



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Riqueza y distribución de Liliales en Puebla, México

Tesis que para obtener el título de

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

ÁNGEL ANZURES REYNOSO

DIRECTORA:

DRA. ETELVINA GÁNDARA ZAMORANO

Noviembre 2023



AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Etelvina Gándara Zamorano por permitirme ser parte de la familia LADEFUVE, por formarme académicamente, por todas sus enseñanzas, su paciencia, sus consejos y por compartir esa pasión por el mundo vegetal y la ciencia.

A mis revisores el Dr. Cesar Antonio Sandoval Ruiz y el Dr. José Lino Zumaquero Rios, por aceptar y tomarse el tiempo de revisar el trabajo además de brindarme sus comentarios y sugerencias.

A mis abuelos María Lozano Moreno y Magdiel Anzures Noguerón, son las personas que más respeto y admiro, por todos los consejos de vida que me han brindado, por ser “Padre y Madre” para toda la familia.

A mis padres Adriana Reynoso Torres y Aureliano Anzures Lozano, siempre me han apoyado y respetado en todas mis decisiones. Por ser siempre un hogar.

A mis hermanos Magdiel Anzures Reynoso, Laura Anzures Reynoso y Santiago Anzures Reynoso, por el apoyo brindado siempre.

A la familia Anzures-Lozano, por todos los momentos vividos en casa. Mis tías que siempre han sido una madre para todos nosotros.

A mis compañeros del laboratorio LADEFUVE con los que compartimos conocimiento y nos ayudamos mutuamente.

A mis hermanas académicamente Monserrat Lozada, Anayely Hernández, Denisse Hernández, Cintia Pérez, Diana Bortolotti, por compartir muchos momentos especiales.

A mis amigos de toda la universidad Jorge Cerón, Andrés Diaz, Francisco Cervantes, Brenda Morales y Andrés Juárez

A los curadores y técnicos de los herbarios HUAP y MEXU.

DEDICATORIA

A mi tía Ángela Anzures Lozano, quien nos enseñó que la vida se trata de ser feliz con los tuyos.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE CUADROS	5
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Orden Liliales.....	7
1.2. Historia taxonómica del orden Liliales	7
1.3. Familias de Liliales en México.....	8
1.3.1 Alstroemeriaceae	8
1.3.2. Liliaceae.....	9
1.3.3. Melanthiaceae	9
1.3.4. Smilacaceae	10
1.3.5. Familias de Liliales en Puebla.....	10
1.4. Biogeografía ecológica e histórica y sus aplicaciones	11
1.4.1. Estudios biogeográficos de Liliales	12
1.4.2 Estudios biogeográficos de plantas mexicanas.....	13
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. HIPÓTESIS.....	16
4. OBJETIVOS	16
4.1. Objetivo general:.....	16
4.2. Objetivos particulares:	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS	17
5.1. Área de estudio	17
5.2. Obtención de datos	18
5.3. Georreferenciación	20
5.4. Análisis de riqueza de especies	20
5.4.1. Provincias biogeográficas	20
5.4.2. Análisis de riqueza por tipo de vegetación.....	21
5.4.3. Análisis de riqueza por municipio	21
5.4.4. Análisis de riqueza por cuadrícula.....	21
5.4.5. Distribución en áreas naturales protegidas (ANP's).....	21
6. RESULTADOS	21
6.1. Registros y distribución geográfica de Liliales en Puebla	22

6.2.	Riqueza de especies por municipio.....	23
6.3.	Riqueza de especies por provincia biogeográfica.....	24
6.4.	Riqueza de especies por tipo de vegetación.....	27
6.5.	Riqueza de especies por cuadrícula	30
6.5.1.	Riqueza por número de diferentes clases.....	30
6.5.2.	Riqueza por número de diferentes observaciones	30
6.6.	Distribución en áreas naturales protegidas (ANPs)	30
7.	DISCUSIÓN	34
7.1.	Registros geográficos y distribución de Liliales de Puebla	34
7.2.	Riqueza de Liliales por Municipio.....	35
7.3.	Riqueza de Liliales por provincia biogeográfica.....	36
7.4.	Riqueza de especies por tipo de vegetación.....	37
7.5.	Riqueza de especies por cuadrícula	39
7.6.	Distribución en áreas naturales protegidas (ANPs)	39
8.	CONCLUSIONES	41
9.	BIBLIOGRAFÍA	43
10.	ANEXOS.....	59
10.1.	Anexo 1. Listado de abreviaturas utilizadas en el trabajo.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación geográfica de la zona de estudio, el estado de Puebla, en México.....	17
Figura 2.	Algunos especímenes de Liliales revisados del herbario HUAP. A) Smilax subpubescens, B) S. moranensis.....	19
Figura 3.	Porcentaje de registros por género de Liliales de Puebla.....	23
Figura 4.	Distribución geográfica de los géneros de Liliales por municipios y provincias biogeográficas en el estado de Puebla.....	25
Figura 5.	Distribución geográfica de especies de Liliales por municipios y provincias biogeográficas del estado de Puebla.....	26
Figura 6.	Distribución de géneros de Liliales por tipo de vegetación del estado de Puebla.....	28
Figura 7.	Distribución de especies de Liliales por tipo de vegetación del estado de Puebla.....	29
Figura 8.	Análisis de riqueza por número de diferentes clases, en el estado de Puebla.....	31
Figura 9.	Análisis de riqueza por número especies observadas, en el estado de Puebla.....	32
Figura 10.	Distribución de Liliales en áreas naturales protegidas en el estado de Puebla.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Diversidad taxonómica de Liliales registradas en Puebla, obtenida de herbarios, plataformas públicas y literatura especializada.....	20
Cuadro 2.	Especies de Liliales registradas para Puebla.....	22

Resumen

En el orden Liliales se encuentran plantas herbáceas, geófitas o trepadoras, que se caracterizan por tener órganos de almacenamiento de nutrientes como bulbos, cormos o rizomas; la presencia de nectarios perigonales en los tépalos es la sinapomorfía más representativa de los miembros de este linaje. En el territorio mexicano se han registrado 83 especies de ocho géneros y cuatro familias, de ellas gran parte son endémicas. En Puebla se tienen registradas 25 especies de cuatro familias y cinco géneros. La biogeografía ecológica es importante para conocer regiones que albergan la riqueza y endemismos de especies. Hasta el momento no se cuenta con estudios que aborden este aspecto sobre las Liliales de Puebla, y aunque se han realizado investigaciones biogeográficas de algunos géneros del orden en México, no se tiene un trabajo que englobe todos, lo que es para realizar propuestas de conservación y manejo de este grupo botánico. Con el objetivo de conocer la riqueza y analizar la distribución geográfica de las especies de este grupo en el estado de Puebla, se creó una base de datos para las 25 especies distribuidas en Puebla, con un total de 307 registros, los cuales se obtuvieron a partir de revisiones bibliográficas, bases de datos electrónicas y plataformas públicas y revisión de especímenes de algunos herbarios en físico o digitalizados. Se analizó la riqueza de especies por municipios, provincias biogeográficas, vegetación potencial, cuadrículas y áreas naturales protegidas. El género *Smilax* presentó el mayor número de registros, con más del 50%. Huauchinango fue el municipio en donde se encontraron la mayor cantidad de registros, seguido por San Nicolás de los Ranchos; en las provincias biogeográficas del Río Balsas y la Faja Volcánica Transversal se encontraron registros de los cinco géneros de Liliales, sin embargo, la provincia de la Sierra Madre Oriental es la que alberga la mayor riqueza de especies. El bosque de coníferas y encinos es el tipo de vegetación en donde se encontró la mayor riqueza del orden, seguido por el bosque tropical perennifolio. El análisis por cuadrícula mostró una celda con la mayor riqueza de especies ubicadas entre los municipios de Huitzilac de Serdán, Cuautempan, Zongozotla, Zapotitlán de Méndez y Camocuautla; además de seis celdas con alta riqueza de especies. Se encontraron tres celdas con la mayor riqueza de especies observadas, la que presentó el mayor de observaciones (20) se encuentra en los municipios de Huitzilac de Serdán, Huehuetla, Nauzontla, Xochitlán de Vicente Suárez y Zoquiapan, y únicamente se presentaron dos celdas con alta riqueza de especies observadas.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Orden Liliales

El orden Liliales es un grupo de plantas monofilético, agrupado dentro de las monocotiledóneas petaloides, con una distribución muy amplia que abarca principalmente zonas templadas en el este de Asia y en América del Norte, se pueden encontrar en diversos tipos de vegetación desde bosques caducifolios, templados, matorrales mediterráneos, prados alpinos y tundra ártica (Patterson & Givnish, 2002; Kim & Kim, 2018). Son plantas herbáceas, geófitas o trepadoras, se caracterizan por tener órganos de almacenamiento de nutrientes como bulbos, cormos o rizomas (Rudall et al., 2000). La mayoría de los taxones tienen hojas alternas, flores trímeras con tépalos llamativos, ovario tricarpelar en posición superior o inferior, los frutos pueden ser cápsulas o bayas (Freire-Fierro, 2004). El orden presenta algunas sinapomorfías, pero la de mayor impacto es la presencia de nectarios perigonales en los tépalos, a diferencia de otros linajes cercanos como las Asparagales que presentan nectarios septales (Rudall et al., 2000; Smets et al., 2000; Rudall & Eastman, 2002; Furness et al., 2015).

1.2. Historia taxonómica del orden Liliales

Actualmente, en el linaje se reconocen diez familias: Alstroemeriaceae, Campynemataceae, Colchicaceae, Corsiaceae, Liliaceae, Melanthiaceae, Petermanniaceae, Philesiaceae, Rhipogonaceae y Smilacaceae, que se distribuyen en 67 géneros, en los cuales están incluidas un poco más de 1,500 especies (APG IV, 2016; Do et al., 2020). Tiempo atrás el poder diferenciar a las Liliales respecto a las Asparagales, que es el orden botánico hermano; fue un tema controversial ya que al utilizar únicamente caracteres morfológicos se encontró que algunos taxones parecían ser un intermedio. Liliales y Asparagales 'inferiores' presentan caracteres compartidos, es por esta razón que el grupo ha pasado por diferentes clasificaciones taxonómicas (Rudall et al., 2000).

Desde la propuesta por Engler (1964) quien incluyó cinco subórdenes y 17 familias, convirtiéndose en uno de los grupos de monocotiledóneas más diversos, con estudios recientes se reorganizó y gran parte de los integrantes de esta clasificación pasaron

a formar parte de los órdenes Asparagales, Dioscoreales y Pandanales (Kim et al., 2013). En 1981 Cronquist en su sistema de clasificación propuso la subclase Liliidae en donde integró los órdenes Orchidales y Liliales, que contenía 13 familias, siendo de las más importantes, Agavaceae, Dioscoreaceae y Liliaceae. En 1985 Dahlgren presentó una clasificación en la que propone el superorden Liliiflorae, con cinco órdenes: Asparagales, Burmanniales, Dioscoreales, Liliales y Melanthiales, la mayoría de los linajes presentan características que probablemente reflejen retención de polimorfismos ancestrales al ser caracteres conservados de monocotiledóneas basales, por lo que se considera un grupo inestable; este autor considera a Alstroemeriaceae, Apostasiaceae, Calochortaceae, Colchicaceae, Cyripediaceae, Geosiridaceae, Iridaceae, Liliaceae, Orchidaceae y Uvulariaceae, como parte del orden Liliales. En 1992 Thorne clasificó a las Liliales en la subclase Lilidae en el superorden Lillanae, el cual estaba integrado por cinco órdenes, también dividió al orden en tres subórdenes; Iridineae, Liliineae y Melanthiineae, en donde se encontraban las familias; Alstroemeriaceae, Campynemataceae, Colchicaceae, Iridaceae, Liliaceae, Melanthiaceae y Trilliaceae. En la actualidad se sigue el sistema de clasificación de la “*Angiosperm Phylogenetic Group*” (APG III, 2009; IV, 2016) y se reconocen diez familias como parte del orden Liliales, sólo cuatro de ellas se distribuyen en México.

1.3. Familias de Liliales en México

1.3.1 Alstroemeriaceae

La familia Alstroemeriaceae fue reconocida en 1829 por Domortier, actualmente presenta ca. 200 especies, divididas en cuatro géneros; *Alstroemeria*, *Bomarea*, *Drymophyla* y *Luzuriaga* (Jara-Seguel et al., 2021). La familia se distribuye geográficamente en gran parte del continente americano, desde México hasta Argentina y Chile, aunque algunas especies están presentes en Oceanía (Hofreiter & Rodríguez, 2006; Kashihara et al., 2011). Son plantas herbáceas, geófitas, con estructuras aéreas durante la época de lluvias, erectas o enredaderas, con raíces tuberosas para almacenar nutrientes y agua y tallos subterráneos rizomatosos; hojas resupinadas, torcidas en la base o en la lámina; las flores son zigomorfas, las anteras son pseudobasifijas, el ovario es ínfero. Crecen en diversos hábitats; bosques de

niebla, pantanos y zonas desérticas. Varias especies de esta familia se utilizan de forma ornamental por sus flores llamativas y en algunos países se comen los tubérculos, como es el caso de *Bomarea edulis* (Bayer, 1998; Aagesen & Sanso, 2003; Jara-Seguel et al., 2021).

1.3.2. Liliaceae

La familia Liliaceae es una de las más importantes y distintivas del orden, actualmente cuenta con 15 géneros y poco más de 600 especies (APG IV, 2016). La familia se distribuye principalmente en el hemisferio norte, la mayor riqueza se concentra en la región de Norteamérica y el este de Asia (Kosenko, 1999). Son hierbas perennes, en algunos casos anuales; el tallo subterráneo puede ser un rizoma, bulbo o cormo y funcionan como estructura de almacenamiento; las hojas son simples en la mayoría de los casos opuestas; las flores presentan seis tépalos, seis estambres y un ovario súpero; el fruto generalmente es una baya y en algunas especies es una cápsula loculicida (Cronquist, 1981; Afroz & Hassan, 2008). Es un grupo con importancia comercial, distintas especies se cultivan de forma ornamental a nivel mundial por sus flores llamativas, las más representativas son las azucenas, lirios y tulipanes, por otra parte, se ha registrado que algunas de las especies son venenosas para el ganado (Fray & Chase, 2000; Afroz & Hassan, 2008; Kim & Kim, 2018).

1.3.3. Melanthiaceae

La familia Melanthiaceae descrita por Batsch en 1802, quien las separó de las Liliaceae haciendo énfasis en los carpelos apicales divergentes (Zomlefer et al., 2001). Engler en 1964 propone a la subfamilia Melanthioideae la cual estaba dentro de la Liliaceae, formada por seis subtribus. En 1985 Dahlgren y colaboradores proponen el orden Melanthiales usando los caracteres de nectarios perigonales, tépalos de color uniforme y dehiscencia de las anteras extrorsa. Tamura en 1998 reconoció a Melanthiaceae junto a Trilliaceae como parte del orden Liliales (Zomlefer et al., 2001; Kim et al., 2016). Actualmente, esta familia se encuentra dividida en cinco tribus, 17 géneros y cerca de 200 especies (APG, 2016; Kim et al., 2019). Geográficamente se distribuye principalmente en las zonas templadas de América del Norte y Asia. Son hierbas perennes; con rizomas o bulbos, en pocos casos presentan cormo; poseen

hojas basales grandes y hojas caulinares pequeñas; la mayoría presentan inflorescencia tipo racimo, sin embargo, algunas especies desarrollan panículas y espigas, las flores son actinomorfas (Tamura, 1998; Zomlefer et al., 2001; Kim et al., 2019). Algunas Melanthiaceae tienen importancia ornamental y medicinal, *Francia yunnanensis* ha sido utilizada en China para medicina tradicional, actualmente es una planta de gran importancia económica en dicha zona (Ji et al., 2020).

1.3.4. Smilacaceae

La familia Smilacaceae es la segunda más grande del orden Liliales, cuenta con un único género *Smilax* y con aproximadamente 350 especies, su distribución geográfica se considera cosmopolita, y se encuentra tanto en zonas tropicales como en zonas templadas (APG III, 2009; Gogoi et al., 2022). Son hierbas, arbustos o lianas; con rizomas tuberosos o estoloníferos; con hojas alternas con venación claramente reticulada, presentan zarcillos peciolares y espinas en los tallos; las flores son pistiladas, con nectarios perigonales en los tépalos; los frutos son bayas de color negro, púrpura o rojo (Conran, 1998; Qi et al., 2013;). Los miembros de esta familia son aprovechados para la elaboración de cerveza de raíz también conocida como zarzaparrilla en algunas partes de México, así como otras bebidas; además, los rizomas se han utilizado para la medicina tradicional en el tratamiento de la sífilis; también se usan las hojas, tallos y rizomas para hacer infusiones; en distintas partes del continente americano se utilizan los brotes jóvenes de los tallo o bien los rizomas como alimento o complementos culinarios (Ferrufino-Acosta, 2010).

1.3.5. Familias de Liliales en Puebla

En el estado de Puebla se han registrado 25 especies de cinco géneros agrupados dentro de cuatro familias botánicas. Aunque cabe mencionar que varios de estos géneros, fueron reconocidos en distintas familias dada la historia taxonómica tan controversial de este linaje (Espejo & López-Ferrari, 1994; Valdez 1996; Espejo & López-Ferrari, 2000; Frame et al., 2007; Villaseñor 2016).

1.4. Biogeografía ecológica e histórica y sus aplicaciones

La biogeografía es una disciplina que estudia los patrones y procesos que intervienen en la distribución geográfica de las especies en el espacio y el tiempo (Lomolino 2001; Morrone & Escalante 2016); así mismo se divide en dos: histórica y ecológica. La primera estudia los patrones en escalas territoriales grandes y a través del tiempo geológico, teniendo como objetivo la reconstrucción de secuencias en el origen de los organismos, cómo se movieron (dispersaron), la extinción de los grupos, analizar como los grandes eventos (deriva continental, cambios climáticos) afectaron la distribución de las especies. La segunda trata la distribución en una escala local y un tiempo breve, su objetivo es explicar modelos actuales y recientes, a partir de las interacciones entre los organismos y los componentes de su medio ambiente (O'Malley 2008; Morrone & Escalante 2016; Castro- Santiuste 2020).

Al estudiar la distribución de las especies podemos observar y conocer patrones en diferentes grupos los cuales comparten un espacio y tiempo determinado, esto como parte de distintos procesos históricos y ecológicos, más no como un proceso azaroso de distribución (Morrone, 2009); con lo que se puede obtener un mejor análisis sobre la biogeografía, además de conocer del probable origen o endemismo y parte de la historia evolutiva (Morrone, 2009; Gámez et al., 2012). Cabe mencionar que de acuerdo con Lomolino (2001), el cuantificar las especies presentes en un determinado sitio es denominado riqueza de especies y esta puede ser estimada en diferentes escalas.

Actualmente, se cuenta con herramientas que facilitan el análisis de los datos, por ello contar con la información de los herbarios y otras fuentes digitales ayuda a realizar estudios en donde se trabaja la diversidad biológica para una zona de forma más rigurosa, fácil, rápida y de un modo más económico (Paterson et al., 2000; Vargas-Amado et al., 2013). Estudiar la distribución de las especies no solo es importante para los temas de conservación, sino que toma un papel relevante en los estudios biogeográficos, ciertos autores (Cracraft 1982; Rosen 1988; Morrone 1994) hacen mención de la importancia de estos trabajos para el estudio de la biogeografía histórica, conocer el área de endemismo es un propósito el cual se enfoca la biogeografía, pues son considerados como sitios probables de origen y diversificación

(Handerson 1991; Suárez-Mota & Villaseñor, 2011).

La mayor parte de este tipo de investigaciones resaltan la importancia de conocer la distribución geográfica de los linajes y señalan que; al saber dónde se encuentra la mayor diversidad, se puede identificar los sitios de endemismos (Hijmans & Spooner, 2001; Parthasarathy et al., 2006; Scheldeman et al., 2007; Suárez-Mora & Villaseñor, 2011; Carrasco-Ortiz et al., 2019). Concretamente sobre biogeografía vegetal, Willis y colaboradores (2003) hacen un llamado sobre la necesidad de generar conocimientos de la distribución de plantas, ya que esta ayudará a tener un entendimiento de cómo se comportan los linajes y si es necesario crear estrategias de conservación para ciertos grupos.

1.4.1. Estudios biogeográficos de Liliales

Con el fin de conocer el origen e interpretar la biogeografía histórica del orden Liliales, Givnish y colaboradores (2016) realizaron una investigación con la cual propusieron que las Liliales se separaron de otras monocotiledóneas hace aproximadamente 124 Ma., cuyo origen debió de ser en Australia, tiempo después se comenzaron a diversificar y formaron los grupos que hoy reconocemos y clasificamos en las diferentes familias en el Cretácico Temprano (~113 Ma). Los autores señalaron que es posible que Melanthiaceae y Liliaceae se originaron en América del norte hace 104 Ma. y 67 Ma., respectivamente. Así mismo, Givnish y colaboradores (2016) concluyeron que es difícil inferir el origen Smilacaceae, dado que la distribución geográfica es muy amplia en la actualidad y se carece de registro fósil.

Por otro lado, Kim y colaboradores (2019), llevaron a cabo un estudio sobre la historia biogeográfica de Melanthiaceae, cuyos resultados apoyan la hipótesis de que la familia se originó en Norteamérica, y que algunos taxones migraron hacia el este de Asia posteriormente, los cuales ocupan zonas en el hemisferio norte; los autores concluyen que el estrecho de Bering pudo haber sido un factor determinante para este proceso al funcionar como un puente que ayudó a los procesos de migración del linaje.

En cuanto a estudios de biogeografía ecológica de Liliales, Hofreiter y Rodríguez (2006) realizaron una revisión de la familia Alstroemeriaceae en Perú y áreas vecinas,

con el objetivo de describir la historia taxonómica, hacer un listado de géneros presentes, además de describir los patrones de distribución geográfica actual del grupo, como resultado reportaron 23 especies de *Alstroemeria*.

En Puebla, Espinoza-Pérez y colaboradores (2021) llevaron a cabo un estudio sobre uso y distribución potencial de la especie *Smilax aristolochiifolia* en la región del Totonacapan de Puebla, especie de importancia económica, alimenticia y medicinal, obteniendo como resultado que la abundancia de la especie en los últimos 50 años ha tenido un decremento, lo cual puede deberse a distintas causas tanto climáticas como por el uso excesivo del recurso y modelaron la distribución potencial, para ayudar a recolectarla en el futuro.

1.4.2 Estudios biogeográficos de plantas mexicanas

Referente a estudios de biogeografía ecológica de plantas mexicanas, en 1991 Villaseñor realizó el primer trabajo, al investigar los patrones de distribución de la tribu Heliantheae (Asteraceae) en México, en el que abarcó aproximadamente el 20% del territorio, cuantificó la riqueza y buscó centros de endemismo, sin usar algún Sistema de Información Geográfica (SIG).

Desde entonces, han sido relativamente pocos los trabajos de este tipo, en los que han analizado y descrito los patrones de diversidad, distribución geográfica y riqueza a distintas escalas, ya sea estatal, nacional o continental de especies de algunos linajes que representan ocho de las 297 familias botánicas de México, como de Asparagaceae que se analizaron los géneros *Echeandia* (Ortiz-Brunel et al., 2021) en América y *Manfreda* en Guerrero (Castro-Castro et al., 2020). Asteraceae de la que se estudiaron las compuestas endémicas de Oaxaca (Suárez-Mota & Villaseñor (2011), los géneros *Cosmos* (Vargas-Amado et al., 2013) y *Dahlia* (Carrasco-Ortiz et al., 2019) de México. El género *Sedum* de Crassulaceae en la Sierra Madre del Sur (Aragón-Parada et al., 2019). Iridaceae con el género *Sisyrinchium* en la Sierra Madre del Occidental (Ávila-González et al., 2022) y la tribu Tigridieae en Norteamérica (Munguía-Lino et al., 2015). Lamiaceae de la que se ha publicado el género *Salvia* en Michoacán (Cornejo-Tenorio & Ibarra-Manríquez, 2011) y las labiadas de Durango (González-Gallegos et al., 2022). *Calochortus* de México de la familia Liliaceae

(García Martínez et al., 2018). Pinaceae de Puebla (Ramos-Dorantes et al, 2017). Finalmente, de Solanaceae se han estudiado *Solanum* (Rodríguez, 2015) y *Lycianthes* de México (Anguiano-Constante et al., 2018).

Por otro lado, otros trabajos han incluido más taxones, aunque se han concentrado solo las monocotiledóneas geófitas de México (Cuellar & Sosa, 2016) y de Mesoamérica (Sosa & Loera, 2017). Además en 2013 Cruz-Cárdenas y colaboradores estudiaron los patrones de riqueza y distribución geográfica de las plantas vasculares de México y encontraron que en el norte del país se encuentran las zonas con menor riqueza de especies, mientras que las zonas de mayor riqueza de especies están en la Faja Volcánica Transversal; y en 2016 Villaseñor al realizar el listado de plantas vasculares de México encontró un patrón similar y señaló que aún falta esfuerzo de muestreo y estudios sobre biogeografía de plantas mexicanas.

2. JUSTIFICACIÓN

Como se mencionó anteriormente, son pocos los linajes de plantas mexicanas de los que se han realizado estudios sobre biogeografía ecológica; y a pesar de que en las últimas décadas se han incrementado, gracias al desarrollo de software de Sistemas de Información Geográfica, especialmente de aquellos de acceso libre; aún falta esfuerzo de muestreo como lo han señalado algunos autores.

En cuanto al estado de Puebla, hasta el momento sólo se ha publicado la riqueza y distribución geográfica las Pinaceae y el modelado de la distribución potencial del nicho ecológico de una especie de *Smilax*, que además representa el único estudio relacionado con la biogeografía de las Liliales en el estado y el segundo en el país.

El realizar este tipo de estudios conlleva a conocer las áreas que albergan la mayor riqueza y endemismos de los organismos, con lo que se pueden realizar propuestas de manejo y conservación de recursos bióticos; es por ello que con este trabajo se busca determinar y conocer la distribución de Liliales en el estado de Puebla, ya que puede ser la base para futuros estudios relacionados con temas de biogeografía histórica, de sistemática y sobre todo de conservación biológica al tener especies utilizadas para elaboración de bebidas o alimentos, o bien como ornamentales que carecen de un manejo adecuado, dentro del linaje.

3. HIPÓTESIS

- Debido a las preferencias climáticas de las Liliales, que son plantas geófitas, la diversidad y la riqueza de las especies de este linaje en Puebla, se distribuye en el bosque de coníferas y encinos que es un tipo de vegetación con estacionalidad muy marcada, distribuido principalmente a lo largo de la Sierra Norte y la Faja Volcánica Transversal.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general:

- Conocer y analizar la distribución geográfica de las especies del orden Liliales en el estado de Puebla.

4.2. Objetivos particulares:

- Identificar las zonas y provincias biogeográficas que albergan la mayor riqueza de Liliales en Puebla.
- Determinar las preferencias climáticas de las especies de estudio conforme a los tipos de vegetación en el que se distribuyen en el estado.
- Conocer los patrones de distribución geográfica para realizar propuestas de manejo y conservación de las especies de Liliales.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

Puebla es un estado que se encuentra en la parte centro-sur del país, sus coordenadas geográficas abarcan 20°50'N, 17°52'S, 96°43'E y 99°04'O (Fig. 1), cuenta con una extensión territorial de 34 290 km², que representa el 1.7 % del espacio total nacional (CONABIO, 2011). Se reportan cinco provincias biogeográficas para el estado de Puebla que son: Faja Volcánica Transversal, Río Balsas, Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y Veracruzana (Morrone 2017).

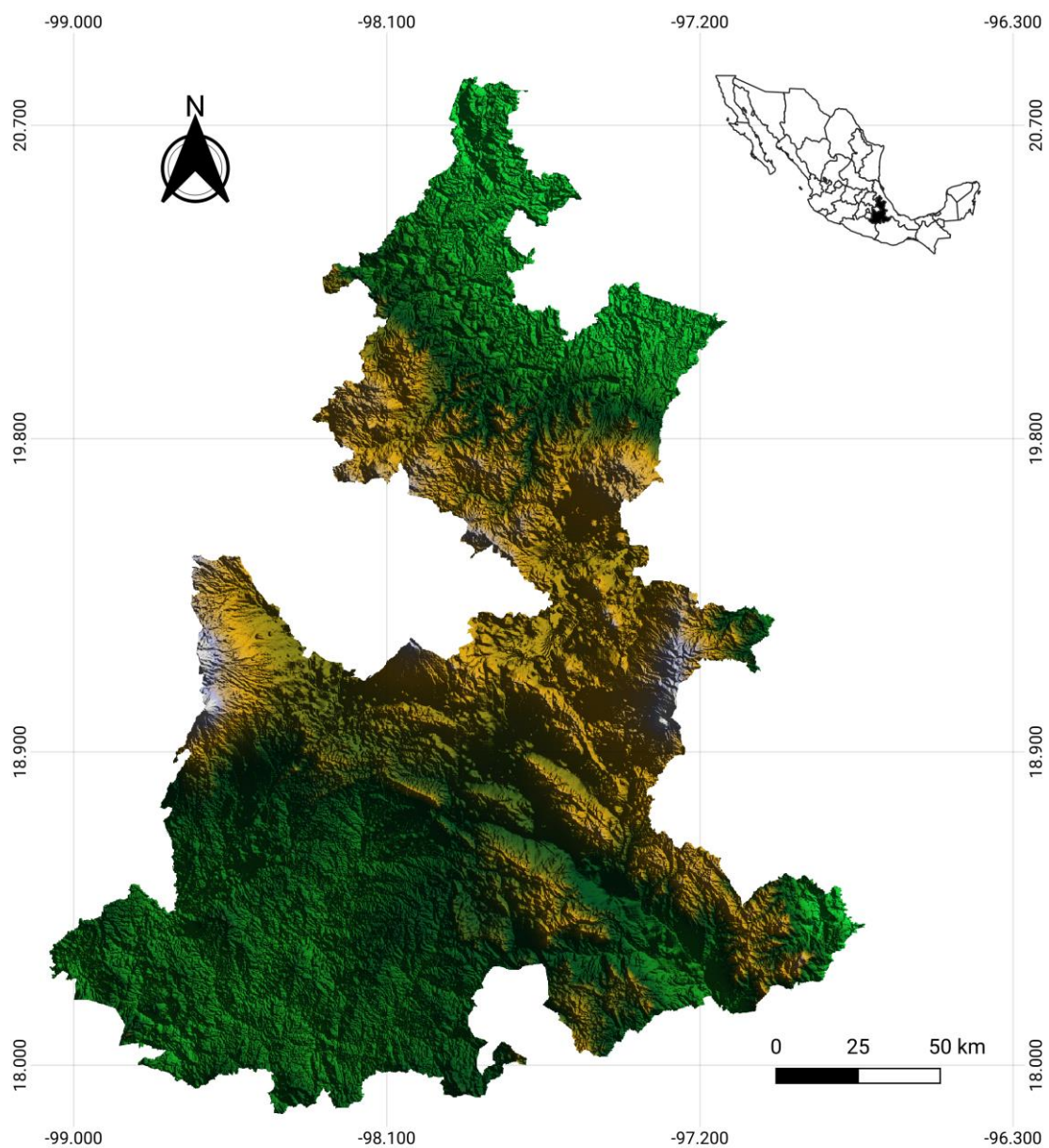


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio, el estado de Puebla, en México.

Se presentan distintos tipos de climas, esto debido a los cambios de altitud y relieve que se encuentran a lo largo del territorio, el clima templado es el que domina, seguido del cálido, también se pueden encontrar climas semisecos, secos, semifríos y fríos. En cuanto a la vegetación, encontramos bosques, selvas y matorrales, existen tres tipos principales de bosques: de coníferas que se localizan principalmente en la zona norte del estado, de encino que se distribuye principalmente por la Sierra Madre Oriental (SMOr) y la Faja Volcánica Transversal y mesófilo de montaña, en la SMOr. Los matorrales se encuentran al occidente. Las selvas son perennifolia, caducifolia y subcaducifolia (CONABIO, 2011).

5.2. Obtención de datos

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva, para obtener literatura como artículos científicos, libros; que incluyó la combinación de los nombres de cada uno de los géneros, la familia y el orden combinados con la palabra Puebla (en inglés y español), como palabras clave; además se consultaron los fascículos de floras de regiones adyacentes como Flora de Veracruz, Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Flora de Guerrero y Flora del Bajío. Por otro lado, se llevó a cabo una búsqueda en diferentes herbarios virtuales como el Herbario Nacional (MEXU), la plataforma *Trópicos* del herbario *Missouri Botanical Garden* (MOBOT), el portal de datos de la red de herbarios *SEINet* y bases de datos en plataformas *Global Biodiversity Information* (GBIF), en donde se obtuvieron todos los datos a nivel mundial de 83 especies registradas en México por Villaseñor (2016). Además, se consultaron especímenes en físico de los herbarios HUAP, MEXU y XAL (Fig. 2). Se utilizó el programa Microsoft Excel (2017) para la elaboración de la base de datos, teniendo en cuenta diferentes categorías como datos taxonómicos; orden, familia género y especies. Datos curatoriales; colector, número de colecta, determinador, fecha de determinación, duplicado y fecha de cotejo. Datos geográficos; país, estado, municipio, localidad, latitud, longitud, altitud. Rasgos ecológicos, fecha de colecta, vegetación, fenología, suelo, caracteres y especies asociadas.



Figura 2. Algunos especímenes de Liliales revisados del herbario HUAP. A) *Smilax subpubescens*, B) *S. moranensis*.

Se extrajeron las bases de datos de las plataformas públicas usando dichas categorías, se obtuvo un total de 66,085 registros a nivel mundial. Posteriormente, se realizó un primer filtrado para seleccionar solo los datos pertenecientes a México y los que carecían del país, para llevar a cabo una búsqueda más a fondo y tratar de completar los datos faltantes. El total de datos para México fue de 10,950. Luego se revisaron los registros que carecían de datos geográficos para complementar la información no incluida en las bases de datos públicas. Una vez finalizada esta etapa, se usó un nuevo filtro para trabajar únicamente con los registros pertenecientes al estado de Puebla. Para la plataforma de GBIF se tomaron en cuenta los registros que cumplieran una de las dos condiciones siguientes: que estuvieran respaldados por un ejemplar de herbario o bien, determinados por un investigador de grado alto, en el caso de ser obtenidos desde la plataforma de Naturalista; esto para eliminar registros de especies que causarán duda taxonómica, por lo que la base final para el estado de Puebla es de 307 registros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diversidad taxonómica de Liliales registradas en Puebla, obtenida de herbarios, plataformas públicas y literatura especializada.

	Familia	Género	Especie	No. registros obtenidos para este trabajo
Mundial	10	67	~ 1,500	66,085
México	4	8	83	10,950
Puebla	4	5	25	307

5.3. Georreferenciación

Al usar el software de SIG los datos se trabajaron en un formato de grados decimales, para ello los campos de latitud y longitud que no estuvieran en este sistema fueron tratados y convertidos en dicho formato en el programa Microsoft Excel (2017). Para las colectas que carecían de coordenadas geográficas, pero que contaban con una descripción de la localidad se utilizó el protocolo *Spatial Analysis Georeferencing Accuracy* (SAGA) de Bloom y colaboradores (2017). Por lo tanto, los registros se georreferenciaron manualmente utilizando *Google Earth Pro* (Google, 2023), y las bases de datos del INEGI (2017), para la búsqueda de localidades. Algunos ejemplares no contaban con información clara sobre su ubicación geográfica, por lo que estos datos fueron excluidos para evitar sesgos.

5.4. Análisis de riqueza de especies

5.4.1. Provincias biogeográficas

Se analizaron los 307 registros obtenidos de las 25 especies de Liliales presentes en Puebla, en el programa de SIG de QGIS 3.26, se utilizaron las capas de las provincias biogeográficas de Morrone (2017). El autor propone 14 provincias biogeográficas para el territorio mexicano, mientras que en el estado de Puebla convergen cinco de estas que son: la Faja Volcánica Transversal (FVT), Río Balsas (RB), Sierra Madre Oriental (SMOr) Sierra Madre del Sur (SMS) y Veracruzana. Se colocaron todos los registros en forma de puntos para poder observar su distribución.

5.4.2. Análisis de riqueza por tipo de vegetación

Para estimar la riqueza por tipo de vegetación, se utilizó la capa vegetación potencial de CONABIO proyectada a partir de Rzedowski (1990), en la que el país se divide en diez tipos de vegetación, mientras que en el estado de Puebla se registran seis tipos: acuática y subacuática, bosque tropical caducifolio, bosque de coníferas y encinos, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical perennifolio y matorral xerófilo.

5.4.3. Análisis de riqueza por municipio

Para calcular la riqueza por municipios se utilizó la capa de Marco Geoestadístico de diciembre (INEGI, 2022), se exportaron los puntos y se contabilizó el número de especies y registros por cada municipio.

5.4.4. Análisis de riqueza por cuadrícula

En este análisis se hizo en del programa Diva-Gis 7.5 (Hijmans et al., 2004), para ello se calculó el tamaño de celda de acuerdo con el método propuesto por Suárez-Mota y Villaseñor (2011), se tomó el 10% del valor obtenido para el tamaño de celda, que en este caso fue de 12 x 12 km. Por lo que resultó que el estado de Puebla se dividió en 67 filas y 67 columnas, se realizaron los análisis de riqueza por número de diferentes clases y riqueza por número de diferentes observaciones (Carrasco-Ortiz et al., 2019).

5.4.5. Distribución en áreas naturales protegidas (ANP's)

Se elaboró un mapa en el software QGIS 3.26 de presencia-ausencia utilizando las capas de Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales, Comunitarias y Privadas de México 2020 y Áreas Naturales Protegidas Federales de México, enero 2023 y se analizó la riqueza de especies en dichas zonas. En el estado de Puebla se encuentran siete ANPs federales y seis ANPs, estatales, municipales, ejidales, comunitarias y privadas (CONABIO, 2020; CONANP, 2023).

6. RESULTADOS

6.1. Registros y distribución geográfica de Liliales en Puebla

En la base de datos se concentraron los registros de las 25 especies de Liliales reportadas para Puebla (Cuadro 2), con un total de 307. *Smilax* es el género más diverso y colectado, con 192 registros, *Bomarea* con 54, *Calochortus* con 29, *Schoenocaulon* con 26 y *Anticlea* presentó solo seis (Fig. 3).

Cuadro 2. Especies de Liliales registradas para Puebla.

<i>Anticlea frigida</i> (Schltdl. & Cham.) Zomlefer & Judd
<i>A. virescens</i> (Kunth) Rydb.
<i>Bomarea acutifolia</i> (Link & Otto) Herb.
<i>B. edulis</i> (Tussac) Herb.
<i>Calochortus barbatus</i> (Kunth) J.H. Painter
<i>C. nigrescens</i> Ownbey
<i>C. pringlei</i> B.L. Rob.
<i>Schoenocaulon calcicola</i> Greenm.
<i>S. comatum</i> Brinker
<i>S. framei</i> Zomlefer & Judd
<i>S. madidorum</i> Frame
<i>S. pringlei</i> Greenm.
<i>S. rzedowskii</i> Frame
<i>S. tenorioi</i> Frame
<i>S. tenuifolium</i> (M. Martens & Galeotti) B.L. Rob. & Greenm.
<i>Smilax aristolochiifolia</i> Mill.
<i>S. bona-nox</i> L.
<i>S. glauca</i> Mart.
<i>S. laurifolia</i> L.
<i>S. mollis</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.
<i>S. moranensis</i> M. Martens & Galeotti
<i>S. purpusii</i> Brandegee
<i>S. spinosa</i> Mill.

<i>S. subpubescens</i> A. DC.
<i>S. velutina</i> Killip & C.V. Morton

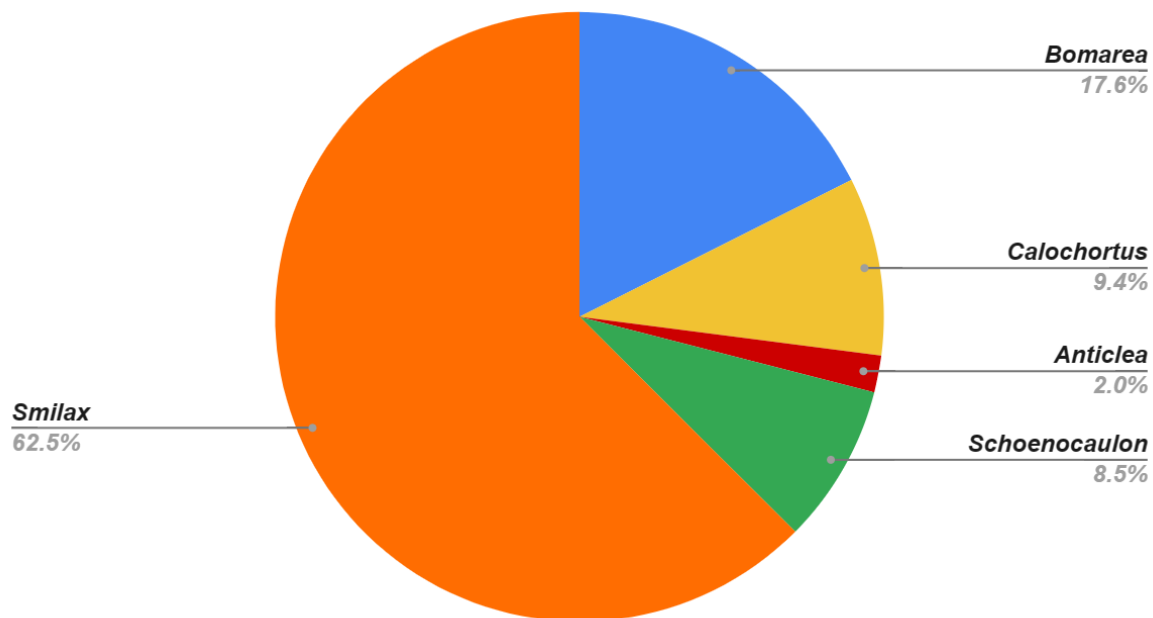


Figura 3. Porcentaje de registros por género de Liliales de Puebla.

6.2. Riqueza de especies por municipio

Se encontró que las especies de Liliales se distribuyen en 79 (36.4%) de los 217 municipios del estado de Puebla. Los puntos marcados en el mapa (Fig. 4) muestran una zona de concentración en la parte norte del estado, siendo Huachinango el que tuvo la mayor cantidad de registros (22). Sin embargo, el segundo municipio con más registros (16) es San Nicolás de los Ranchos que se encuentra en la zona este del estado, en donde la concentración de registros es mucho menor a la de la zona norte. El tercer municipio con una gran cantidad de registros (14) fue Zacapoaxtla, de la zona norte del estado. En 13 (5.99%) municipios se encontraron al menos dos registros, en 31 (14.28%) solo se cuenta con uno y existen 138 (63.6%) en los que no se cuenta ningún registro de especies del orden.

A nivel género, *Anticlea* presenta una distribución geográfica restringida, ya que solo se encuentra en tres municipios, San Nicolás de los Ranchos es el que presenta el mayor número de registros (4). *Calochortus* está presente en 14 municipios, Ocoyucan

y San Andrés Cholula son los que más colectas tienen, ocho y seis, respectivamente. *Schoenocaulon* está en 15 municipios, de los cuales Caltepec es el que registra más ejemplares (5). *Bomarea* es uno de los dos géneros más ampliamente distribuidos, se presenta en 24 municipios, principalmente en Huauchinango y Teziutlán con siete y seis registros, respectivamente. Por último, *Smilax*, muestra la distribución más amplia, en 49 municipios, Huauchinango, Ahuacatlán, Huehuetla y Zacapoaxtla son los que concentran el mayor número de colectas con 15, 14, 11 y 11 respectivamente (Fig. 5).

6.3. Riqueza de especies por provincia biogeográfica

Los análisis mostraron que en las provincias Faja Volcánica Transversal y Río Balsas se encuentran presentes especies de los cinco géneros; sin embargo, la provincia que alberga la mayor riqueza de especies es Sierra Madre Oriental con 123 registros, seguida por FVT con 114, mientras que RB y Veracruzana tienen números similares con 30 y 28 respectivamente. Por su parte SMS fue la provincia biogeográfica que menor cantidad de ejemplares, presentó con 12 (Fig. 4).

El análisis de riqueza de especies por provincia biogeográfica a nivel género (Fig. 5), mostró que *Anticlea* solo está presente en dos provincias: FVT (5) y SMS (1); *Calochortus* y *Schoenocaulon*, tienen presencia en las provincias: FVT (23, 16), RB (5, 6) y SMS (1, 4). *Smilax* y *Bomarea*, están presentes en las cinco provincias: Veracruzana (27, 1), RB (6, 3), SMOOr (104, 19), SMS (1, 5), FVT (54, 26).

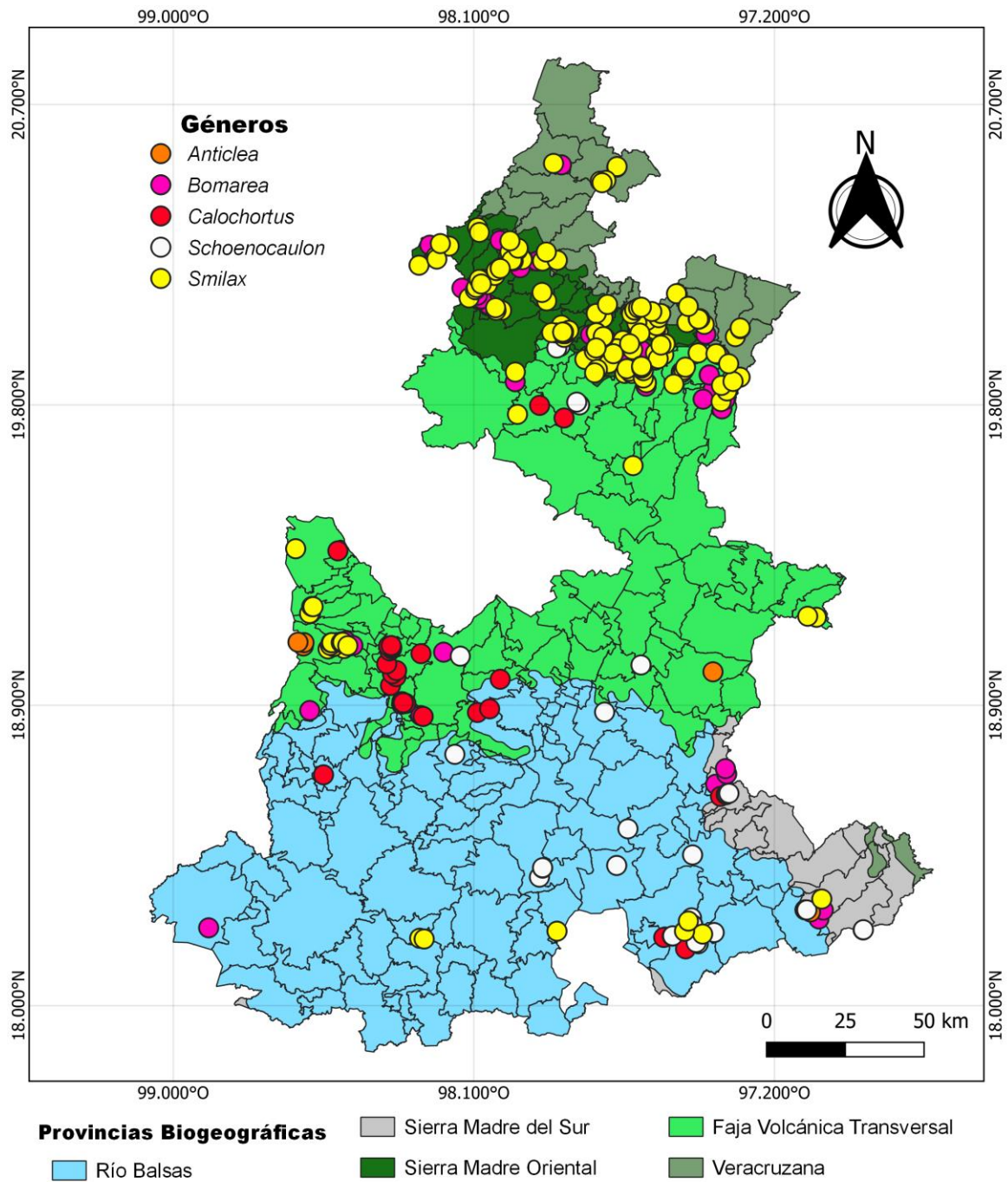


Figura 4. Distribución geográfica de los géneros de Liliales por municipios y provincias biogeográficas en el estado de Puebla.

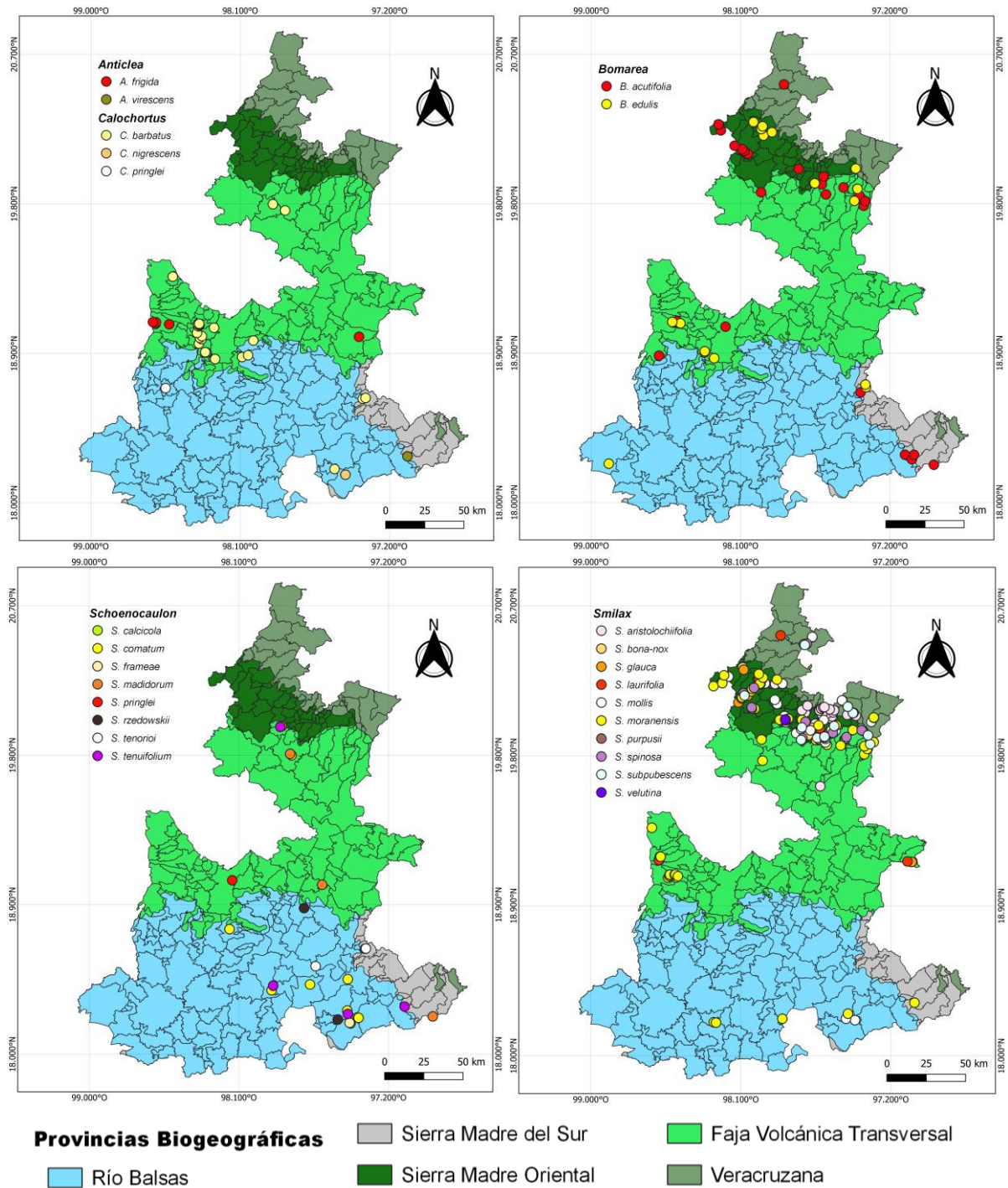


Figura 5. Distribución geográfica de especies de Liliales por municipios y provincias biogeográficas del estado de Puebla.

6.4. Riqueza de especies por tipo de vegetación

La riqueza de las Liliales en Puebla se concentra en cinco de los seis tipos de vegetación (Fig. 6) presentes en el estado. En el bosque de coníferas y encinos se encuentra la mayor riqueza del orden con 154 registros (50.1%) están presentes los cinco géneros. El bosque tropical perennifolio presenta 63 registros (20.5%), los mismos que el bosque mesófilo de montaña, aunque este último abarca un área pequeña, por lo que concentra un mayor número de registros de Liliales en un territorio mucho menor comparado con los otros tipos de vegetación. El matorral xerófilo presentó 22 registros (7.1%) y el bosque tropical caducifolio fue el tipo de vegetación que presentó el menor número de registros 5 (1.6%).

A nivel género *Smilax* está presente en cinco tipos de vegetaciones, el bosque de coníferas y encinos (39.1%) es donde se encontró la mayor riqueza del grupo; el bosque tropical perennifolio (29.7%) y bosque mesófilo de montaña (28.2%) tuvieron número de registros similares; finalmente en el bosque tropical caducifolio (1.5%) y el matorral xerófilo (1.5%) se tiene el menor número de registros. *Bomarea* muestra patrones similares; se distribuye en los cinco tipos de vegetación y el bosque de coníferas y encinos (68.5%) concentra la mayor riqueza, seguido por el bosque mesófilo de montaña (16.6%) y el bosque tropical perennifolio (11.1%); además de que el bosque tropical caducifolio (1.9%) y el matorral xerófilo (1.9%) son los que presentan menos registros. *Calochortus* solo se registra en tres tipos de vegetación, el bosque de coníferas y encinos (86.2%) fue el de mayor riqueza, en menor cantidad el matorral xerófilo (10.3%) y el bosque tropical caducifolio (3.5%). *Schoenocaulon* se concentra solo en el matorral xerófilo (57.7%) y en el bosque tropical perennifolio (42.3%). El género *Anticlea* solo está presente en el bosque de coníferas y encinos (100%) (Fig. 7).

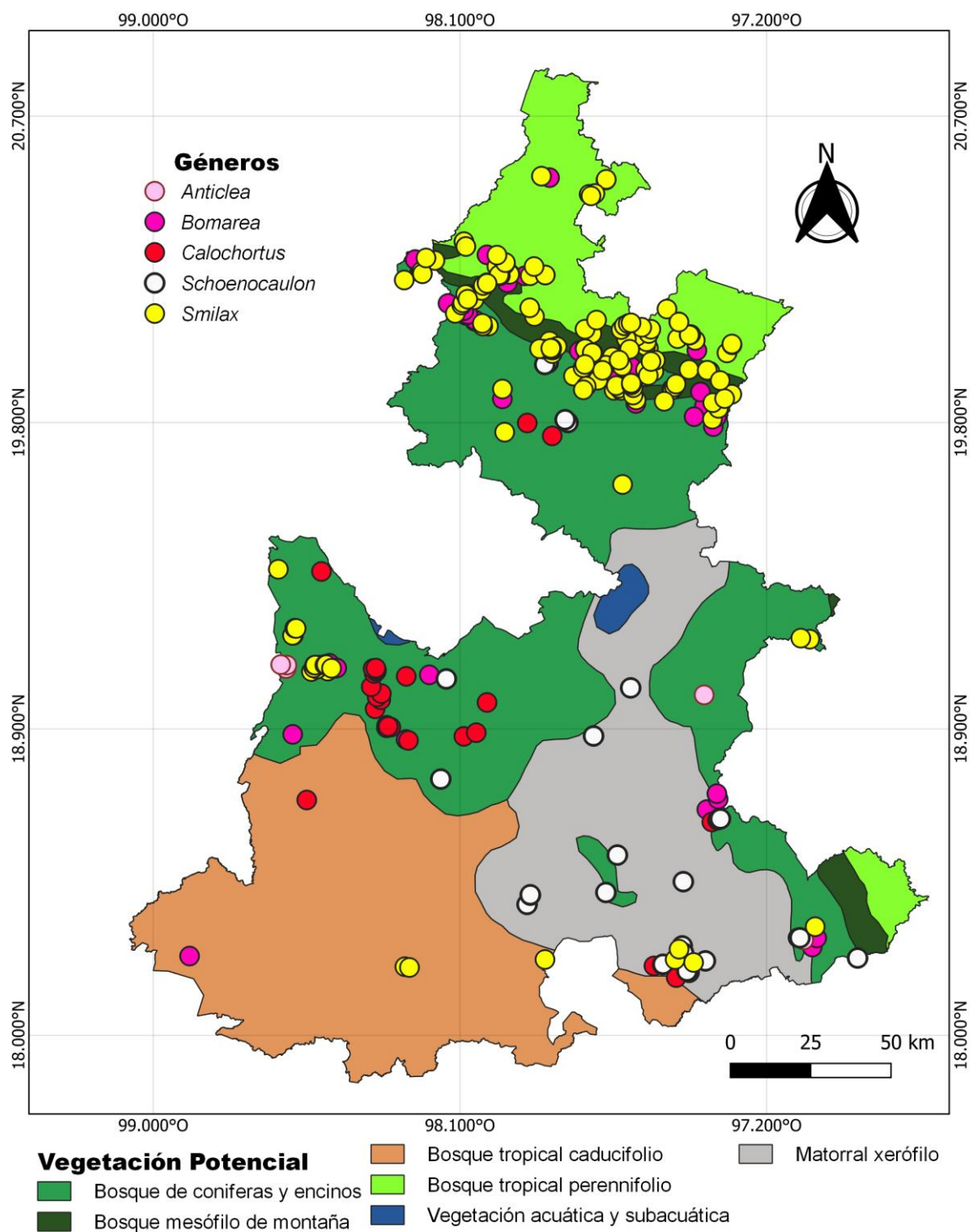


Figura 6. Distribución de géneros de Liliales por tipo de vegetación del estado de Puebla.

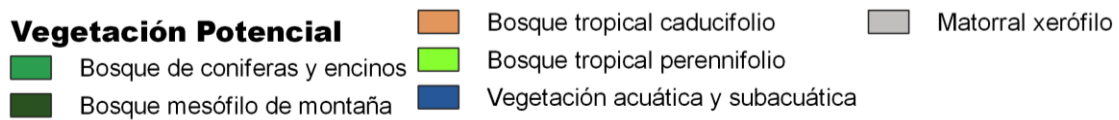
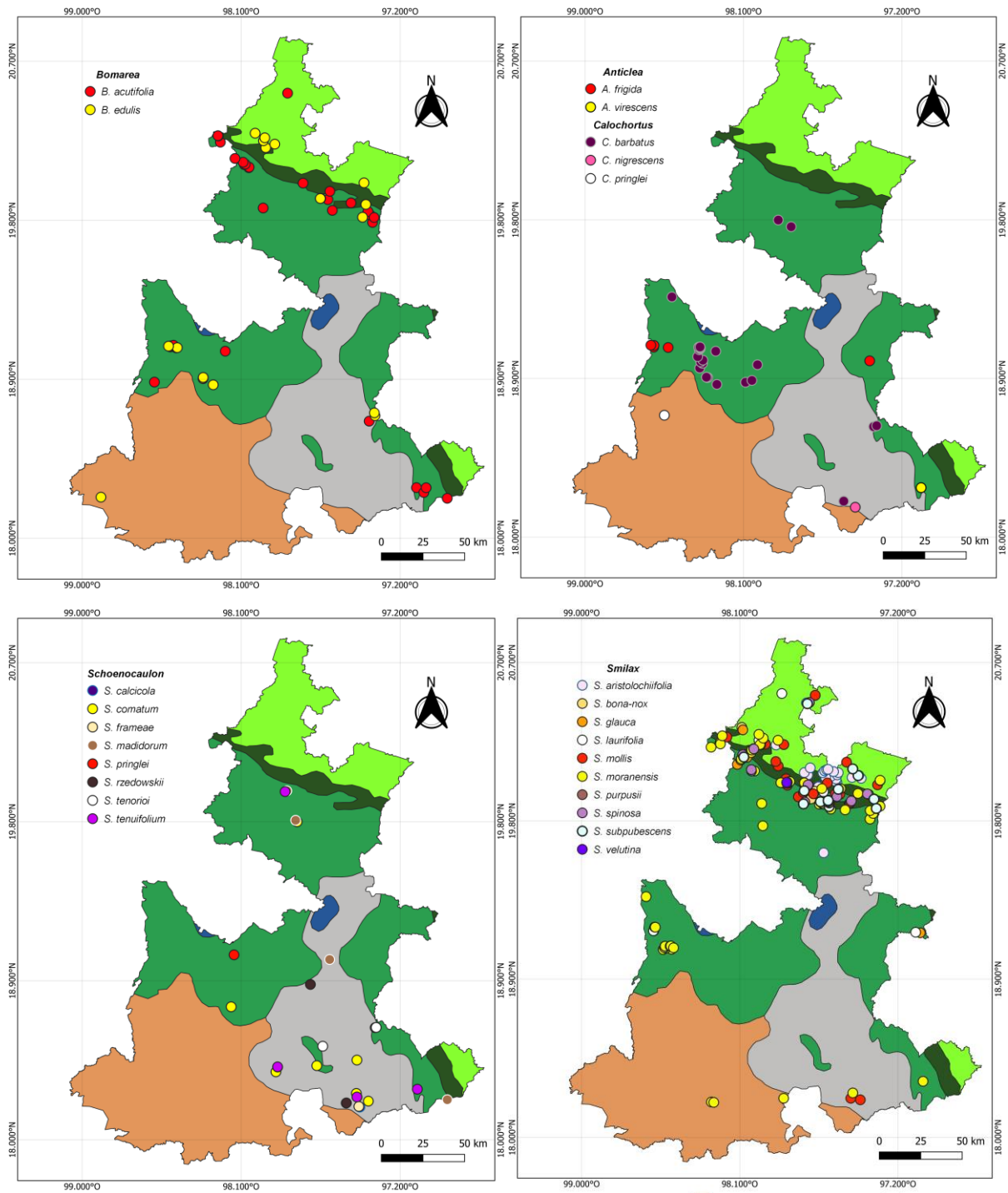


Figura 7. Distribución de especies de Liliales por tipo de vegetación del estado de Puebla.

6.5. Riqueza de especies por cuadrícula

6.5.1. Riqueza por número de diferentes clases

Este análisis mostró una celda con la mayor riqueza de especies (9), en ella se registran: *Bomarea acutifolia*, *Smilax aristolochiifolia*, *S. bona-nox*, *S. glauca*, *S. laurifolia*, *S. mollis*, *S. moranensis*, *S. spinosa* y *S. subpubescens* y se encuentra en la parte norte del estado, en los municipios de Huitzilán de Serdán, Cuautempan, Zongozotla, Zapotitlán de Méndez y Camocuautla. Además, se encontraron seis celdas que muestran una riqueza alta (6-7) y están ubicadas cerca de la celda con mayor riqueza. Se localizó solo una celda con riqueza media (5). La mayor parte de cuadrículas corresponden a lugares con poca riqueza (1-2) y se distribuyen en gran parte del estado (Fig. 8).

6.5.2. Riqueza por número de diferentes observaciones

En este análisis se encontraron tres celdas con la mayor riqueza (17-20), la celda uno, tiene el número mayor de observaciones (20), las especies que se encuentran son: *Bomarea acutifolia*, *B. edulis*, *Smilax aristolochiifolia*, *S. bona-nox*, *S. laurifolia*, *S. mollis*, *S. moranensis* y se ubica en los municipios de Huitzilán de Serdán, Huehuetla, Nauzontla, Xochitlán de Vicente Suárez y Zoquiapan. La segunda celda que concentra una gran riqueza, número de observaciones (19) se encuentra en la parte noreste del estado y las especies presentes son: *Bomarea edulis*, *Smilax bona-nox*, *S. glauca*, *S. moranensis*, *S. subpubescens*. También se observaron dos zonas con alta riqueza (13-16), cercanas a las áreas con mayor riqueza observada, y se tienen seis celdas con riqueza media (9-12) y la mayoría de ellas presenta una riqueza baja, es decir un número bajo de observaciones (1-4) estas se distribuyen en gran parte del estado (Fig. 9).

6.6. Distribución en áreas naturales protegidas (ANPs)

Se encontró que las Liliales se distribuyen en algunas de las 13 ANP's federales, estatales, municipales, ejidales, comunitarias o privadas del estado de Puebla (Fig. 10), siendo la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, en la que se registra una alta riqueza de especies (6-7), en Tehuacán-Cuicatlán se registran tres celdas con riqueza

de especies media baja (3-4) y en la Montaña de la Malinche se presenta otra celda con el mismo tipo de riqueza de especies, cabe resaltar que en donde se concentra la mayor riqueza de especies de Liliales no existen ANPs.

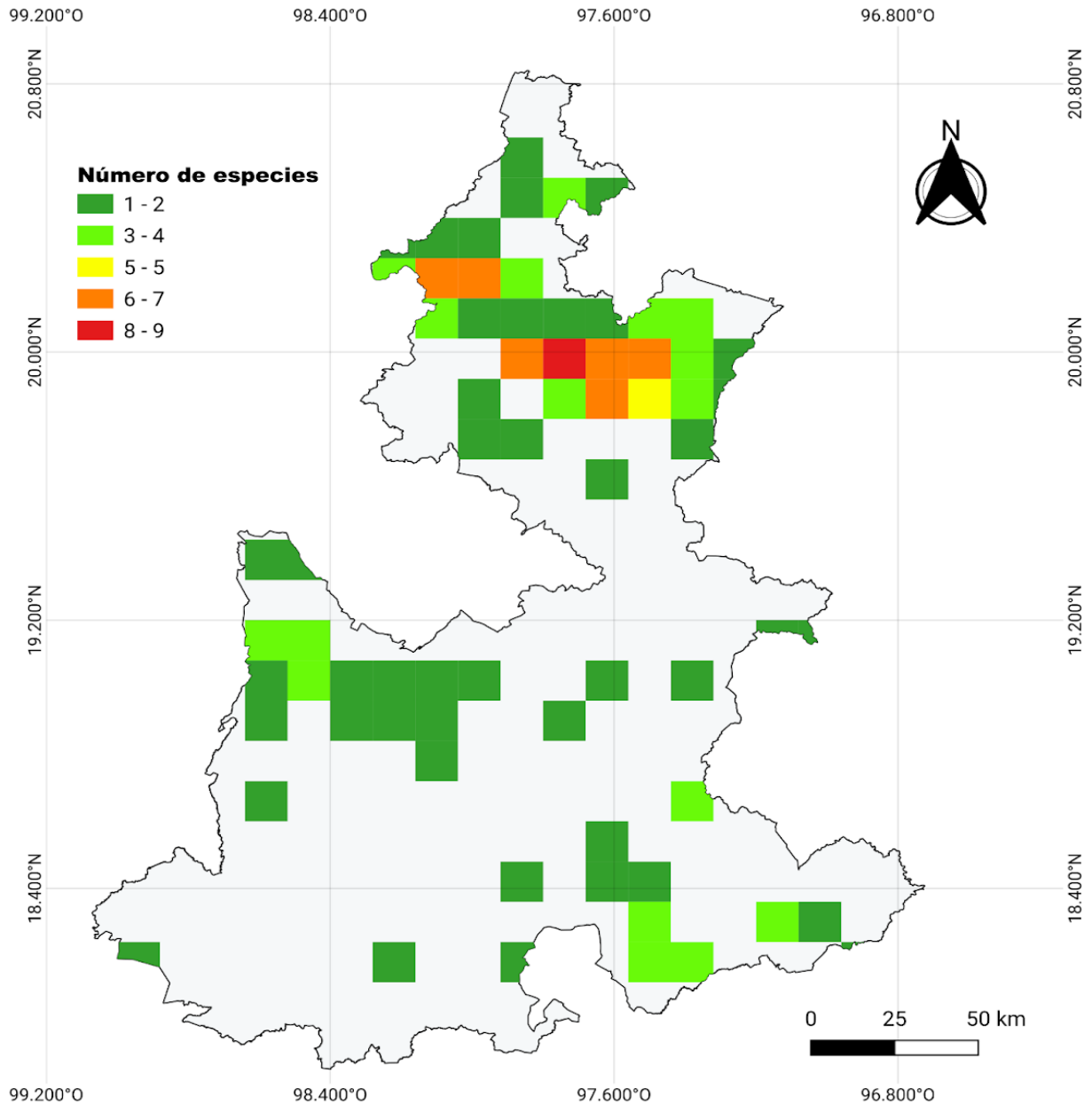


Figura 8. Análisis de riqueza por número de diferentes clases, en el estado de Puebla.

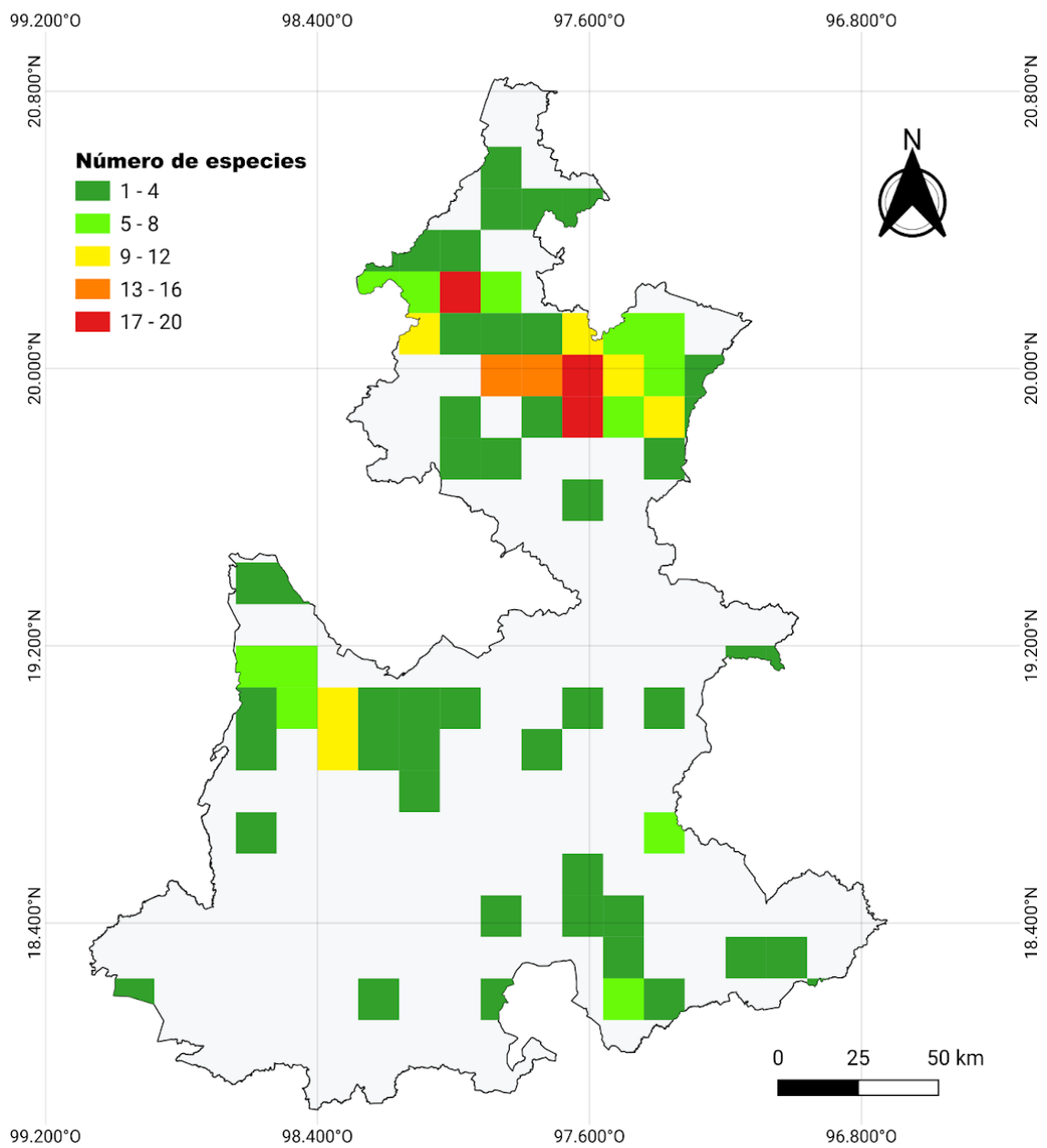


Figura 9. Análisis de riqueza por número especies observadas, en el estado de Puebla.

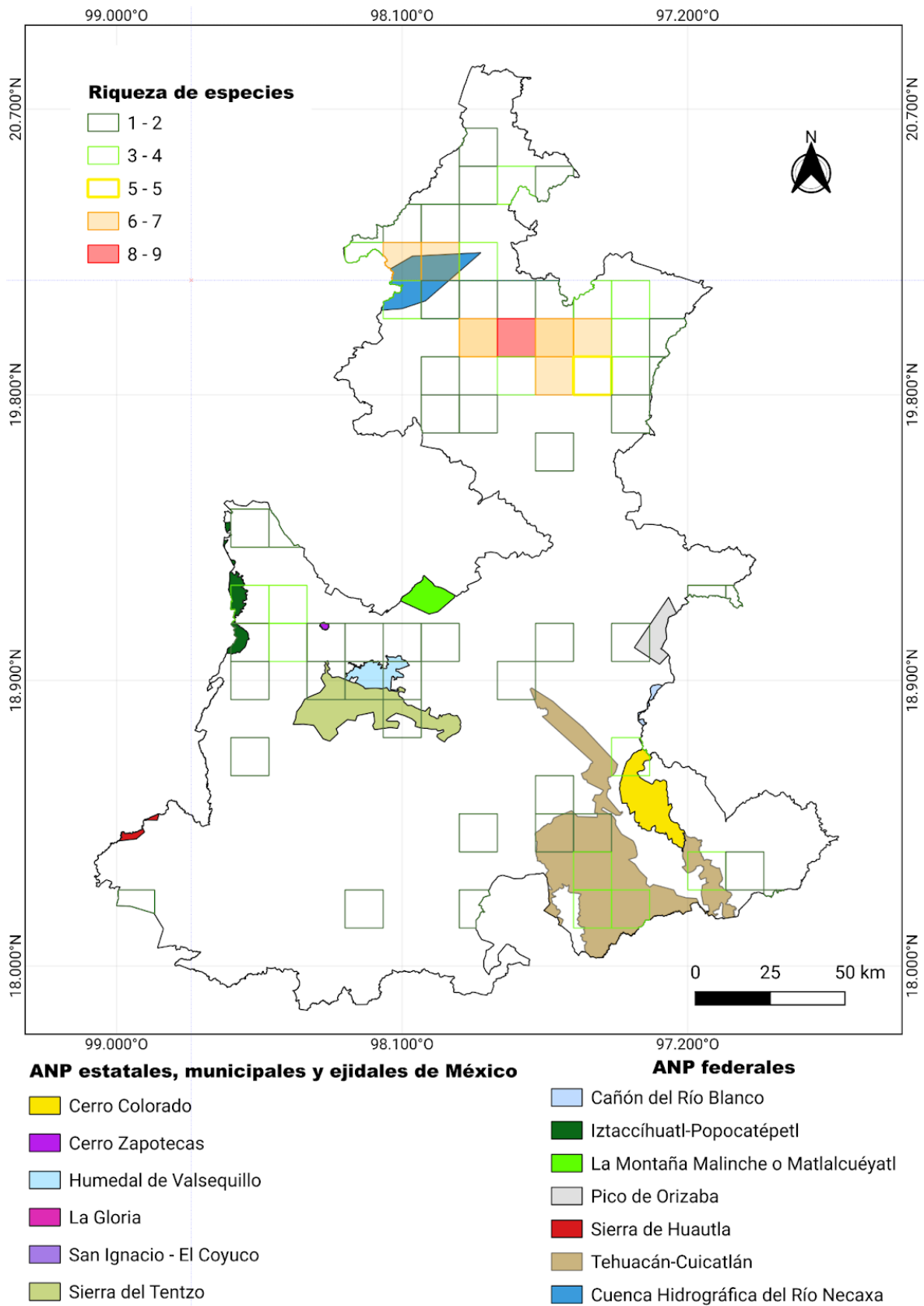


Figura 10. Distribución de Liliales en áreas naturales protegidas en el estado de Puebla.

7. DISCUSIÓN

7.1. Registros geográficos y distribución de Liliales de Puebla

En cuanto a los resultados de la base de datos, se obtuvo un total de 472 registros, al depurar los datos se excluyeron 165 por determinaciones taxonómicas erróneas a nivel especie o género, o bien por duplicidad de localidades, por lo que solo trabajó con 307 registros, representando un 65% del total de datos iniciales, esto para realizar los análisis correspondientes. En estudios previos sobre distribución y riqueza de especies de plantas, se utilizaron bases de datos de tamaño similar, lo que sugiere que la base de datos es coherente con dichos trabajos (García-Rubio et al., 2015; Ramos-Dorantes et al., 2017; Anguiano-Constante et al., 2018; Aragón-Parada et al., 2019; Castro-Castro et al., 2020), en dichas investigaciones obtuvieron como resultados patrones de distribuciones interesantes de los grupos botánicos estudiados, de igual forma existen estudios en donde el número de registros es muy grande comparado con el obtenido en el presente estudio (Suarez-Mota & Villaseñor 2011; Vargas-Amado et al., 2013; Munguía-Lino et al., 2015; Carrasco-Ortiz et al., 2019; González-Gallegos et al., 2022). Cabe mencionar que la diferencia en los tamaños de las bases de datos de los distintos trabajos puede atribuirse a diferentes factores, como el taxón de estudio, el esfuerzo de coleta y el tamaño de territorio geográfico (Ortiz-Brunel, 2019). Para el caso particular del orden Liliales en Puebla, la variación de datos obtenidos con otros grupos puede estar relacionada con la biología del grupo (Rudall et al., 2000), ya que el género del que más se obtuvieron registros (*Smilax*) es una planta geófita perenne (Qi et al., 2013; Dong et al., 2020), mientras que los demás géneros son geófitas estacionales, lo que influye en las colectas botánicas, debido a que estas últimas están disponibles en campo por poco tiempo, depende de la época y constancias de las lluvias, por lo que es importante considerar estos factores para el muestreo. Por otro lado, un número o porcentaje bajo de registros puede representar un sesgo de muestreo o bien preferencias microclimáticas específicas como lo demuestran algunos de los análisis aquí realizados que se discuten a continuación.

7.2. Riqueza de Liliales por Municipio

Al analizar cómo se distribuye o representa la riqueza de Liliales a nivel municipio en el estado de Puebla se muestran patrones interesantes y se observa que se han registrado especies de Liliales en solo 79 (36%) de los 217 municipios del estado. Estos resultados de Liliales son parecidos a otros mostrados en estudios previos sobre la biogeografía ecológica de otras plantas mexicanas, lo que muestra una visión amplia de la distribución de plantas en el país. Al comparar los resultados del presente estudio con investigaciones previas, se encontraron algunas similitudes. Por ejemplo, Castro-Castro y colaboradores (2020) informaron que el género *Manfreda*, un linaje de monocotiledóneas nativas de México, solo se ha registrado en el 40% de los municipios de Guerrero. En contraste, González-Gallegos y colaboradores (2022) encontraron que las especies de Lamiaceae se registran en el 84% de los municipios de Durango, lo que indica una distribución más amplia en comparación con Liliales en Puebla. Estas diferencias pueden atribuirse a diversos factores, por ejemplo, la división política en cada estado, ya que Puebla está dividido un número mayor de municipios en comparación con Guerrero y Durango (INEGI, 2022); o bien a la extensión territorial, que desempeña un papel crucial, ya que estados más grandes como Guerrero y Durango pueden albergar una mayor diversidad de condiciones ambientales y tipos de vegetación, lo que podría influir en la distribución y riqueza de las especies. Además, el esfuerzo de muestreo desempeña un papel importante; municipios con un historial de colectas y observaciones más extenso pueden mostrar una mayor riqueza de especies. Sin embargo, otro factor relevante es la preferencia de las especies con ciertos biotipos o en ciertos hábitats. Cera-Romero y colaboradores (2010) señalaron que las epífitas vasculares en Hidalgo se registraron en el 70.2% de los municipios, lo que se relaciona con las preferencias ambientales de este grupo de plantas y su dependencia de la presencia de árboles o arbustos específicos. En el caso de las Liliales en Puebla, la mayoría son plantas geófitas estacionales, lo que significa que tienen requerimientos microclimáticos específicos y solo se encuentran durante pocos días al año (Rudall et al., 2000; Patterson & Givnish, 2002; Furness et al., 2015 Kim & Kim, 2018). Esta característica puede explicar por qué se tienen registros en solo un 36% de los municipios de Puebla.

Es importante resaltar que algunos municipios destacan por concentrar la mayor riqueza de especies de Liliales; en primer lugar, se encuentra Huachinango con 22

registros (7.2%), esto puede explicarse por las condiciones presentes ya que convergen distintas variables favorables como el bosque mesófilo de montaña, la altitud que oscila entre 1,000-1,500 msnm y el alto porcentaje de humedad relativa debido a que durante gran parte del año hay presencia de lluvias; variables que resultan favorables para la presencia de Liliales en esta zona se presenta el (Stanford-Camargo et al., 2017). El segundo lugar es San Nicolás de los Ranchos, esto puede estar relacionado con los tipos de vegetación y las condiciones climáticas; ya que en esta zona se presenta un clima de transición entre el clima frío de Sierra Negra y el clima templado más cercano a la ciudad de Puebla, por lo que se percibe semifrío, con lluvias en verano y se encuentra en su mayoría bosque de coníferas y encinos (López, 2013).

7.3. Riqueza de Liliales por provincia biogeográfica

Al analizar la distribución de especies Liliales en las diferentes provincias biogeográficas (Morrone, 2017), se observaron patrones interesantes en cuanto a la distribución y riqueza de especies. La Sierra Madre Oriental (SMOr) se destaca como una región con una notable riqueza de especies de Liliales, albergando un total de 123 registros, lo que representa el 40% de todos los taxones reportados en el estado de Puebla, durante este estudio. Esto puede atribuirse, en parte, a la topografía accidentada de la provincia biogeográfica, por lo que se encuentran una variedad de microclimas y tipos de vegetación como bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña, bosque de coníferas y encinos.

La provincia biogeográfica Faja Volcánica Transversal (FVT) también exhibe una alta riqueza de Liliales, con 114 (37.1%) registros. La topografía heterogénea de esta provincia y la presencia de microclimas adecuados la convierten en un hábitat propicio para estas plantas. Investigaciones anteriores (Mastretta-Yañez et al., 2015; Cuellar-Martínez y Sosa, 2016), han señalado la importancia de la FVT como un refugio para la biodiversidad y como un corredor para el flujo genético de monocotiledóneas geófitas y otros grupos de plantas vasculares, esto respalda los hallazgos del presente estudio. No obstante, es importante destacar que la FVT no fue la provincia con la mayor riqueza de Liliales, a pesar de las condiciones propicias para este linaje. Esto podría deberse a la falta de exploraciones botánicas en esta zona, lo que resalta la

necesidad de futuras investigaciones para comprender completamente el potencial en términos de diversidad de Liliales.

En lo que respecta a la distribución geográfica por género, observamos que sólo dos provincias biogeográficas, la FVT y la RB, albergan representantes de los cinco géneros de Liliales, presentes en Puebla, que como se señaló anteriormente, son plantas monocotiledóneas herbáceas geófitas que presentan preferencias por climas estacionales y que solo pueden colectarse durante ciertos días de la época de lluvias, dado que la mayor parte de las estructuras vegetativas son subterráneas, mientras que otras estructuras vegetativas aéreas así como las estructuras florales emergen sólo cuando las condiciones climáticas son las idóneas (Tribble et al., 2021), y la topografía de la FVT alberga un gran número de microclimas con los requerimientos necesarios para este tipo de plantas, lo cual concuerda con los resultados presentados por Cuellar-Martínez y Sosa (2016). Un análisis más detallado del género *Calochortus*, ha revelado que algunas provincias, como la FVT, poseen un alto número de taxones endémicos (García-Martínez, 2018). Estudios anteriores han destacado la importancia de las regiones montañosas en la diversificación de las especies vegetales debido al aislamiento geográfico entre las poblaciones (Suarez-Mota et al., 2013).

Lo anterior sugiere diferencias en las preferencias climáticas y ambientales de estos géneros. Por ejemplo, *Anticlea* puede ocupar hábitats como bosques montañosos con temperaturas bajas (Palmquist et al., 2015); *Bomarea* es un grupo que se puede encontrar en distintos tipos de vegetación como bosque de coníferas y encinos; bosque tropical perennifolio, mesófilo de montaña entre otros, y del que se ha demostrado la capacidad para sobrevivir en diferentes condiciones (Hofreiter & Tillich, 2002; Hofreiter, 2006); *Calochortus* crece principalmente en bosques de coníferas y encinos, pero no es exclusivo de esta zona, en México se ha registrado en bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo (Henss et al., 2013; García-Martínez, 2018), en Puebla exhiben su mayor riqueza en la FVT, mientras que *Schoenocaulon* se encuentra principalmente en RB donde se puede encontrar el matorral xerófilo, sin embargo, Zomlefer y colaboradores (2008) mencionan que se puede encontrar en más tipos de hábitats como zonas montañosas y climas más húmedos, y *Smilax* en la SMOr teniendo preferencias por climas subtropicales hasta tropicales (Cameron & Fu, 2006; Chen, 2006; Qi et al., 2013).

7.4. Riqueza de especies por tipo de vegetación

El orden Liliales se distribuye en cinco de los seis tipos de vegetación de Puebla, patrones similares han sido reportados por otros autores como Anguiano-Constante y colaboradores (2018) que al estudiar el género *Lycianthes* en México encontraron que se distribuye en nueve tipos de los diez tipos de vegetación.

En cuanto a los tipos de vegetación, destaca que la mayor riqueza de especies de Liliales de Puebla se encuentra en el bosque de coníferas y encinos, que abarca una extensa parte del territorio y tiene una presencia significativa en la FVT y en la SMS, en este tipo de vegetación crecen ocho de las 25 especies que representan a los cinco géneros. Estos resultados, pueden deberse a que las especies de los cinco géneros aquí estudiados son geófitas, que se desarrollan preferentemente en ecosistemas con estacionalidad muy marcada (Hofreiter & Tillich, 2002; Cameron & Fu, 2006; Chen, 2006; Hofreiter, 2006; Henss et al., 2013; Qi et al., 2013; Palmquist et al., 2015; García-Martínez, 2018). Este patrón coincide con investigaciones anteriores, por ejemplo, con Munguía-Lino y colaboradores (2015) quienes encontraron que la vegetación de coníferas y encinos alberga el mayor número de Tigridaeae, que es un linaje de monocotiledóneas geófitas filogenéticamente cercano a las Liliales. Al igual que algunas dicotiledóneas, Cornejo-Tenorio e Ibarra-Martínez (2011), mencionaron que el bosque de coníferas y encinos en la FVT alberga la mayor cantidad de especies el género *Salvia*. El género *Sedum* muestra un patrón similar, en climas templados y bosque de coníferas y encinos (Aragón-Parada et al., 2019); por otro lado, González-Gallegos y colaboradores (2022) reportan que la familia Lamiaceae tienen preferencias por el bosque de coníferas y encinos. El bosque tropical perennifolio, ocupa el segundo lugar en cuanto a riqueza de Liliales en el que crecen siete especies de los géneros *Bomarea* y *Smilax*, que son linajes representativos tanto del bosque de coníferas y encinos como del bosque tropical perennifolio (Hofreiter & Tillich, 2002; Cameron & Fu, 2006; Chen, 2006; Hofreiter, 2006 Qi et al., 2013).

7.5. Riqueza de especies por cuadrícula

El análisis de riqueza de especies por cuadrícula mostró información importante sobre la distribución de la riqueza de especies de Liliales en Puebla. En la parte norte del territorio, se identificó una zona con una alta diversidad de algunos de los géneros, concretamente en la región norte y noreste se identificaron tres celdas específicas con la mayor concentración de especies. Este patrón de riqueza de especies por celda, es similar al reportado en otras investigaciones; por ejemplo, Vargas-Amado y colaboradores (2013) identificaron que la riqueza significativa del género *Cosmos* en México se concentra en tres celdas; Munguía-Lino y colaboradores (2015) resaltaron que la mayor riqueza de la tribu Tigridieae de México, está en cuatro celdas. En los resultados aquí generados se encontró que en las celdas de mayor riqueza convergen tanto distintos tipos de vegetación como provincias biogeográficas; al igual que lo reportado en investigaciones de otros grupos de geófitas mexicanas que de acuerdo con García-Martínez (2018) y con Munguía-Lino y colaboradores (2015), la mayor riqueza de especies de *Calochortus* y de Tigridieae México se concentra en celdas en las que convergen distintos tipos de vegetación y varias provincias biogeográficas; en las cuales al igual que para las Liliales se presentan las condiciones geográficas y climáticas que hacen que estos lugares concentren una gran riqueza de especies.

7.6. Distribución en áreas naturales protegidas (ANPs)

Aunque los resultados aquí obtenidos mostraron que hay presencia de Liliales en la mayoría de las ANPs del estado, la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa muestra dos celdas con alta riqueza, algunos de los taxones son utilizados por los humanos dada su importancia en la medicina tradicional, la alimentación y la economía local (Ferrufino-Acosta, 2010; Chacón et al., 2014; Kim & Kim, 2018; Espinoza-Pérez et al., 2021) sin tener un manejo adecuado ni algún tipo de cultivo; además han sido objeto de un estudio limitado desde estos aspectos.

La NOM-059-SEMARNAT-2010 enlista tres especies de Liliales de Puebla que se encuentran sujetas a protección especial: *Calochortus nigrescens*, *Schoenocaulon pringlei* y *Anticlea virescens* (= *Zigadenus virescens*). Sin embargo, existe un grupo de especies poco estudiadas, como *Schoenocaulon frameae*, *S. rzedowskii* y *S. tenorioi*, que carecen de registros adecuados tanto a nivel estatal como nacional.

Estas especies se sitúan fuera de las categorías de protección establecidas por la normativa vigente, lo que subraya la necesidad imperante de llevar a cabo investigaciones adicionales para determinar su categoría de riesgo y contribuir así a su conservación.

8. CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta importante la cual se puede utilizar para observar y analizar los patrones de distribución geográfica de los taxones, ya que muestran cómo se comportan las especies, brindan una representación gráfica de las zonas de riqueza y endemismo.

Se deben tener en cuenta las limitaciones del estudio, pues algunos ejemplares de colecciones biológicas no están determinados, o bien contienen localidades repetidas o ambiguas; por lo cual estos datos no son considerados para evitar sesgo dentro de los análisis. Además, en este estudio se trabajó con el orden Liliales, que al ser la mayoría geófitos estacionales lo que dificulta poder colectar, como se ha mencionado anteriormente, esto depende en gran parte de las lluvias, por lo tanto, debe de tomarse en cuenta al interpretar los resultados, por otro lado, un número o porcentaje bajo de registros puede representar un sesgo de muestreo o bien preferencias microclimáticas específicas.

La distribución de Liliales en el estado de Puebla, se concentra en la parte norte del estado, en la Sierra Madre Oriental (SMOr), y en los bosques de coníferas y encinos; sin embargo, en esta zona convergen otras provincias biogeográficas y otros tipos de vegetación, lo cual hace que sea una región con alta diversidad biológica de distintos grupos de plantas como se mencionan en el trabajo, a lo largo de esta superficie no se encuentra ninguna área natural protegida, por lo que debería considerarse un lugar prioritario. Esto podría deberse a que, es un grupo poco estudiado, ya que solo uno de los cinco géneros (*Smilax*) es de interés económico y medicinal, además las especies de este grupo se pueden encontrar en cualquier época del año, y crecen en el bosque mesófilo de montaña y bosque de coníferas y encinos; los cuales están representados en la zona norte de Puebla, estos sitios son conocidos por la alta diversidad vegetal, e históricamente han sido lugares muy explorados. Las especies de los otros cuatro géneros son geófitas cuyas estructuras aéreas emergen solo durante pocos días de la época de lluvias, no representan especies de interés económico y salvo *Bomarea*, la mayor parte de estas especies se distribuyen en bosque tropical caducifolio y algunas en matorral xerófito, lo anterior puede estar

influyendo a que el sesgo de muestreo histórico, al menos en este grupo de monocotiledóneas, sea menor en el sur que en el norte del estado de Puebla.

Dado que la mayor riqueza de Liliales de Puebla se concentra en una zona del norte del estado, en donde convergen tres tipos de vegetación; bosque tropical perennifolio, bosque mesófilo de montaña y bosque de coníferas y encinos; y que este mismo patrón se observa en la parte sureste del estado (Fig. 6), lo que sugiere que este sitio reúne las características adecuadas para la presencia de Liliales, aunque región no se encuentran registros por lo que podría ser una zona potencial para la exploración y posibles colectas de este grupo.

Algo que llama la atención es que, de los ejemplares estudiados para obtener los registros, más de la mitad se colectaron de 1900 a los 2000, por lo que este trabajo demuestra que es de gran relevancia realizar estudios sobre distribución y riqueza de especies, pero también el continuar con esfuerzos de muestreos taxonómicos, sobre todo explorar el sur de Puebla, dado que aún se percibe un sesgo de muestreo histórico, por tipo de vegetación y regional.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Aagesen, L., & Sanso, A. M. (2003). The phylogeny of the Alstroemeriaceae, based on morphology, *rps16* intron, and *rbcl* sequence data. *Systematic Botany*, 28(1), 47-69. <https://doi.org/10.1043/0363-6445-28.1.47>
- Afroz, S., & Hassan, M. A. (2008). Systematic studies in the family Liliaceae from Bangladesh. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*, 15(2), 115-128. <https://doi.org/10.3329/bjpt.v15i2.1741>
- Anguiano-Constante, M. A., Munguía-Lino, G., Ortiz, E., Villaseñor, J. L., & Rodríguez, A. (2018). Riqueza, distribución geográfica y conservación de *Lycianthes* serie *Meizonodontae* (Capsiceae, Solanaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(2), 516-529. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.2340>
- APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- APG. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105-121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- Aragón-Parada, J., Carrillo-Reyes, P., Rodríguez, A., & Munguía-Lino, G. (2019). Diversidad y distribución geográfica del género *Sedum* (Crassulaceae) en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90. e902921 <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2921>
- Ávila-González, H., González-Gallegos, J. G., Munguía-Lino, G., & Castro-Castro, A. (2022). The genus *Sisyrinchium* (Iridaceae) in Sierra Madre Occidental, Mexico: a new species, richness and distribution. *Systematic Botany*, 47(2), 319-334. <https://doi.org/10.1600/036364422X16512564801641>

- Bayer, E. (1998). Alstroemeriaceae. En: Kubitzki, K. (Ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants. III Flowering Plants · Monocotyledons. Liliales (except Orchidaceae)*. 79-83. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-03533-7_10
- Bloom, T. D., Flower, A., & DeChaine, E. G. (2018). Why georeferencing matters: Introducing a practical protocol to prepare species occurrence records for spatial analysis. *Ecology and Evolution*, 8(1), 765-777.
<https://doi.org/10.1002/ece3.3516>
- Bodin, S. S., Kim, J. S., & Kim, J. H. (2016). Phylogenetic inferences and the evolution of plastid DNA in Campynemataceae and the mycoheterotrophic *Corsia dispar* DL Jones & B. Gray (Corsiaceae). *Plant Molecular Biology Reporter*, 34, 192-210. <https://doi.org/10.1007/s11105-015-0914-6>
- Calderón de Rzedowski, G., & Rzedowski Rotter, J. (1994). Familia Smilacaceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo 26. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro.
<https://doi.org/10.21829/fb.226.1994.26>
- Cameron, K. M., & Fu, C. (2006). A nuclear rDNA phylogeny of *Smilax* (Smilacaceae). *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, 22(1), 598-605. DOI: 10.5642/aliso.20062201.47
- Carrasco-Ortiz, M., Munguía-Lino, G., Castro-Castro, A., Vargas-Amado, G., Harker, M., & Rodríguez, A. (2019). Species richness, geographic distribution and conservation status of the genus *Dahlia* (Asteraceae) in Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, (126) e1354.
<https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1354>
- Castro-Santiuste, S. (2020). Análisis biogeográfico de la clase Dacrymycetes (Fungi, Basidiomycota) en México. Facultad de Ciencias, UNAM. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3577925>

- Castro-Castro, A., Zavala-Pérez, J. G., & Cruz-Durán, R. (2020). The genus *Manfreda* (Asparagaceae; Agavoideae) in Guerrero, Mexico: richness, distribution and the description of a new species. *Botanical Sciences*, 98(4), 612-623. <https://doi.org/10.17129/botsci.2601>
- Ceja-Romero, J., Mendoza-Ruiz, A., López-Ferrari, A. R., Espejo-Serna, A., Pérez-García, B., & García-Cruz, J. (2010). Las epífitas vasculares del estado de Hidalgo, México: diversidad y distribución. *Acta Botánica Mexicana*, (93), 1-39. <https://doi.org/10.21829/abm93.2010.274>
- Chacón, J., Cusimano, N., & Renner, S. S. (2014). The evolution of Colchicaceae, with a focus on chromosome numbers. *Systematic Botany*, 39(2), 415-427. <https://doi.org/10.1600/036364414X680852>
- Chen, S. C., Zhang, X. P., Ni, S. F., Fu, C. X., & Cameron, K. M. (2006). The systematic value of pollen morphology in Smilacaceae. *Plant Systematics and Evolution*, 259, 19-37. <https://doi.org/10.1007/s00606-006-0424-y>
- CONABIO, 2011. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad 2011. La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado*. México. 26-45.
- CONABIO, 2020. *Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Comunitarias y Privadas de México 2020*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONANP. 2023. *Áreas Naturales Protegidas Federales de México, enero 2023*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- Conran, J. G. (1988). Embryology and possible relationships of *Petermannia cirrosa* (Petermanniaceae). *Nordic Journal of Botany*, 8(1), 13-17. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1988.tb01701.x>
- Conran, J. G., & Clifford, H. T. (1985). The taxonomic affinities of the genus

Ripogonum. *Nordic Journal of Botany*, 5(3), 215-219.
<https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1985.tb01650.x>

Conran, J.G., Clifford, H.T. (1998). Philesiaceae. In: Kubitzki, K. (eds) Flowering Plants · Monocotyledons. *The Families and Genera of Vascular Plants*, vol 3. 409-411 Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03533-7_50

Cornejo-Tenorio, G., & Ibarra-Manríquez, G. (2011). Diversidad y distribución del género *Salvia* (Lamiaceae) en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1279-1296.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.668>

Cracraft, J. (1982). Geographic differentiation, cladistics, and vicariance biogeography: reconstructing the tempo and mode of evolution. *American Zoologist*, 22(2), 411-424. <https://doi.org/10.1093/icb/22.2.411>

Cronquist A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York: Columbia University Press.

Cruzatty, L. C. G., Droppelmann, F., & Izaguirre-Mayoral, M. L. (2020). New protocol for storage of viable pollen of *Lapageria rosea* (Philesiaceae), an endangered plant species endemic to temperate forests of Chile. *Plant Species Biology*, 35(4), 332-337. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12285>

Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., & Ortiz, E. (2013). Distribución espacial de la riqueza de especies de plantas vasculares en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4), 1189-1199.
<https://doi.org/10.7550/rmb.31811>

Cuéllar-Martínez, M., & Sosa, V. (2016). Diversity patterns of monocotyledonous geophytes in Mexico. *Botanical Sciences*, 94(4), 687-699.
<https://doi.org/10.17129/botsci.763>

- Dahlgren, R. M., Clifford, H. T., & Yeo, P. F. (1985). *The families of the monocotyledons: structure, evolution, and taxonomy*. Springer Science & Business Media.
- Do, H. D. K., Kim, C., Chase, M. W., & Kim, J. H. (2020). Implications of plastome evolution in the true lilies (monocot order Liliales). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 148, 106818. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106818>
- Dong, J. L., Sun, B. N., Li, A. J., & Chen, H. (2021). The diversity of Smilax (Smilacaceae) leaves from the Middle Miocene in southeastern China. *Geological Journal*, 56(2), 744-757. <https://doi.org/10.1002/gj.3882>
- Engler, A. (1964). Syllabus der Pflanzenfamilien 12th Edition, Vol. II, ed. H Melchior (Berlin: Gerbruder Borntraeger).
- Espejo A., & López-Ferrari, A. R. (1994). *Flora de Veracruz* Alstroemeriaceae. Fascículo 83. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- Espejo A., & López-Ferrari, A. R. (2000). *Flora de Veracruz* Melanthiaceae. Fascículo 114. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México.
- Espinoza-Pérez, J., Reyes, C., Hernández-Ruíz, J., Díaz-Bautista, M., Ramos-López, F., Espinoza-Gómez, A., & Pérez-García, O. (2021). Uses, abundance perception, and potential geographical distribution of *Smilax aristolochiifolia* Mill (SMILACACEAE) on the Totonacapan Region of Puebla, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 17, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13002-021-00477-6>
- Fay, M. F., & Chase, M. W. (2000). Modern concepts of Liliaceae with a focus on the relationships of Fritillaria. *Curtis's Botanical Magazine*, 17(3), 146-149. <https://doi.org/10.1111/1467-8748.00258>
- Ferrufino-Acosta, L. (2010). Taxonomic revision of the genus *Smilax* (Smilacaceae) in Central America and the Caribbean Islands. *Willdenowia*, 40(2), 227-280.

<https://doi.org/10.3372/wi.40.40208>

Freire-Fierro, A. 2004. Botánica Sistemática Ecuatoriana. Missouri Botanical Garden, FUNDACYT, QCNE, RLB y FUNBOTANICA. Murray Print, St. Louis. 79-91.

Furness, C. A., Gregory, T., & Rudall, P. J. (2015). Pollen structure and diversity in Liliales. *International Journal of Plant Sciences*, 176(8), 697-723
<https://doi.org/10.1086/682211>

Frame, D., Espejo A., & López-Ferrari, A. R. (2007). *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Melanthiaceae Batsch Fascículo 47*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Galván Villanueva, R., & Martínez Calixto, Y. (2006). Familia Alstroemeriaceae. *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. Fascículo 144. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro.
<https://doi.org/10.21829/fb.104.2006.144>

Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M., & Morrone, J. J. (2012). Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 258-272.

García-Martínez, M. A. (2018). Taxonomía, riqueza y distribución geográfica de *Calochortus* sección *Cyclobothra* (Liliaceae). Tesis de maestría en ciencias. Universidad de Guadalajara. Guadalajara.

García-Rubio, L. A., Vargas-Ponce, O., Ramírez-Mireles, F. D. J., Munguía-Lino, G., Corona-Oceguera, C. A., & Cruz-Hernández, T. (2015). Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Botanical Sciences*, 93(4), 921-939. <https://doi.org/10.17129/botsci.282>

Givnish, T. J., Zuluaga, A., Marques, I., Lam, V. K., Gomez, M. S., Iles, Ames, M., Spalink, D., Moeller, J. R., Briggs, B. G., Lyon, S. P., Stevenson, D. W.,

- Zomlefer, W. & Graham, S. W. (2016). Phylogenomics and historical biogeography of the monocot order Liliales: out of Australia and through Antarctica. *Cladistics*, 32(6), 581-605. <https://doi.org/10.1111/cla.12153>
- Gogoi, P., & Borthakur, S. K. (2022). The family Smilacaceae in Assam, India. *Nelumbo*, 64(1). [10.20324/nelumbo/v64/2022/155438](https://doi.org/10.20324/nelumbo/v64/2022/155438)
- González-Gallegos, J. G., Castro-Castro, A., González-Elizondo, M., López-Enríquez, I. L., Ruacho-González, L., & Retana-Rentería, F. I. (2022). Riqueza y distribución de Lamiaceae en el estado de Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3838>
- Google. (2023). Google Earth (version 7.3.6) [Software de computadora]. Recuperado de <https://maps.google.com/intl/es/earth/download/gep/agree.html>
- Henderson, I. M. (1991). Biogeography without area?. *Australian Systematic Botany*, 4(1), 59-71. <https://doi.org/10.1071/SB9910059>
- Henss, J. M., Moeller, J. R., Theim, T. J., & Givnish, T. J. (2013). Spatial scales of genetic structure and gene flow in *Calochortus albus* (Liliaceae). *Ecology and Evolution*, 3(6), 1461-1470. <https://doi.org/10.1002/ece3.566>
- Hijmans, R. J., & Spooner, D. M. (2001). Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany*, 88(11), 2101-2112. <https://doi.org/10.2307/3558435>
- Hijmans, R. J., Guarino, L., Bussink, C., Mathur, P., Cruz, M., Barrantes, I., & Rojas, E. (2011). DIVA-GIS versión 7.5 User Manual. <http://www.diva-gis.org/documentation>
- Hofreiter, A., & Tillich, H. J. (2002). The delimitation, infrageneric subdivision, ecology and distribution of *Bomarea* Mirbel (Alstroemeriaceae). *Feddes Repertorium*:

Zeitschrift für botanische Taxonomie und Geobotanik, 113(7-8), 528-544.
<https://doi.org/10.1002/fedr.200290005>

Hofreiter, A. (2006). The *Bomarea setacea* complex (Alstroemeriaceae). *Harvard Papers in Botany*, 11(1), 39-52. [https://doi.org/10.3100/1043-4534\(2006\)11\[39:TBSCA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3100/1043-4534(2006)11[39:TBSCA]2.0.CO;2)

Hofreiter, A., & Rodríguez, E. (2006). The Alstroemeriaceae in Peru and neighbouring areas. *Revista Peruana de Biología*, 13(1), 5-69.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2004). Las provincias fisiográficas de México y sus subdivisiones. Sistema fisiográfico DGGTENAL. México City: Escrito de la Subdirección de actualización de Recursos Naturales

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2020). Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades. <https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2022). Marco Geoestadístico, Puebla SHP. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463770541>

Jara-Seguel, P., Jara-Arancio, P., Andrade, E., Urrutia-Estrada, J., Palma-Rojas, C., & Araya-Jaime, C. (2021). Cytogenetics of wild species of the Alstroemeriaceae family (Liliales). *Plant Systematics and Evolution*, 307, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s00606-021-01756-1>

Ji, Y., Liu, C., Yang, J., Jin, L., Yang, Z., & Yang, J. B. (2020). Ultra-barcoding discovers a cryptic species in *Paris yunnanensis* (Melanthiaceae), a medicinally important plant. *Frontiers in Plant Science*, 11, 411. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00411>

Kashihara, Y., Shinoda, K., Murata, N., Araki, H., & Hoshino, Y. (2011). Evaluation of

the horticultural traits of genus *Alstroemeria* and genus *Bomarea* (Alstroemeriaceae). *Turkish Journal of Botany*, 35(2), 239-245. <https://doi.org/10.3906/bot-1010-96>

Kim, C., Kim, S. C., & Kim, J. H. (2019). Historical biogeography of Melanthiaceae: a case of out-of-North America through the Bering land bridge. *Frontiers in Plant Science*, 10, 396. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00396>

Kim, J. S., & Kim, J. H. (2018). Updated molecular phylogenetic analysis, dating and biogeographical history of the lily family (Liliaceae: Liliales). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 187(4), 579-593. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy031>

Kim, J. S., Hong, J. K., Chase, M. W., Fay, M. F., & Kim, J. H. (2013). Familial relationships of the monocot order Liliales based on a molecular phylogenetic analysis using four plastid loci: *matK*, *rbcl*, *atpB* and *atpF-H*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 172(1), 5-21. <https://doi.org/10.1111/boj.12039>

Kim, S. C., Kim, J. S., Chase, M. W., Fay, M. F., & Kim, J. H. (2016). Molecular phylogenetic relationships of Melanthiaceae (Liliales) based on plastid DNA sequences. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(4), 567-584. <https://doi.org/10.1111/boj.12405>

Kosenko, V. N. (1999). Contributions to the pollen morphology and taxonomy of the Liliaceae. *Grana*, 38(1), 20-30. <https://doi.org/10.1080/001731300750044672>

Kubitzki, K. (1998). Campynemataceae. *Flowering Plants· Monocotyledons: Liliales (except Orchidaceae)*, 173-175. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03533-7_23

Lomolino, M. V. (2001). Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 3-13.

<https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x>

- López González, J. L. (2013). *La tecnología campesina en la producción de maíz y el traspatio como estrategia de desarrollo agrícola en San Nicolás de los Ranchos, Puebla*. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados.
- Mastretta-Yanes, A., Moreno-Letelier, A., Piñero, D., Jorgensen, T. H., & Emerson, B. C. (2015). Biodiversity in the Mexican highlands and the interaction of geology, geography and climate within the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Journal of Biogeography*, 42(9), 1586-1600. <https://doi.org/10.1111/jbi.12546>
- Morrone, J. J. (1994). On the identification of areas of endemism. *Systematic Biology*, 43(3), 438-441. <https://doi.org/10.2307/2413679>
- Morrone, J. J. (2009). *Evolutionary biogeography: an integrative approach with case studies*. Columbia University Press. 331P.
- Morrone, J. J., & Escalante, T. (2016). Introducción a la biogeografía. *México: Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Morrone, J. J., Escalante, T., & Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277(2), 277-279. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4277.2.8>
- Munguía-Lino, G., Vargas-Amado, G., Vázquez-García, L. M., & Rodríguez, A. (2015). Riqueza y distribución geográfica de la tribu Tigridaeae (Iridaceae) en Norteamérica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 80-98. <https://doi.org/10.7550/rmb.44083>
- Neinhuis, C., Ibsch, P.L. (1998). Corsiaceae. En: Kubitzki, K. (eds) Flowering Plants · Monocotyledons. The Families and Genera of Vascular Plants, vol 3. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03533-7_26
- Neyland, R., & Hennigan, M. (2003). A phylogenetic analysis of large-subunit (26S)

ribosome DNA sequences suggests that the Corsiaceae are polyphyletic. *New Zealand Journal of Botany*, 41(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2003.9512828>

Nordenstam, B. (1998). Colchicaceae. In: Kubitzki, K. (eds) Flowering Plants - Monocotyledons. The Families and Genera of Vascular Plants, vol 3. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03533-7_24

Ortiz-Brunel, J. P., (2019). Análisis biogeográfico de *Echeandia* (Anthericeae, Agavoideae, Asparagaceae). Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias División de Biología y Ambientales.

Ortiz-Brunel, J. P., Munguía-Lino, G., Castro-Castro, A., & Rodríguez, A. (2021). Biogeographic analysis of the American genus *Echeandia* (Agavoideae: Asparagaceae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3739>

O'Malley, M. A. (2008). Everything is everywhere: but the environment selects: ubiquitous distribution and ecological determinism in microbial biogeography. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 39(3), 314-325. DOI: 10.1016/j.shpsc.2008.06.005

Palmquist, E., Ayers, T., & Allan, G. (2015). Genetic and morphometric assessment of the origin, population structure, and taxonomic status of *Anticlea vaginata* (Melanthiaceae). *Systematic Botany*, 40(1), 56-68. <https://doi.org/10.1600/036364415X686332>

Parthasarathy, U., Saji, K. V., Jayarajan, K., & Parthasarathy, V. A. (2006). Biodiversity of *Piper* in South India—application of GIS and cluster analysis. *Current Science*, 91(5), 652.

Paterson, D. L., Swindells, S., Mohr, J., Brester, M., Vergis, E. N., Squier, C.,

- Wagener, M. M. & Singh, N. (2000). Adherence to protease inhibitor therapy and outcomes in patients with HIV infection. *Annals of Internal Medicine*, 133(1), 21-30. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-133-1-200007040-00004>
- Patterson, T. B., & Givnish, T. J. (2002). Phylogeny, concerted convergence, and phylogenetic niche conservatism in the core Liliales: insights from *rbcL* and *ndhF* sequence data. *Evolution*, 56(2), 233-252. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb01334.x>
- Qi, Z., Cameron, K. M., Li, P., Zhao, Y., Chen, S., Chen, G., & Fu, C. (2013). Phylogenetics, character evolution, and distribution patterns of the greenbriers, Smilacaceae (Liliales), a near-cosmopolitan family of monocots. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 173(4), 535-548. <https://doi.org/10.1111/boj.12096>
- QGIS.org, (2022) QGIS 3.26. Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Ramos-Dorantes, D. B., Villaseñor, J. L., Ortiz, E., & Gernandt, D. S. (2017). Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(1), 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.028>
- Rodríguez, A. (2015). Riqueza de papas silvestres (*Solanum* sección *Petota*) y patrones de distribución geográfica en México. *Agro Productividad*, 8(1). Recuperado a partir de <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/631>
- Rosen, B. R. (1988). From fossils to earth history: applied historical biogeography. *Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions*, Dordrecht: Springer Netherlands. 437-481. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1199-4_17
- Rudall, P. J., & Eastman, A. (2002). The questionable affinities of *Corsia*

(Corsiaceae): evidence from floral anatomy and pollen morphology. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 138(3), 315-324. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2002.00024.x>

Rudall, P. J., Stobart, K. L., Hong, W. P., Conran, J. G., Furness, C. A., Kite, G. C., & Chase, M. W. (2000). Consider the Lilies: Systematics of Liliales. *Monocots: Monocots: Eds K.L. Wilson and D.A. Morrison. Systematics and Evolution*, 1, 347-359. CSIRO, Collingwood, Australia.

Rzedowski, J. (1990). Vegetación Potencial, escala 1:4000000. En Vegetación Potencial. Tomo II, Sección IV, 8.2. Atlas Nacional de México (1990-1992). Instituto de Geografía, UNAM. México.

Scheldeman, X., L. Willemen, G. Coppens d'Eeckenbrugge, E. Romeijn-Peeters, M. T. Restrepo, J. R. Motoche, D. Jiménez, M. Lobo, C. I. Medina, C. Reyes, D. Rodríguez, J. A. Ocampo, P. Van Damme y P. Goetghebeur. 2007. Distribution, diversity and environmental adaptation of highland papayas (*Vasconcellea* spp.) in tropical and subtropical America. *Plant Conservation and Biodiversity*, 293-310. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9086-x>

Sierra-Muñoz, J. C., Siqueiros-Delgado, M. E., Flores-Ancira, E., Moreno-Rico, O., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2015). Riqueza y distribución de la familia Solanaceae en el estado de Aguascalientes, México. *Botanical Sciences*, 93(1), 97-117. <https://doi.org/10.17129/botsci.63>

Smets, E. F., L.-P. Ronse Decraene, P. Caris, and P. J. Rudall. 2000. Floral nectaries in monocotyledons: Distribution and evolution. En K. L. Wilson and D. A. Morrison [eds.], *Monocots: Systematics and Evolution*, 230-240. CSIRO Publishing

Stanford-Camargo, S., Medina-Ortiz, R. G., Dávila-Vega, J. P., Domínguez-Fuentes, M. J., Duarte-Martínez, H. E., Pérez-Arteaga, E., & Zagal-Salinas, A. (2017). Artrópodos sarcosaprófagos asociados a tres zonas en un bosque mesófilo

de montaña en Huauchinango, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Entomología*, 4, 93-97.

Sosa, V., & Loera, I. (2017). Influence of current climate, historical climate stability and topography on species richness and endemism in Mesoamerican geophyte plants. *PeerJ*, 5, e3932. <https://doi.org/10.7717/peerj.3932>

Sosa, V., De-Nova, J. A., & Vásquez-Cruz, M. (2018). Evolutionary history of the flora of Mexico: Dry forests cradles and museums of endemism. *Journal of Systematics and Evolution*, 56(5), 523-536. <https://doi.org/10.1111/jse.12416>

Suárez-Mota, M. E., & Villaseñor, J. L. (2011). Las compuestas endémicas de Oaxaca, México: diversidad y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (88), 55-61.

Suárez-Mota, M. E., Téllez-Valdés, O., Lira-Saade, R., & Villaseñor, J. L. (2013). Una regionalización de la Faja Volcánica Transmexicana con base en su riqueza florística. *Botanical Sciences*, 91(1), 93-105.

Tamura, M. N. (1998). Melanthiaceae. En: Kubitzki, K. (Ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants. III Flowering Plants · Monocotyledons. Liliaceae (except Orchidaceae)*. (pp. 369-380). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03533-7_44

Thorne, R. F. (1992). Classification and geography of the flowering plants. *The Botanical Review*, 58, 225-327.

Tomlinson, P. B., & Ayensu, E. S. (1969). Notes on the vegetative morphology and anatomy of the Petermanniaceae (Monocotyledones). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 62(1), 17-26. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1969.tb01953.x>

Tribble, C. M., Martínez-Gómez, J., Howard, C. C., Males, J., Sosa, V., Sessa, E. B., Cellinese, N., & Specht, C. D. (2021). Get the shovel: morphological and

evolutionary complexities of belowground organs in geophytes. *American Journal of Botany*, 108(3), 372-387. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1623>

Vargas-Amado, G., Castro-Castro, A., Harker, M., Villaseñor, J. L., Ortiz, E., & Rodríguez, A. (2013). Distribución geográfica y riqueza del género *Cosmos* (Asteraceae: Coreopsideae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(2), 536-555. <https://doi.org/10.7550/rmb.31481>

Villaseñor, J. L. (1991). Las Heliantheae endémicas a México: una guía hacia la conservación. *Acta Botánica Mexicana*, 15, 29-46. <https://doi.org/10.21829/abm15.1991.619>

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

Vinnersten, A., & Larsson, S. (2010). Colchicine is still a chemical marker for the expanded Colchicaceae. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(6), 1193-1198. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2010.12.004>

Vinnersten, A., & Manning, J. (2007). A new classification of Colchicaceae. *Taxon*, 56(1), 171-178. <https://doi.org/10.2307/25065748>

Vinnersten, A., & Reeves, G. (2003). Phylogenetic relationships within Colchicaceae. *American Journal of Botany*, 90(10), 1455-1462. <https://doi.org/10.3732/ajb.90.10.1455>

Willis, F., Moat, J., & Paton, A. (2003). Defining a role for herbarium data in Red List assessments: a case study of *Plectranthus* from eastern and southern tropical Africa. *Biodiversity & Conservation*, 12, 1537-1552. <https://doi.org/10.1023/A:1023679329093>

Zhang, D., Saunders, R. M., & Hu, C. M. (1999). *Corsiopsis chinensis* gen. et sp. nov. (Corsiaceae): first record of the family in Asia. *Systematic Botany*, 311-314.

<https://doi.org/10.2307/2419691>

Zomlefer, W. B., Williams, N. H., Whitten, W. M., & Judd, W. S. (2001). Generic circumscription and relationships in the tribe Melanthieae (Liliales, Melanthiaceae), with emphasis on *Zigadenus*: evidence from ITS and trnL-F sequence data. *American Journal of Botany*, 88(9), 1657-1669. <https://doi.org/10.2307/3558411>

Zomlefer, W. B., & Judd, W. S. (2008). Two new species of *Schoenocaulon* (Liliales: Melanthiaceae) from Mexico supported by ITS sequence data. *Systematic Botany*, 33(1), 117-124. <https://doi.org/10.1600/036364408783887474>

Zorondo-Rodríguez, F., Reyes-García, V., & Simonetti, J. A. (2014). Conservation of biodiversity in private lands: are Chilean landowners willing to keep threatened species in their lands? *Revista Chilena de Historia Natural*, 87(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/0717-6317-87-4>

10. ANEXOS

10.1. Anexo 1. Listado de abreviaturas utilizadas en el trabajo.

ANPs.....	Áreas Naturales Protegidas
FVT.....	Faja Volcánica Transversal
RB.....	Río Balsas
SIG.....	Sistemas de Información Geográfica
SMS.....	Sierra Madre del Sur
SMOc.....	Sierra Madre Occidental
SMOr.....	Sierra Madre Oriental