiseco semicálido, templado subhúmedo	200 – 800	Litosol, regosol, xerosol, feozem, rendzina	1,300 – 2,400	Coah., N.L., S.L.P.	B-C, N-A, S
<i>Lemna valdiviana</i>	Agricultura temporal y vegetación secundaria arbustiva	Seco semicálido, semiseco templado y templado subhúmedo	400 – 1,000	Cambisol, litosol, rendzina, luvisol, regosol	1,350 – 1,400	Coah., Hgo.	B-C, P
<i>Lilaeopsis schaffneriana</i>	Bosque de pino y encino, bosque mesófilo y vegetación secundaria arbustiva	Templado subhúmedo y húmedo y semifrío subhúmedo	400 – 2,000	Litosol, luvisol, cambisol, feozem, rendzina, regosol	2,000 – 3,600	Coah., Hgo., N.L., Ver.	B-C, NV, P, SF-SM
<i>Limosella aquatica</i>	Bosque de pino y encino, y pastizal inducido	Cálido subhúmedo, templado subhúmedo y húmedo	400 – 1,800	Cambisol, feozem, luvisol, regosol, litosol	600 – 2,300	Coah., Hgo., Qro., Ver.	B-C, NV, P

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Lobelia purpusii</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de encino y mesófilo, matorral desértico micrófilo, palmar, pastizal inducido, selva baja caducifolia, selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia, vegetación secundaria arbustiva	Seco semicálido, semicálido húmedo, templado subhúmedo y húmedo	300 – 3,000	Cambisol, feozem, litosol, luvisol, rendzina, vertisol, regosol	200 – 1,800	Pue., S.L.P., Tamps, Ver.	NV, P, S
<i>Ludwigia palustris</i>	Agricultura de riego, bosque de encino y mesófilo	Semiseco cálido, semicálido húmedo, templado subhúmedo	600 – 1,800	Litosol, vertisol, rendzina, regosol	400 – 1,000	N.L., S.L.P. Tamps.	B-C, P, SF-SM
<i>Ludwigia peploides</i>	Bosque de pino, encino, táscate, matorral submontano, mezquital xerófilo, pastizal cultivado, selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbustiva	Seco cálido, semiseco semicálido, cálido subhúmedo, semicálido húmedo, templado subhúmedo y húmedo	400 – 1,800	Litosol, luvisol, regosol, vertisol, feozem, rendzina	150 – 2,200	Hgo., S.L.P., Tamps.	P, SF-SM
<i>Ludwigia repens</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de pino, encino y mesófilo, chaparral, matorral desértico micrófilo, submontano, selva baja caducifolia y vegetación halófila xerófila	Muy seco semicálido, seco semicálido, cálido subhúmedo, semicálido húmedo, templado subhúmedo y húmedo	200 – 2,000	Litosol, luvisol, solonchak, vertisol, xerosol, cambisol, regosol, rendzina, feozem	200 – 2,050	Coah., Hgo., N.L., Qro., S.L.P., Tamps.	B-C, P, SF-SM
<i>Marsilea macropoda</i>	Agricultura de riego y temporal	Templado subhúmedo, templado y semicálido húmedo	600 – 2,000	Cambisol, verisol, luvisol, feozem y rendzina	400 – 1,850	Hgo., S.L.P.	P, NV

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Marsilea mollis</i>	Agricultura de riego y vegetación secundaria arbórea	Cálido subhúmedo y templado húmedo	600 – 2,000	Cambisol, feozem, luvisol, regosol, litosol	600 – 2,000	Qro., Ver.	NV, P
<i>Marsilea vestita</i>	Matorral desértico rosetófilo y vegetación secundaria arbustiva	Muy seco semicálido y semiseco semicálido	400 – 600	Litosol, xerosol, feozem, regosol	1,350 – 1,600	Coah., S.L.P.	B-C, S
<i>Micranthemum umbrosum</i>	Agricultura temporal, bosque de pino y encino	Templado subhúmedo y húmedo	1,200 – 2,000	Feozem, luvisol, regosol, vertisol, litosol	1,800 – 2,300	Hgo., Ver.	NV, P
<i>Najas guadalupensis</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de pino y mesófilo, matorral desértico rosetófilo y submontano, pastizal cultivado, selva baja caducifolia y vegetación secundaria arbórea y arbustiva	Muy seco semicálido, seco semicálido, semiseco semicálido y templado, cálido subhúmedo, templado subhúmedo y húmedo	200 – 3,000	Cambisol, feozem, fluvisol, litosol, luvisol, rendzina, solonchak, vertisol, xerosol, regosol	600 – 2,150	Coah., Hgo., N.L., Qro., S.L.P., Tamps., Ver.	B-C, NV, P
<i>Najas marina</i>	Matorral desértico rosetófilo	Muy seco cálido	200 – 300	Litosol, rendzina, regosol	1,200	Dgo.	N-A
<i>Nuphar advena</i>	Agricultura temporal, bosque de encino y pino, selva baja caducifolia, selva baja caducifolia y selva mediana subperennifolia	Templado subhúmedo	1,000 – 1,500	Litosol, vertisol, cambisol, rendzina, regosol	100 – 600	Tamps.	P, SF-SM
<i>Nymphaea ampla</i>	Agricultura de riego, matorral desértico micrófilo, pastizal halófilo	Muy seco semicálido, seco semicálido, semiseco semicálido, semicálido húmedo, templado subhúmedo	200 – 1,800	Feozem, solonchak, vertisol, xerosol, regosol, rendzina	400 – 1,050	Coah., N.L., S.L.P.	B-C, P, S

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Nymphaea gracilis</i>	Agricultura temporal y permanente, matorral submontano y vegetación secundaria arbustiva	Semiseco semicálido, cálido húmedo, templado subhúmedo	500 – 2,500	Litosol, rendzina, vertisol, regosol, feozem, luvisol	200 – 1,200	Gto., Qro., Ver.	NV, P
<i>Nymphaea jamesoniana</i>	Agricultura temporal, vegetación secundaria arbustiva	Cálido húmedo y semicálido húmedo	1,200 – 1,800	Regosol, vertisol, feozem, rendzina, litosol	400	Tamps., Ver.	P
<i>Nymphaea mexicana</i>	Cuerpos de agua	Templado húmedo	1,800 – 2,000	Feozem, regosol, rendzina	1,350	Hgo.	P
<i>Paspalum distichum</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de encino, pino y mesófilo de montaña, matorral desértico rosetófilo y submontano, selva baja caducifolia, vegetación secundaria arbustiva	Muy seco semicálido, seco semicálido y templado, semiseco semicálido, semicálido húmedo, templado subhúmedo	200 – 1,500	Feozem, litosol, regosol, rendzina, vertisol, xerosol, yermosol	200 – 2,300	Coah., Dgo., N.L., S.L.P., Tamps.	B-C, N-A, P, S, SF-SM
<i>Pistia stratiotes</i>	Vegetación secundaria arbustiva	Templado subhúmedo	1,200 – 1,500	Rendzina, regosol, litosol	200	Tamps.	P
<i>Pontederia sagittata</i>	Pastizal cultivado	Cálido húmedo	2,000 – 2,500	Luvisol, regosol, litosol	400	Pue.	NV
<i>Potamogeton diversifolius</i>	Vegetación secundaria arbustiva	Semiseco semicálido	500 – 600	Litosol, feozem	1,600	S.L.P.	S
<i>Potamogeton foliosus</i>	Agricultura temporal, bosque de pino y encino, vegetación secundaria arbórea y arbustiva	Cálido húmedo, semicálido húmedo, templado subhúmedo y húmedo	1,500 – 2,500	Cambisol, luvisol, regosol, feozem, rendzina, litosol	600 – 2,250	Hgo., Pue., Ver.	NV, P

Continuación....

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Potamogeton illinoensis</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de pino y encino, matorral desértico rosetófilo y submontano, selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia y vegetación secundaria arbustiva	Muy seco semicálido, seco semicálido, semiseco semicálido, cálido subhúmedo, semicálido húmedo, templado subhúmedo y húmedo	400 – 3,000	Feozem, fluvisol, litosol, luvisol, rendzina, vertisol, xerosol, castañozem, regosol	100 – 1,950	Coah., Hgo., N.L., Qro., S.L.P., Tamps.	B-C, P
<i>Potamogeton nodosus</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de encino y pino, matorral desértico micófilo y desértico rosetófilo, y vegetación halófila xerófila	Muy seco semicálido, semiseco templado, cálido subhúmedo, templado subhúmedo	200 – 1,200	Cambisol, feozem, litosol, luvisol, rendzina, solonchak, xerosol, regosol, vertisol, xerosol	600 – 2,200	Coah., Hgo., N.L., Qro., Tamps., Zac.	B-C, M, N-A, P, SF-SM
<i>Potamogeton pusillus</i>	Agricultura de riego, bosque de pino, encino y mesófilo, y vegetación secundaria arbustiva	Semiseco templado, semicálido húmedo y templado húmedo	400 – 3,500	Cambisol, feozem, litosol, luvisol, andosol, regosol, rendzina	600 – 2,200	Hgo., Pue., Tamps., Ver.	NV, P
<i>Ranunculus hydrocharoides</i>	Agricultura temporal, bosque de pino y encino, vegetación secundaria arbustiva y herbácea	Semiseco semicálido, semicálido húmedo, templado subhúmedo y húmedo	500 – 1,800	Feozem, litosol, luvisol, regosol, cambisol	400 – 2,400	Hgo., Qro., S.L.P., Ver.	NV, P, S
<i>Ruppia maritima</i>	Matorral desértico micrófilo y pastizal halófilo	Muy seco cálido y semicálido	200 – 300	Solonchak, xerosol, regosol	800	Coah.	B-C
<i>Sagittaria guayanensis</i>	Agricultura temporal	Cálido húmedo y semicálido húmedo	2,000 – 3,000	Cambisol, regosol, feozem, rendzina, litosol	200 – 400	Pue.	NV
<i>Sagittaria longiloba</i>	Agricultura de riego y temporal y vegetación secundaria arbustiva	Muy seco semicálido y templado subhúmedo	200 – 800	Cambisol, rendzina, xerosol, litosol, luvisol, yermosol, regosol	1,200 – 1,350	Dgo., Hgo., Qro.	N-A, P

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Sagittaria montevidensis</i>	Matorral desértico rosetófilo	Seco semicálido	400 – 500	Rendzina, xerosol, feozem	600	Coah.	B-C
<i>Schoenoplectus americanus</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de pino, matorral desértico micrófilo, pastizal halófilo, vegetación halófila xerófila, vegetación secundaria arbórea y arbustiva	Muy seco semicálido, seco semicálido, semiseco templado, templado subhúmedo y húmedo	200 – 3,000	Cambisol, feozem, litosol, solonchak, xerosol, luvisol, regosol, rendzina	800 – 2,650	Coah., Hgo., N.L., Pue., Qro.	B-C, NV, P, S
<i>Schoenoplectus pungens</i>	Pastizal halófilo y vegetación secundaria arbustiva	Muy seco semicálido y seco semicálido	200 – 600	Solonchak, rendzina	800	Coah., Tamps.	B-C, P
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	Vegetación secundaria arbórea	Semicálido húmedo	1,800 – 2,000	Luvisol, litosol	1,150	Qro.	P
<i>Stuckenia pectinata</i>	Agricultura de riego, pastizal cultivado, vegetación secundaria arbustiva	Semiseco semicálido, cálido subhúmedo, semicálido húmedo, templado subhúmedo	500 – 1,500	Feozem, regosol, vertisol, rendzina, litosol, luvisol	100 – 1,750	Hgo., Qro., S.L.P.	P
<i>Stuckenia striata</i>	Pastizal cultivo, selva baja caducifolia y vegetación secundaria arbustiva	Cálido subhúmedo y templado subhúmedo	500 – 1,800	Feozem, litosol, vertisol, rendzina, luvisol, regosol	250 – 1,500	Hgo., Qro.	P
<i>Taxodium mucronatum</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de encino, pino y táscate, matorral desértico micrófilo y submontano, pastizal cultivado, selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, vegetación secundaria arbustiva	Seco semicálido, semiseco semicálido y templado, cálido subhúmedo, semicálido húmedo, templado subhúmedo	200 – 2,500	Feozem, litosol, regosol, rendzina, vertisol, xerosol, luvisol	100 – 2,600	Coah., Hgo., N.L., S.L.P., Tamps.	B-C, P

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Thalia geniculata</i>	Agricultura temporal y vegetación secundaria arbórea	Cálido húmedo y semicálido húmedo	1,800 – 2,000	Feozem, vertisol, regosol, rendzina, litosol	150 – 200	Pue., S.L.P.	NV, P
<i>Trichocoronis wrightii</i>	Agricultura de riego y temporal, y vegetación secundaria arbustiva	Semiseco semicálido, semicálido húmedo y templado subhúmedo	600 – 1,800	Rendzina, vertisol, xerosol, feozem, litosol	400 – 1,400	Qro., S.L.P., Tamps.	P, S
<i>Triglochin scilloides</i>	Matorral submontano y vegetación secundaria arbórea	Semiseco semicálido y semicálido húmedo	500 – 2,500	Litosol, luvisol, regosol, rendzina	400 – 1,400	Gto., Hgo.	P
<i>Tristicha trifaria</i>	Agricultura de riego	Semiseco semicálido	500 – 600	Litosol, rendzina	1000	S.L.P.	P
<i>Typha domingensis</i>	Bosque de pino, matorral desértico rosetófilo, vegetación secundaria arbórea y arbustivo	Seco semicálido, semiseco templado, semicálido húmedo, templado subhúmedo	300 – 2,500	Cambisol, feozem, litosol, xerosol, regosol, rendzina, luvisol	1,400 – 2,200	Coah., N.L., Pue., Qro.	B-C, NV, P, S
<i>Typha latifolia</i>	Agricultura de riego y bosque de pino, encino	Semiseco templado, templado subhúmedo	300 – 500	Litosol, xerosol, rendzina, regosol	1,800 – 2,000	N.L.	S, SF-SM
<i>Utricularia gibba</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque pino y encino, matorral desértico rosetófilo y submontano, pastizal cultivado, vegetación halófila xerófila, vegetación secundaria arbustiva	Muy seco semicálido, seco semicálido, semiseco semicálido, cálido húmedo y templado subhúmedo	200 – 2,500	Feozem, litosol, regosol, rendzina, solonchak, vertisol, xerosol, castañozem	200 – 1,450	Coah., S.L.P., Tamps., Ver.	B-C, NV, P
<i>Utricularia perversa</i>	Bosque de pino y encino	Templado subhúmedo	800 – 1,800	Litosol, luvisol, rendzina, regosol	2,200 – 2,550	Coah., Qro.	B-C, P
<i>Wolffia brasiliensis</i>	Agricultura temporal, matorral submontano, bosque de pino	Semiseco semicálido, templado subhúmedo	500 – 800	Litosol, rendzina, regosol	1,200 – 2,600	Tamps.	P, S

Continuación...

ESPECIE	Vegetación	Clima	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Estado	Región hídrica
<i>Zannichellia palustris</i>	Agricultura de riego y temporal, bosque de galería, matorral submontano, vegetación secundaria arbórea y arbustiva	Muy seco semicálido, seco semicálido, semiseco templado, cálido subhúmedo, templado subhúmedo	200 – 800	Cambisol, feozem, litosol, regosol, solonchak, xerosol, castañozem, luvisol, rendzina, vertisol	600 – 2,000	Coah., Hgo., N.L., Qro., S.L.P., Tamps.	B-C, P, S, SF-SM

APÉNDICE 3

Características ambientales de las 32 cuencas hidrológicas. El significado de las claves de tipo de vegetación se podrá ver los anexos.

	Tipo de vegetación	Edafología	Clima	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)	Tipo de cuenca	Regiones Hídricas
Arroyo Bajío Quelitos	AH, BP, BPQ, BQ, BQP, H2O, MDM, MDR, MK, MKX, ML, MSM, PI, PN, PY, RA, RAS, TA, VH, VSa/BJ, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MSM, VSa/VH, VSh/VH	Xerosol, litosol, feozem, regosol, rendzina, solonchak	Seco semicálido, seco templado, semiseco templado, templado subhúmedo	200 - 800	1,500 - 3,100	Endorreica	El Salado
Arroyo El Lobo	AH, BJ, BP, BQ, H2O, MC, MDM, MDR, MKX, PI, TA, VSa/BJ, VSa/BP, VSa/MDM, VSh/MDR	Xerosol, litosol, regosol, feozem	Seco semicálido, seco templado, semiseco semicálido	300 - 600	1,400 - 2,400	Endorreica	El Salado
Arroyo El Pato	BP, MDM, MDR	Xerosol, litosol	Seco templado, semiseco templado	300 - 500	2,000 - 2,600	Endorreica	El Salado
Arroyo El Rayo del Puerto	AH, BJ, BM, BP, BPQ, BQ, BQP, H2O, HA, MC, MDM, MDR, MK, MKX, MSM, PI, PN, RA, RAS, RP, TA, TAP, TAS, TP, VH, VSa/BJ, VSa/BP, VSa/BQ, VSa/MC, VSa/MDM, VSa/MK, VSa/MKX, VSa/MSM, VSa/VH	Xerosol, rendzina, litosol, vertisol, feozem	Templado subhúmedo, seco semicálido, seco templado, semiseco semicálido, semiseco templado	300 - 1,800	1,000 - 2,000	Endorreica	El Salado
Arroyo Las Vegas	BP, DV, MC, MDM, MDR, MSM, PH, PI, RA, RAS, TA, VD, VH, VSa/BP, VSa/MDM, VSa/MSM, VSa/PH, VY	Yermosol, regosol, litosol, vertisol, solonchak	Seco templado y muy seco semicálido	200 - 500	1,100 - 2,400	Endorreica	Mapimí
Cerrito de Vacas	AH, MDM, MDR, MKX, PI, TA, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MKX	Xerosol, litosol, regosol	Seco templado, seco semicálido	300 - 500	1,600 - 2,000	Endorreica	El Salado

Continuación...

	Tipo de vegetación	Edafología	Clima	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)	Tipo de cuenca	Regiones Hídricas
Cuatro Ciénegas	AH, BA, BG, BP, BPQ, BQ, BQP, MDM, MDR, MK, ML, MSM, PH, PI, PN, RA, RAS, RS, TA, TP, VH, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/BQP, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MK, VSa/ML, VSa/MSM, VSa/PH	Xerosol, litosol, regosol, castañozem, solonchak	Seco semicálido, seco templado, semiseco templado y muy seco semicálido	200 - 500	800 - 3,000	Endorreica	Bravo - Conchos
Cuenca de San Luis Potosí	BQ, MC, MDM, MDR, MKX, PI, PN, TA, TAP, VSa/BQ, VSa/MC, VSa/MDM, VSa/MKX, VSa/PN	Litosol, rendzina, xerosol, feozem, vertisol, planosol	Muy seco templado, seco templado y semiseco templado	300 - 600	1,750 - 2,800	Endorreica	El Salado
Cuenca Interior de Matehuala	ADV, AH, BQ, BQP, H2O, MC, MDM, MDR, MKX, ML, MSM, PC, PI, PY, RA, RAS, RP, RS, TA, TAP, TP, VH, VSa/BJ, VSa/BQ, VSa/BQP, VSa/MC, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MKX, VSa/MSM, VSa/PN	Xerosol, litosol, cambisol, castañozem, regosol, vertisol, yermosol, solonchak, rendzina	Templado subhúmedo, seco semicálido, seco templado, semiseco semicálido, semiseco templado, muy seco semicálido y muy seco templado	200 - 800	1,300 - 3,100	Endorreica	El Salado
El Salado	AH, BP, DV, H2O, MC, MDM, MDR, ML, PH, PI, PY, RA, RAS, TA, VH, VSa/BJ, VSa/MDM, VSa/MDR	Xerosol, litosol, regosol, rendzina, castañozem	Seco semicálido y templado, semiseco semicálido y templado, templado subhúmedo y frío	200 - 500	1,600 - 3,100	Endorreica	El Salado
El Saltillo	AH, BP, MDM, PH, PY, RAS, TA, VH, VSa/BP, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/VH	Xerosol, litosol, solonchak, castañozem, rendzina, regosol	Seco semicálido y templado, semiseco templado, muy seco semiseco, semifrío subhúmedo y templado subhúmedo	300 - 500	1,600 - 3,100	Endorreica	El Salado
La Lagunita	AH, BJ, BP, BPQ, BQ, BQP, MC, MDM, MDR, MKX, ML, PH, PI, RS, TA, VSa/BJ, VSa/BP, VSa/BQ, VSa/MDM	Xerosol, litosol, rendzina, regosol	Seco semicálido y templado, semiseco templado, semifrío subhúmedo y templado subhúmedo	300 - 1,000	1,300 - 3,500	Endorreica	El Salado

Continuación...

	Tipo de vegetación	Edafología	Clima	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)	Tipo de cuenca	Regiones Hídricas
Lago El Carmen	AH, BA, BJ, BP, BQP, BS, H2O, MDM, MDR, ML, PH, PI, PN, PY, RA, RAS, RP, TA, VH, VSa/BA, VSa/BP, VSa/BS, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/PY, VSa/VH	Xerosol, litosol, rendzina, regosol, feozem, solonchak	Seco templado, semiseco templado, frío, semifrío subhúmedo y templado subhúmedo	300 - 1,000	1,800 - 3,700	Endorreica	El Salado
Lago El Guaje	AH, BP, BPQ, BQ, BQP, DV, H2O, MDM, MDR, ML, MSM, PH, PN, VG, VH, VSa/BQP, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/PN	Xerosol, regosol, litosol, yermosol, rendzina, solonchak	Seco y semiseco templado, muy seco cálido	200 - 500	1,200 - 2,600	Endorreica	Mapimí
Lago El Hundido	AH, BJ, BP, MC, MDM, MDR, MK, ML, PH, PI, PN, PY, RA, RAS, TA, VH, VSa/BP, VSa/MDM, VSa/VH	Xerosol, litosol, regosol, rendzina, castañozem	Seco semicálido y templado, semiseco templado, frío y templado subhúmedo	300 - 500	1,750 - 3,150	Endorreica	El Salado
Lago El Rey	H2O, MDM, MDR, MSM, PH, TA, VD, VH, VSa/MDM, VY	Yermosol, regosol, xerosol, litosol, solonchak	Seco templado y muy seco semicálido	200 - 400	1,000 - 2,400	Endorreica	Mapimí
Lago La Boquilla	AH, BP, DV, H2O, MC, MDM, MDR, MKX, ML, PI, RA, TA, VSa/BJ, VSa/MDR	Xerosol, litosol, rendzina, fluvisol	Seco semicálido y templado, semicálido templado	300 - 600	1,500 - 2,600	Endorreica	El Salado
Lago La Leche	BP, BPQ, BQ, H2O, MDM, MDR, ML, MSM, PI, TA, VH, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/BQP, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/PN, VSa/VD	Yermosol, xerosol, regosol, solonchak, rendzina, solonetz	Seco y semiseco templado, muy seco cálido	200 - 500	1,050 - 2,550	Endorreica	Mapimí
Lago La Mancha	DV, MC, MDM, MDR, PI, TA, VH, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/PN, VSa/VH	Xerosol, litosol, regosol, solonetz, solonchak, rendzina	Seco semicálido y templado, semiseco templado, muy seco semicálido	200 - 500	1,550 - 2,700	Endorreica	El Salado
Lago Tecolotes	ADV, AH, BP, MDM, MDR, MK, PH, PY, RA, RAS, TA, VH, VSa/BP, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/VH	Xerosol, litosol, regosol, fluvisol, solonchak, rendzina	Seco templado, semiseco templado, muy seco semicálido, frío y templado subhúmedo	200 - 600	1,500 - 3,150	Endorreica	El Salado

Continuación...

	Tipo de vegetación	Edafología	Clima	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)	Tipo de cuenca	Regiones Hídricas
Lomas El Venado	BP, BPQ, BQ, DV, MDM, MDR, ML, MSM, RA, VH, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/MDM, VSa/MDR	Regosol, litosol, xerosol, yermosol, solonchak	Seco y semiseco templado, muy seco cálido	300 - 500	1,100 - 2,850	Endorreica	Mapimí
Río Bravo	ADV, AH, BA, BG, BJ, BP, BPQ, BQ, BQP, BS, DV, H2O, MC, MDM, MDR, MET, MK, MKX, ML, MSM, PC, PH, PI, PN, RA, RAP, RAS, RP, RS, RSP, TA, TAP, TAS, TP, VD, VG, VH, VPI, VSa/BA, VSa/BJ, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/BQP, VSa/BS, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MET, VSa/MK, VSa/MKX, VSa/ML, VSa/MSM, VSa/PH, VSa/PN, VSa/VH, VSh/MET, VY	Xerosol, regosol, rendzina, yermosol, litosol, feozem, fluvisol, castañozem, luvisol, vertisol, planosol	Frío, semifrío subhúmedo, templado subhúmedo, semiseco húmedo y subhúmedo, semiseco templado, semicálido y cálido, seco templado, semicálido, cálido y muy seco semicálido y cálido	200 - 1,500	100 - 3,700	Exorreica	Bravo - Conchos
Río Cazones	AH, BM, BPQ, BQ, PC, PI, SBC, TA, TAP, TAS, TP, TSP, VSa/BA, VSa/BM, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/SAP, VSh/BM, VSh/SAP	Regosol, vertisol, feozem, luvisol, rendzina, andosol, luvisol	Frío, templado subhúmedo, Cálido húmedo y subhúmedo	1,000 - 3,500	100 - 3,500	Exorreica	Norte de Veracruz
Río Conchos-Chorreras	AH, BJ, BP, BPQ, BQ, BQP, H2O, MDR, MSM, PC, PI, PY, RAP, SBK, TA, TAP, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/BQP, VSa/MDR, VSa/MSM, VSh/BJ	Regosol, rendzina, litosol, feozem	Frío, templado subhúmedo, semiseco templado y semicálido, seco semicálido	300 - 1,200	100 - 3,700	Exorreica	San Fernando - Soto la Marina
Río Nazas	ADV, AH, BJ, BP, DV, H2O, MC, MDM, MDR, MK, MKX, ML, MSM, PH, PI, PN, RA, RAP, RAS, RP, RS, RSP, TA, TAP, TP, VD, VG, VH, VSa/BJ, VSa/BP, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MK, VSa/PH, VSa/PN, VSa/VD, VSa/VH, VY	Xerosol, litosol, yermosol, regosol, solonchak, solonetz, castañozem, fluvisol, rendzina, feozem	Semifrío subhúmedo, templado subhúmedo, semiseco húmedo, seco templado y semicálido, muy seco semicálido y cálido	200 - 500	1,050 - 3,200	Endorreica	Nazas - Aguanaval

Continuación...

	Tipo de vegetación	Edafología	Clima	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)	Tipo de cuenca	Regiones Hídricas
Río Pánuco	ADV, AH, BC, BI, BJ, BM, BP, BPQ, BQ, BQP, DV, H2O, HA, HS, MC, MDM, MDR, MK, MKX, MSM, PC, PH, PI, PN, RA, RAP, RAS, RP, RS, SAP, SBC, SBS, SG, SMQ, SMS, TA, TAP, TAS, TP, TS, TSP, VG, VH, VHH, VPI, VPN, VSa/BJ, VSa/BM, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/BQP, VSa/MC, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MJ, VSa/MK, VSa/MKX, VSa/MSM, VSa/PN, VSa/SAP, VSa/SBC, VSa/SBS, VSa/SMQ, VSa/SMS, VSa/VH, VSh/BJ, VSh/BM, VSh/BPQ, VSh/BQ, VSh/BQP, VSh/MC, VSh/SAP, VSh/SBC, VSh/SMQ, VT	Feozem, litosol, regosol, vertisol, cambisol, andosol, luvisol, chernozem, rendzina, castañozem, fluvisol, solonchak	Frío, semifrío subhúmedo, templado subhúmedo, semiseco templado, semiseco semicálido, semiseco cálido, seco templado, seco semicálido, cálido húmedo y cálido subhúmedo.	300 - 3,000	100 - 3,400	Exorreica	Pánuco
Río Soto La Marina	AH, BJ, BM, BP, BPQ, BQ, BQP, H2O, MDM, MDR, MKX, MSM, PC, PI, PN, RA, RAP, SBC, SBK, TA, TAP, TP, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/BQP, VSa/MDR, VSa/MSM, VSa/PN, VSa/SBC	Vertisol, fluvisol, regosol, litosol, rendzina, xerosol	Semifrío subhúmedo, templado subhúmedo, semiseco templado y semicálido, seco semicálido	300 - 1,200	100 - 3,500	Exorreica	San Fernando - Soto la Marina
Río Tecolutla	ADV, AH, BC, BM, BP, BPQ, BQ, BQP, H2O, PC, PI, RA, SBC, TA, TAP, TAS, TP, VSa/BM, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQP, VSa/SAP, VSh/BM, VSh/SAP	Feozem, regosol, cambisol, andosol, luvisol, vertisol, gleysol	Templado húmedo, subhúmedo, semicálido húmedo, cálido húmedo	500 - 4,500	300 - 3,500	Exorreica	Norte de Veracruz
Río Tuxpan (Pantepec)	AH, BC, BM, BP, BPQ, BQ, PC, PI, SAP, TA, TAP, TAS, TP, VSa/BM, VSa/BP, VSa/BPQ, VSa/BQ, VSa/SAP, VSh/SAP	Feozem, regosol, litosol, vertisol, cambisol, andosol, rendzina, luvisol	Templado subhúmedo y húmedo, semicálido subhúmedo y húmedo, cálido subhúmedo y húmedo	1,200 - 3,500	100 - 2,750	Exorreica	Norte de Veracruz

Continuación...

	Tipo de vegetación	Edafología	Clima	Precipitación (mm)	Altitud (msnm)	Tipo de cuenca	Regiones Hídricas
Valle El Hundido	BP, DV, MDM, MDR, ML, MSM, PN, RA, RAS, VH, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/PN, VY	Xerosol, regosol, litosol, solonchak, fluvisol, solonetz	Seco semicálido y templado, semiseco templado, muy seco semicálido	200 - 500	800 - 2,200	Endorreica	Mapimí
Valle El Sobaco	BP, H2O, MDM, MDR, MSM, PH, PI, RA, RAS, VG, VH, VSa/BP, VSa/MDM, VSa/MDR, VSa/MSM, VY	Xerosol, litosol, solonchak, regosol, fluvisol, yermosol	Muy seco semicálido, seco templado	200 - 500	800 - 2,300	Endorreica	Mapimí
Valle San Marcos y Pinos	BP, DV, H2O, MDM, MDR, ML, MSM, PI, PN, TA, VH, VSa/BP, VSa/MDM, VSa/VH	Xerosol, regosol, litosol, rendzina, yermosol, solonchak	Semiseco templado, seco templado y semicálido, muy seco semicálido	300 - 400	850 - 2,600	Endorreica	Mapimí

ANEXO 1

Clasificación general de los tipos de climas en base a la carta climatológica del INEGI (García, 1995).

Clasificación general	Clave
Muy seco cálido	BW(h')hw
Muy seco cálido	BW(h')hw(w)
Muy seco semicálido	BWhw
Muy seco semicálido	BWhw(w)
Muy seco semicálido	BWhw(x')
Muy seco semicálido	BWhx'
Muy seco templado	BWkw
Seco cálido	BS0(h')hw
Seco cálido	BS0(h')hx'
Seco semicálido	BS0hw
Seco semicálido	BS0hw(w)
Seco semicálido	BS0hw(x')
Seco semicálido	BS0hx'
Seco templado	BS0kw
Seco templado	BS0kw(w)
Seco templado	BS0kw(x')
Seco templado	BS0kx'
Semiseco cálido	BS1(h')hw
Semiseco cálido	BS1(h')hw(w)
Semiseco semicálido	BS1hw
Semiseco semicálido	BS1hw(w)
Semiseco semicálido	BS1hw(x')
Semiseco semicálido	BS1hx'
Semiseco templado	BS1kw
Semiseco templado	BS1kw(w)
Semiseco templado	BS1kw(x')
Semiseco templado	BS1kx'
Cálido subhúmedo	Aw0
Cálido subhúmedo	Aw0(w)

Continuación...

Clasificación general	Clave
Cálido subhúmedo	Aw1
Cálido subhúmedo	Aw2
Cálido subhúmedo	Aw2(w)
Cálido húmedo	Af(m)
Cálido húmedo	Am(f)
Semicálido subhúmedo	(A)Cx'
Semicálido húmedo	(A)C(fm)
Semicálido húmedo	(A)C(m)(w)
Templado subhúmedo	(A)C(w0)
Templado subhúmedo	(A)C(w0)(w)
Templado subhúmedo	(A)C(w1)
Templado subhúmedo	(A)C(w1)(w)
Templado subhúmedo	(A)C(w2)(w)
Templado subhúmedo	C(w0)
Templado subhúmedo	C(w0)(w)
Templado subhúmedo	C(w0)(x')
Templado subhúmedo	C(w1)
Templado subhúmedo	C(w1)(w)
Templado subhúmedo	C(w1)(x')
Templado subhúmedo	C(w2)
Templado subhúmedo	C(w2)(w)
Templado subhúmedo	Cx'
Templado húmedo	C(fm)
Templado húmedo	C(m)
Templado húmedo	C(m)(w)
Semifrío subhúmedo	C(E)(w1)
Semifrío subhúmedo	C(E)(w1)(x')
Semifrío subhúmedo	C(E)(w2)
Semifrío subhúmedo	C(E)x'
Frío	C(E)(m)

ANEXO 2

Clasificación de los tipos de vegetación en la Sierra Madre Oriental según la carta de vegetación serie VI del INEGI, 2016. La reclasificación está dada de acuerdo a los tipos de vegetación según Rzedowski (1978).

Clave	INEGI	Rzedowski
HA	Agricultura de humedad anual	Agricultura de humedad
RSP	Agricultura de riego semipermanente y permanente	Agricultura de riego
RP	Agricultura de riego permanente	
RAS	Agricultura de riego anual y semipermanente	
RAP	Agricultura de riego anual y permanente	
RS	Agricultura de riego semipermanente	
RA	Agricultura de riego anual	
TAS	Agricultura de temporal anual y semipermanente	
TSP	Agricultura de temporal semipermanente y permanente	
TS	Agricultura de temporal semipermanente	
TP	Agricultura de temporal permanente	
TAP	Agricultura de temporal anual y permanente	
TA	Agricultura de temporal anual	
BS	Bosque de ayarín	Bosque de coníferas
BJ	Bosque de táscate	
BQP	Bosque de encino-pino	Bosque de encino
BQ	Bosque de encino	
BG	Bosque de galería	Bosque de galería
SG	Selva de galería	
BPQ	Bosque de pino-encino	Bosque de pino
BP	Bosque de pino	
MKX	Mezquital xerófilo	Bosque espinoso
MK	Bosque de mezquite	
BC	Bosque cultivado	Bosque manipulado
BM	Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña
H2O	Agua	Vegetación acuática
MDM	Matorral desértico micrófilo	Matorral desértico
MDR	Matorral desértico rosetófilo	
MSM	Matorral submontano	Matorral submontano
MET	Matorral espinoso tamaulipeco	Matorral xerófilo
MC	Matorral crasicale	

Continuación...

Clave	INEGI	Rzedoswki	
VPN	Palmar natural	Palmar	
PN	Pastizal natural	Pastizal	
PI	Pastizal inducido		
PC	Pastizal cultivado		
PH	Pastizal halófilo	Pastizal halófilo	
SAP	Selva alta perennifolia	Selva alta perennifolia	
SBC	Selva baja caducifolia	Selva baja caducifolia	
SMS	Selva mediana subcaducifolia	Selva mediana subcaducifolia	
SMQ	Selva mediana subperennifolia		
VH	Vegetación halófila xerófila	Vegetación halófila	
VSA/BQP	Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	Vegetación secundaria arbórea	
VSA/BJ	Vegetación secundaria arbórea de bosque de táscate		
VSA/MK	Vegetación secundaria arbórea de bosque de mezquite		
VSA/SMQ	Vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia		
VSA/BPQ	Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino		
VSA/SAP	Vegetación secundaria arbórea de selva alta perennifolia		
VSA/BP	Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino		
VSA/SBC	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia		
VSA/BM	Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña		
VSA/BQ	Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino		
VSa/BS	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de ayarín		Vegetación secundaria arbustiva
VSa/PN	Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural		
VSa/MKX	Vegetación secundaria arbustiva de mezquital xerófilo		
VSa/SMS	Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia		
VSa/MDR	Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico rosetófilo		
VSa/BQP	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino		
VSa/BJ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate		
VSa/MK	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de mezquite		
VSa/MSM	Vegetación secundaria arbustiva de matorral submontano		
VSa/SMQ	Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subperennifolia		
VSa/BPQ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino		

Continuación...

Clave	INEGI	Rzedoswki
VSa/SAP	Vegetación secundaria arbustiva de selva alta perennifolia	Vegetación secundaria arbustiva
VSa/MDM	Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	
VSa/BP	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	
VSa/SBC	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	
VSa/BM	Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña	
VSa/BQ	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	
VSh/BPQ	Vegetación secundaria herbácea de bosque de pino-encino	Vegetación secundaria herbácea
VSh/SAP	Vegetación secundaria herbácea de selva alta perennifolia	
VSh/SBC	Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia	
VSh/BM	Vegetación secundaria herbácea de bosque mesófilo de montaña	
VSh/BQ	Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino	
AH	Urbano construido	Zona urbana



Todas las fotos y dibujos son de Manuel Alejandro Navarrete Ledesma