

PROGRAMA
DE GESTIÓN DE
CALIDAD DEL AIRE
Y DE ACCIÓN ANTE EL
CAMBIO CLIMÁTICO
ESTADO DE PUEBLA
2021-2030

**VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD
ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Programa
PEAACC



SEMARNAT

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



COMISIÓN AMBIENTAL
DE LA MEGALÓPOLIS



**Gobierno
de Puebla**

Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490
para Apoyar los Programas, Proyectos
y Acciones Ambientales de la Megalópolis

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 DEL ESTADO DE PUEBLA

"Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490
para Apoyar los Programas, Proyectos
y Acciones Ambientales de la Megalópolis"

Este documento fue desarrollado por:
AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática SA de CV para la
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, DESARROLLO SUSTENTABLE Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA
Bajo el proyecto con número de contrato
GESAL-140-027/2022



Secretaría de
Medio Ambiente,
Desarrollo Sustentable y
Ordenamiento Territorial
Gobierno de Puebla

Autores del documento:

Biol. Saúl Castañeda Contreras

Dr. Francisco Javier Botello López

Con la colaboración de:

Ing. Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Mat. Jorge Martínez Castillejos

Este documento se elaboró para la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla con recursos del Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490 “Para Apoyar los Programas, Proyectos y Acciones Ambientales de la Megalópolis”.

Citar el documento como: Vulnerabilidad del Sector Biodiversidad ante el Cambio Climático, 2023. Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático, 2021-2030. SMADSOT – CAME – SEMARNAT.

La reproducción total o parcial de este documento podrá efectuarse mediante autorización expresa de la fuente y dándole el crédito correspondiente.

© 2023

PROGRAMA
DE GESTIÓN DE **CALIDAD DEL AIRE**
Y DE ACCIÓN ANTE EL **CAMBIO CLIMÁTICO**
ESTADO DE PUEBLA
2021-2030

**VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD
ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

CONTENIDO

VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO	7
1. Introducción.....	7
2. Vertebrados.....	7
3. Plantas vasculares.....	11
4. Métodos.....	15
Selección de especies.....	16
Plantas.....	16
Animales.....	19
Especies forestales.....	25
Obtención de datos.....	25
Sensibilidad.....	26
Diversidad de hábitats.....	26
Idoneidad climática actual.....	26
Categoría de riesgo.....	28
Endemismo.....	29
Exposición.....	29
Pérdida de idoneidad climática.....	29
Capacidad adaptativa.....	30
Instrumentos de conservación territorial.....	30
Vulnerabilidad.....	30
5. Resultados.....	31
Referencias.....	44

Figuras

Figura 1. Número de especies por clase, orden y familia de vertebrados terrestres obtenidos de la GBIF.....	8
Figura 2. Registros de vertebrados terrestres obtenidos de la GBIF.....	9
Figura 3. Proporción de especies en riesgo por categoría y distribución, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.	10
Figura 4. Número de especies por clase, orden y familia de plantas vasculares obtenidos de la GBIF.....	11
Figura 5. Registros de plantas vasculares obtenidos de la GBIF.	13
Figura 6. Proporción de especies en riesgo por categoría y distribución, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.	14
Figura 7. Número de especies evaluadas por grupo.	31
Figura 8. Número de especies por clase de vulnerabilidad.....	32
Figura 9. Proporción de especies por clase de vulnerabilidad y grupo.	32
Figura 10. Proporción de especies por clase de vulnerabilidad y región.....	33
Figura 11. Promedio de especies con pérdida de idoneidad climática a futuro por grupo y región.....	34
Figura 12. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de las abejas.....	34
Figura 13. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los agaves.....	35
Figura 14. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los anfibios.....	35
Figura 15. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de las cactáceas.....	36
Figura 16. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de las cícadas.....	36
Figura 17. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los colibríes.....	37
Figura 18. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de las epífitas.....	37
Figura 19. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los felinos.....	38
Figura 20. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de las especies forestales.....	38
Figura 21. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los murciélagos.....	39
Figura 22. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de las orquídeas.....	39
Figura 23. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los psitácidos.....	40
Figura 24. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de las rapaces.....	40

Figura 25. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los reptiles.....	41
Figura 26. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los sorícidos.....	41
Figura 27. Pérdida de idoneidad climática proyectada para el grupo de los trogones.....	42
Figura 28. Zonas con pérdida de idoneidad climática proyectada para la mayor cantidad de especies.	43

Tablas

Tabla 1. Número de especies de vertebrados terrestres en riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la Lista Roja de la IUCN.....	9
Tabla 2. Número de especies de vertebrados terrestres por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.	10
Tabla 3. Número de especies prioritarias de vertebrados terrestres.....	10
Tabla 4. Número de especies de plantas vasculares en riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la Lista Roja de la IUCN.....	12
Tabla 5. Número de especies de plantas vasculares por categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.	12
Tabla 6. Número de especies prioritarias de plantas vasculares.....	14
Tabla 7. Variables consideradas para calcular la vulnerabilidad del sector biodiversidad.....	16
Tabla 8. Número de especies por clases de vulnerabilidad y región.	33
Tabla 9. Superficie con pérdida de idoneidad climática proyectada para la mayor cantidad de especies por región.	43

VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

1. INTRODUCCIÓN

El estado de Puebla cuenta con una alta diversidad biológica (CONABIO, 2013). En él se encuentran aproximadamente 6,114 especies, 1,274 animales, 4,514 plantas, 131 hongos, 165 protistas y 30 bacterias (CONABIO, 2011), lo que lo coloca en el lugar número 12 en biodiversidad de plantas a nivel nacional (Villaseñor, 2003) y posee aproximadamente el 2.1 % de la diversidad de animales que se distribuyen en México (CONABIO, 2011).

Para conocer la riqueza de especies del Estado, su distribución y contar con insumos para evaluar la vulnerabilidad del sector biodiversidad de forma espacialmente explícita, se obtuvieron datos de la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF). La GBIF es un repositorio abierto de datos biológicos, financiado por gobiernos de todo el mundo, que cuenta con millones de registros georreferenciados de la presencia de especies en el planeta.

Los datos de presencia obtenidos corresponden a especies de a) plantas vasculares y b) vertebrados terrestres, con año de registro ≥ 1970 , localizados dentro del Estado, así como en una zona de amortiguamiento de 20 km alrededor de los límites estatales. Los datos se sometieron a un proceso de depuración para eliminar, lo más posible, los errores que usualmente se presentan en este tipo de bases de datos (Chapman, 2005; Beck et al. 2014), y se analizaron para obtener una visión general de la riqueza de especies de estos grupos en el Estado.

2. VERTEBRADOS

Se obtuvieron registros de 962 especies de vertebrados terrestres agrupadas en 34 órdenes, 125 familias y 490 géneros. Las aves son el grupo con mayor riqueza, con 628 especies, seguido por los mamíferos con 145 especies, los reptiles y los anfibios, con 113 y 76 especies respectivamente (figura 1).

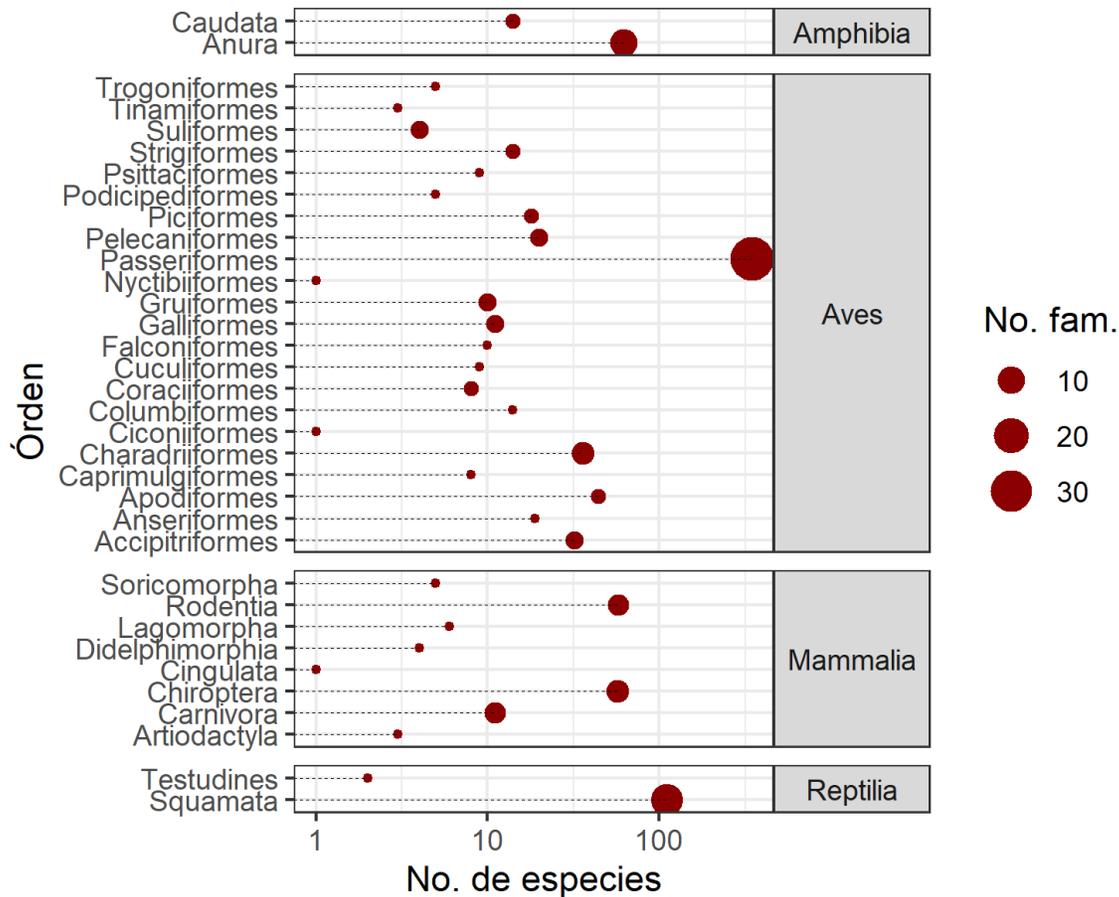


FIGURA 1. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASE, ORDEN Y FAMILIA DE VERTEBRADOS TERRESTRES OBTENIDOS DE LA GBIF.

De las 962 especies, 173 se encuentran listadas bajo alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla 1); 64 amenazadas (A), ocho en peligro (P) y 101 sujetas a protección especial (Pr) (Tabla 2). En términos porcentuales, los reptiles son el grupo en mayor riesgo, con aproximadamente el 37% de las especies listadas en la NOM-059, seguido por los anfibios con el 22%, las aves con el 16% y los mamíferos con el 11% de las especies. Considerando su distribución, 62 de las especies en riesgo son endémicas, 108 no endémicas y 3 sin datos de distribución (Figura 3).

846 especies se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). En este instrumento, los anfibios son el grupo con mayor porcentaje de especies bajo alguna categoría de riesgo (93%) incluyendo aquellas de la categoría preocupación menor (LC), seguido por las aves, reptiles y mamíferos, con el 90%, 88% y 72% respectivamente.

TABLA 1. NÚMERO DE ESPECIES DE VERTEBRADOS TERRESTRES EN RIESGO DE ACUERDO CON LA NOM-059-SEMARNAT-2010 Y LA LISTA ROJA DE LA IUCN.

Clase	NOM	IUCN
Amphibia	17	71
Aves	98	570
Mammalia	16	105
Reptilia	42	100

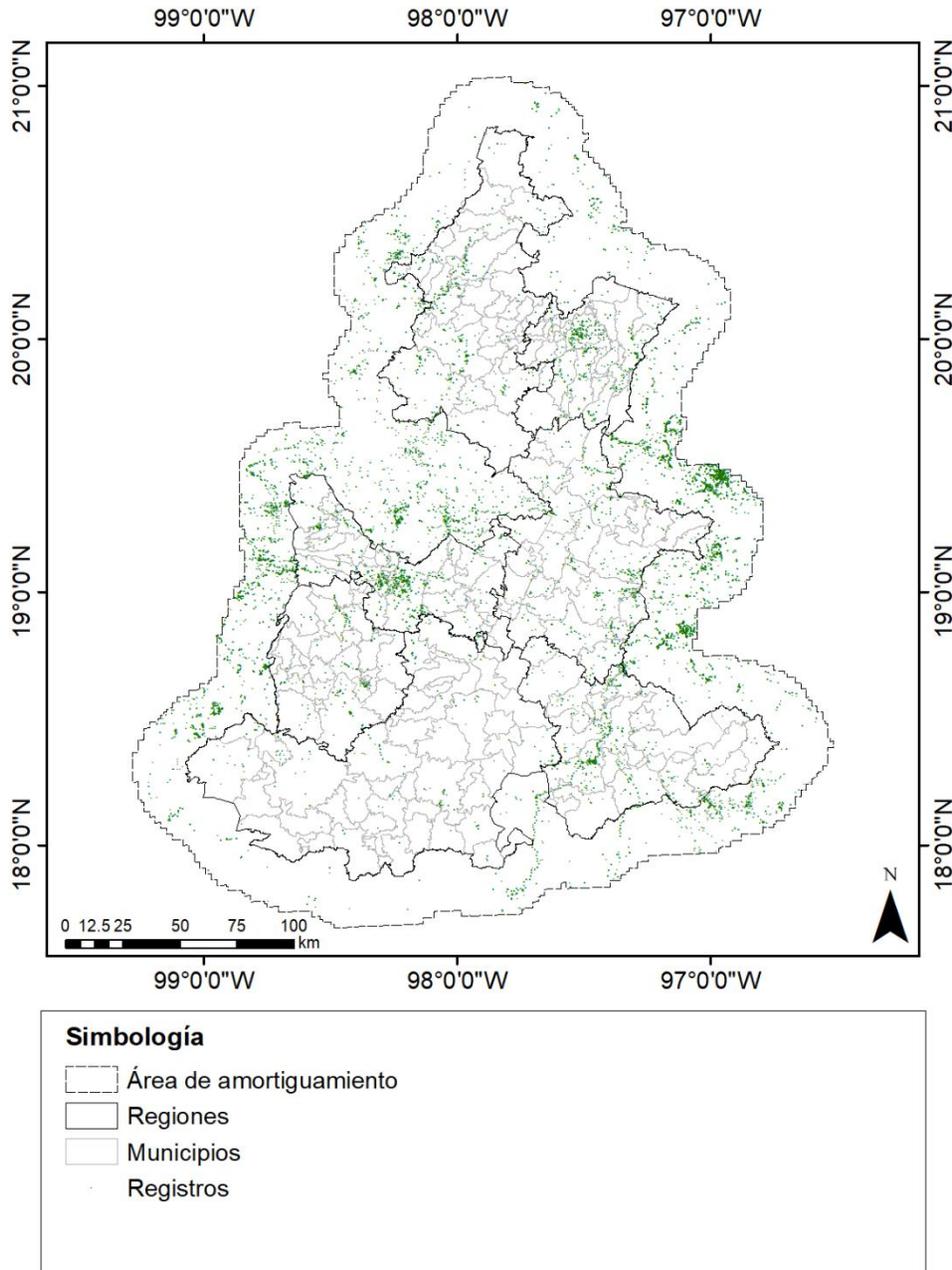


FIGURA 2. REGISTROS DE VERTEBRADOS TERRESTRES OBTENIDOS DE LA GBIF.

TABLA 2. NÚMERO DE ESPECIES DE VERTEBRADOS TERRESTRES POR CATEGORÍA DE RIESGO DE ACUERDO CON LA NOM-059-SEMARNAT-2010.

Clase	A	P	Pr
Amphibia	4	0	13
Aves	31	6	61
Mammalia	8	2	6
Reptilia	21	0	21

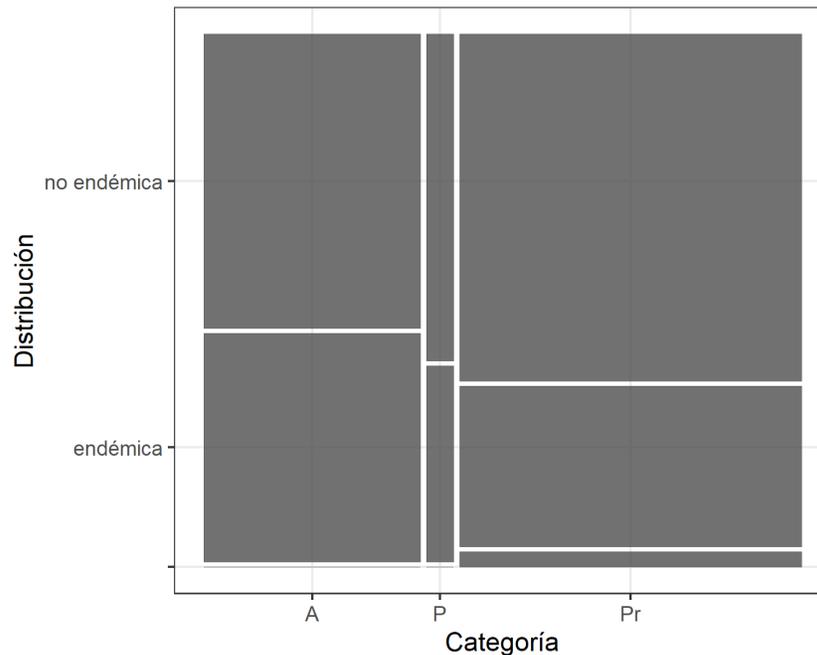


FIGURA 3. PROPORCIÓN DE ESPECIES EN RIESGO POR CATEGORÍA Y DISTRIBUCIÓN, DE ACUERDO CON LA NOM-059-SEMARNAT-2010.

49 especies son consideradas como prioritarias de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (2014) (Tabla 3). Estas especies son consideradas como tales ya que su conservación tiene un mayor alcance y derrama de beneficios para los ecosistemas en los que se habitan, así como para otras especies asociadas, dada su importancia estratégica, económica o ecológica (CONABIO et al. 2012).

TABLA 3. NÚMERO DE ESPECIES PRIORITARIAS DE VERTEBRADOS TERRESTRES.

Clase	No. de especies
Amphibia	3
Aves	38
Mammalia	5
Reptilia	3

3. PLANTAS VASCULARES

5,054 especies de plantas vasculares agrupadas en siete clases, 67 órdenes, 251 familias y 1,592 géneros se obtuvieron de la GBIF. La clase magnoliopsida (dicotiledóneas) es la que presenta la mayor riqueza de especies, con 3,769, seguida por las monocotiledóneas (liliopsida), con 948. Los helechos de la clase polypodiopsida están representados por 276 especies, las coníferas (pinopsida) por 30, los licopodios (lycopodiopsida) por 23, las cícadas por 7 y la clase gnetopsida por una especie.

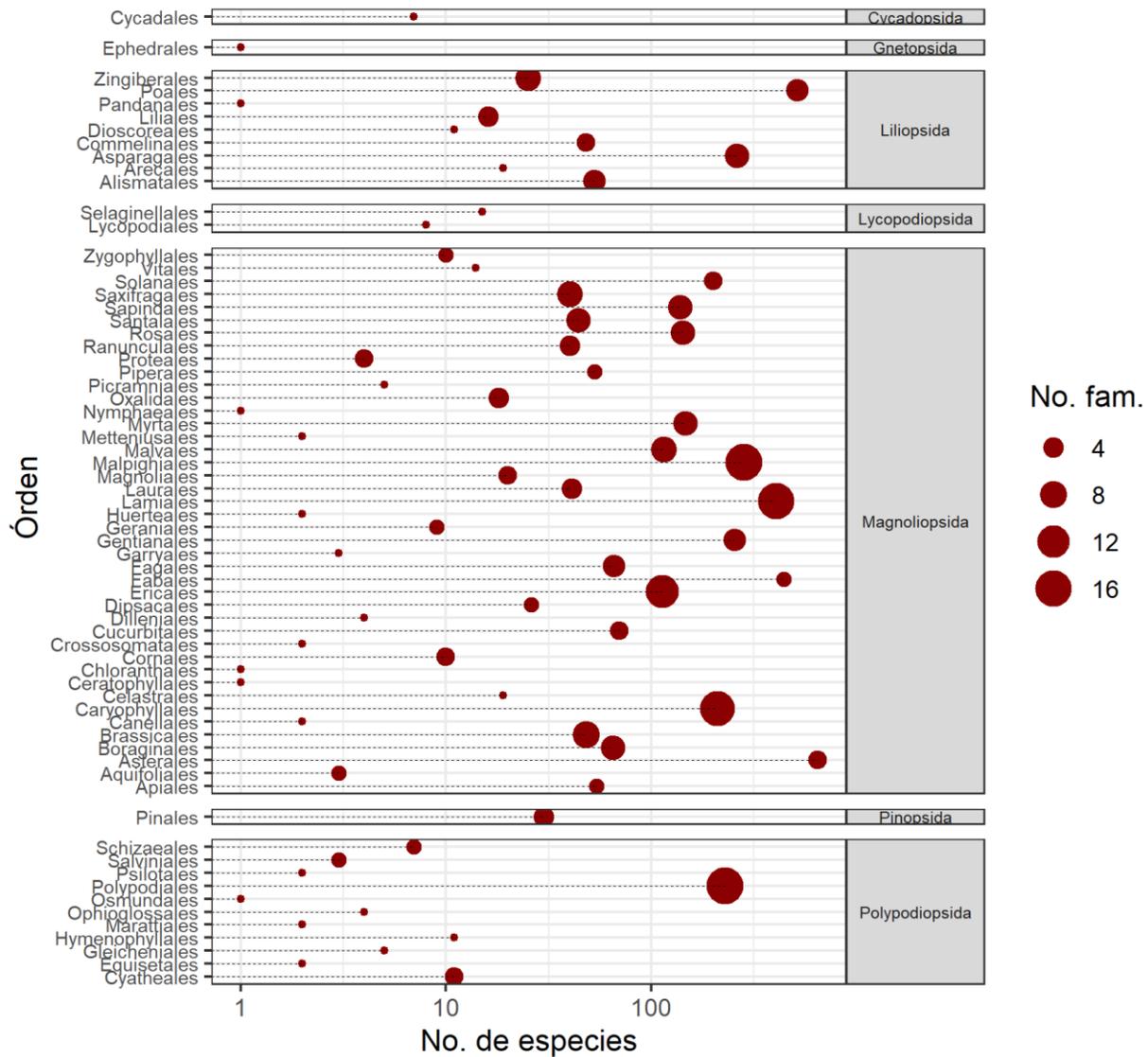


FIGURA 4. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASE, ORDEN Y FAMILIA DE PLANTAS VASCULARES OBTENIDOS DE LA GBIF.

De las 5,054 especies de plantas vasculares, 91 se encuentran listadas bajo alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Tabla 1); 42 amenazadas (A), 17 en peligro (P) y 32 sujetas a protección especial (Pr) (Tabla 2). En términos porcentuales, las cícadas son el grupo en mayor riesgo, con aproximadamente el 86% de sus especies listadas en la NOM-059, seguido por las coníferas (27%), los helechos (4%), las monocotiledóneas con 3% y las dicotiledóneas con el 1% de las especies. Considerando su distribución, 29 de las especies en riesgo son endémicas y 62 no endémicas (Figura 3).

1,137 especies se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). En este instrumento, todas las especies de pinos y de la clase gnetopsida están listadas bajo alguna categoría de riesgo, incluyendo aquellas de la categoría preocupación menor (LC). Las cícadas son el tercer grupo con mayor porcentaje de especies en riesgo (86%), seguido por las dicotiledóneas (25%), las monocotiledóneas (15%) y los polipodios con el 2% de las especies.

TABLA 4. NÚMERO DE ESPECIES DE PLANTAS VASCULARES EN RIESGO DE ACUERDO CON LA NOM-059-SEMARNAT-2010 Y LA LISTA ROJA DE LA IUCN.

Clase	NOM	IUCN
Cycadopsida	6	6
Gnetopsida	0	1
Liliopsida	27	145
Magnoliopsida	38	948
Pinopsida	8	30
Polypodiopsida	12	7

TABLA 5. NÚMERO DE ESPECIES DE PLANTAS VASCULARES POR CATEGORÍA DE RIESGO DE ACUERDO CON LA NOM-059-SEMARNAT-2010.

Clase	A	P	Pr
Cycadopsida	2	4	0
Gnetopsida	0	0	0
Liliopsida	21	3	3
Magnoliopsida	15	5	18
Pinopsida	0	3	5
Polypodiopsida	4	2	6

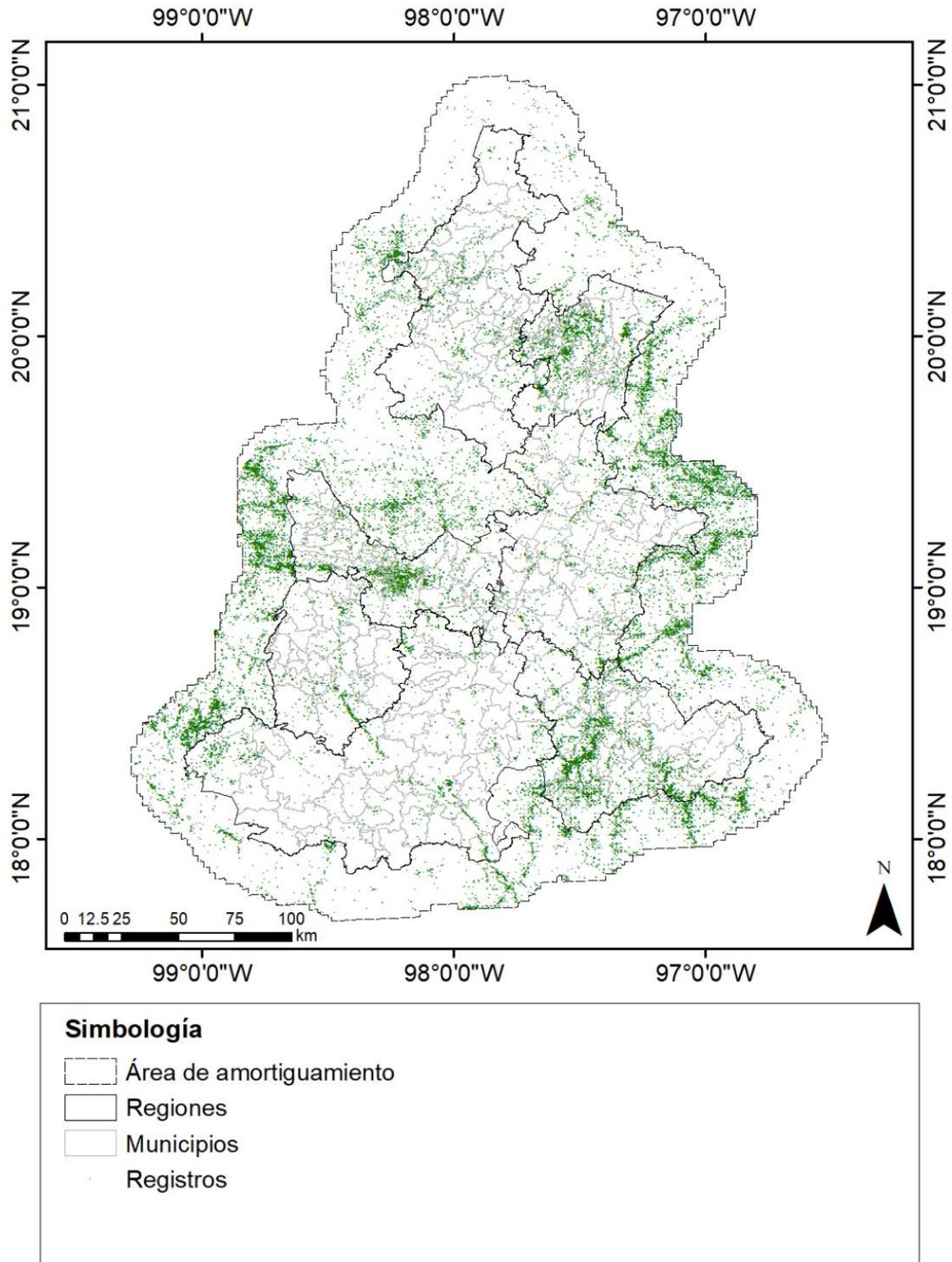


FIGURA 5. REGISTROS DE PLANTAS VASCULARES OBTENIDOS DE LA GBIF.

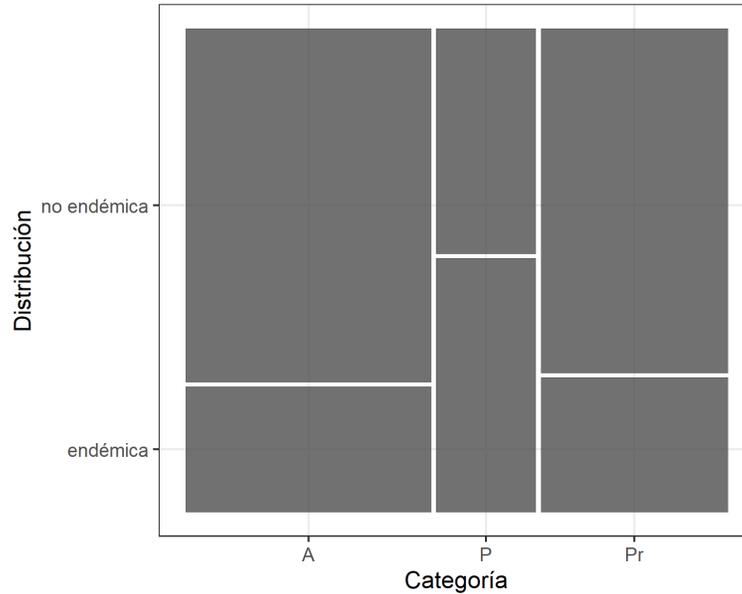


FIGURA 6. PROPORCIÓN DE ESPECIES EN RIESGO POR CATEGORÍA Y DISTRIBUCIÓN, DE ACUERDO CON LA NOM-059-SEMARNAT-2010.

22 especies son consideradas como prioritarias de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (2014) (Tabla 6). Las cícadas y las monocotiledóneas son las que presentan un mayor número de especies (7).

TABLA 6. NÚMERO DE ESPECIES PRIORITARIAS DE PLANTAS VASCULARES.

Clase	No. de especies
Cycadopsida	7
Gnetopsida	0
Liliopsida	7
Magnoliopsida	4
Pinopsida	3
Polypodiopsida	1

El cambio climático es una amenaza cuyos impactos en la diversidad biológica ya han sido observados, y cuyos daños y pérdidas causadas en los ecosistemas terrestres son considerables y mayores que los estimados anteriormente (IPCC, 2022). Se prevé que el incremento de 1,5 °C en el futuro cercano provocaría un aumento de múltiples peligros climáticos y presentaría múltiples riesgos para los ecosistemas y los seres humanos. El nivel de riesgo al que estarán sujetos los diferentes sectores dependerá de las tendencias simultáneas de la vulnerabilidad, la exposición, el nivel de desarrollo socioeconómico y la adaptación (IPCC, 2022).

Dada la extensión geográfica del Estado, los diferentes elementos que determinan la vulnerabilidad de las especies y ecosistemas al cambio climático se presentan de forma diferencial en el espacio. Los cambios climáticos no serán uniformes en las masas terrestres, las coincidencias geográficas entre las áreas de distribución de las especies y los patrones espaciales de las anomalías climáticas generarán patrones de cambio particulares en la distribución de las especies en el futuro (Broennimann et al. 2006).

Por ello, es necesario evaluar la vulnerabilidad de los elementos clave del territorio de forma espacialmente explícita (PROVIA-UNEP, 2013), de tal manera que los resultados permitan identificar sitios en el espacio en los cuales la eficacia de las medidas de adaptación propuestas sea mayor.

4. MÉTODOS

Existen diferentes marcos conceptuales y formas de calcular la vulnerabilidad de diferentes sectores ante el cambio climático. Para el caso de la vulnerabilidad de las especies, no existe un consenso en la literatura científica sobre su definición y métodos para determinarla (Pacifi et al. 2015; Wheatley et al. 2017).

Las evaluaciones de la vulnerabilidad al cambio climático son el marco más utilizado para identificar este atributo relacionado con el clima, las cuales consideran de forma general tres componentes: a) exposición, b) sensibilidad y d) capacidad adaptativa (Foden et al. 2013; 2019).

Para el sector biodiversidad se usó la aproximación que la define como una función del carácter, la magnitud, la tasa de cambio y variación climática a los que está expuesto un sistema, la sensibilidad y la capacidad de adaptación que presenta el sistema (Parry et al. 2007). De acuerdo con el marco teórico establecido por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) (IPCC, 2007), la vulnerabilidad se calculó considerando tres componentes: a) exposición, b) sensibilidad y c) capacidad adaptativa mediante la fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{Exposición} + \text{Sensibilidad}) - \text{Capacidad adaptativa}$$

La exposición se define como la magnitud, carácter y velocidad de las variaciones climáticas que afectan un sistema; la sensibilidad es el grado en que el sistema es afectado por la variabilidad climática y el cambio climático debido a las características que lo definen, y la capacidad adaptativa como aquellos recursos, capital humano e instrumentos que representan una mayor posibilidad de adaptación (INECC y SEMARNAT 2019 en: CONANP y PNUD 2021).

Se consideraron seis variables para construir los tres elementos de la vulnerabilidad del sector biodiversidad. En la Tabla 7 se indican los componentes, las variables, así como la contribución de los valores de estas para el cálculo de la vulnerabilidad, p.ej. -:+ indica que a menor valor de la variable, mayor es el aporte.

TABLA 7. VARIABLES CONSIDERADAS PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD.

Componente	Variable	Contribución
Sensibilidad	Diversidad de hábitats	-:+
	% del área del estado con idoneidad climática actual	+:+
	Categoría de riesgo	+:+
	Endemismo	+:+
Exposición	Pérdida de idoneidad climática	+:+
Capacidad adaptativa	Instrumentos de conservación territorial	+:+

Selección de especies

Como elementos clave del territorio (ECT) representativos del sector biodiversidad del de Estado, se identificaron 15 grupos de especies relevantes dadas las amenazas climáticas y no climáticas a las que podrían estar sujetos, por su nivel de conservación, por los servicios ecosistemas que prestan, por su importancia en los medios de vida y por aspectos ecológicos y biológicos (CONANP y PNUD, 2021).

Plantas

Cicadas

México es el segundo país con mayor diversidad de cicadas, un grupo taxonómico que es reconocido como “fósiles vivientes” por la antigüedad de su linaje y la permanencia de características “primitivas”, esto les confiere una

importancia inherente de conservación, pero también es un grupo taxonómico que se comercializa de manera legal o ilegal con altos valores económicos, la conservación de áreas en donde se encuentran a través de unidades de manejo (UMA) u otros instrumentos podría ser de beneficio a nivel socio-económico y ambiental. Este grupo de plantas tiene también importancia para el ecoturismo (Mayett Moreno et al. 2014).

Orquídeas

Es un grupo de plantas monocotiledóneas que son altamente apreciadas, lo que implica que muchas de las especies sean utilizadas a diversos niveles, desde locales, en cuyo caso se utilizan sus inflorescencias para celebraciones religiosas, o las plantas vivas para mantenimiento en traspatio. Por otro lado, también se comercializan de manera ilegal a diversos niveles, incluyendo coleccionistas y mercado negro. A nivel biológico esta familia (Orchidaceae), cuenta con especies cuyos requerimientos son altamente especializados respecto a su microhábitat, los hongos con los que conforman asociaciones o micorrizas y los polinizadores que las visitan.

Estas características implican que requieren un hábitat integro que permita su reproducción y sobrevivencia, con el mantenimiento de la estructura del ecosistema en donde habitan, y a su vez son especies clave para el sostenimiento de la diversidad de otros grupos biológicos. Las orquídeas pueden ser epífitas (se desarrollan sobre árboles u otras plantas), litófitas (se desarrollan en rocas), o terrestres (se desarrollan sobre suelo), La conservación de áreas en donde se encuentran a través de unidades de manejo (UMA) extensivas o intensivas podría ser de beneficio a nivel socioeconómico, y ambiental. Tienen importancia para el ecoturismo (Machaca et al. 2012).

Epífitas

El término de epífitas corresponde a plantas que crecen sobre otras plantas, principalmente arborescentes, se han separado de las orquídeas porque si bien, en muchos casos son apreciadas por sus flores o inflorescencias, su uso o extracción varía mucho dependiendo de la especie, pero en general tienen requerimientos muy específicos de hábitat que las hace muy sensibles a los cambios. Algunas de ellas, no solamente requieren un tipo de hábitat muy específico, sino que conforman por sí mismas microhábitats que son muy relevantes para las especies de vertebrados e invertebrados que habitan en los estratos superiores de bosques y selvas. Por lo anterior, es un grupo polifilético

de plantas que tiene altos niveles de endemismo, y a la vez soporta las necesidades de otras muchas especies micro endémicas. Este grupo de plantas también tienen un papel importante en el sector del ecoturismo (Mendoza et al. 1994; Villaseñor y Ortiz; 2014).

Cactáceas

El estado de Puebla forma parte de una de las regiones con mayor diversidad de cactáceas en el mundo, en específico el valle de Tehuacán-Cuicatlán, compartido con el estado de Oaxaca, es reconocido como un centro de diversificación y especiación de este grupo taxonómico que es utilizado de diversas maneras, incluyendo las flores y frutos para su consumo en distintos platillos, las plantas vivas como cercos, los “esqueletos” leñosos para construcción y como combustible, para fines ornamentales, entre otros.

Muchas actividades antrópicas, además del cambio de uso de suelo ponen en peligro a diversas especies de cactáceas, la extracción ilegal, la presencia de especies exóticas como los burros, la ganadería extensiva, entre otros factores, las impactan de manera relevante. Es importante notar que para este grupo además de que los cambios en los patrones de temperatura o precipitación los pueden afectar directamente, el impacto en sus polinizadores o la agresividad de las plagas y enfermedades podría ser un factor que las afecte drásticamente de manera indirecta, en observaciones no sistematizadas se ha referido la presencia de una enfermedad provocada por hongos en cactáceas columnares debido al cambio de los patrones de lluvia y humedad en el valle de Tehuacán-Cuicatlán (Botello, comunicación personal). Esto le da una importancia alta de conservación a este grupo taxonómico (Miguel-Talonia et al. 2014).

La conservación de áreas en donde se encuentran a través de unidades de manejo (UMA) u otros instrumentos podría ser de beneficio a nivel socioeconómico, y ambiental. Tienen importancia para el ecoturismo (Camargo, 2018).

Agaves

El género Agave cuenta con aproximadamente 210 especies en el continente americano, de las cuales, en México se pueden encontrar entre 163 y 165 especies (Gonzalez, 2022; Espinoza-Barrera, 2015). Para Puebla los reportes sobre el número de especies supera las 35 especies, incluyendo algunas recientemente descritas (García-Mendoza et al. 2019). La importancia de este

género radica en la diversidad biológica y los múltiples usos que tiene, la importancia económica por su utilidad como fibra, combustible, alimento, producción de bebidas, azúcares.

También, es importante notar la relevancia de muchas de las especies para el mantenimiento de los suelos, la gran diversidad de interacciones bióticas que tiene, su papel en el mantenimiento de múltiples visitantes florales y polinizadores. Lo anterior ha provocado que, en los últimos años, con el incremento de su uso para la producción de mezcal, sus poblaciones silvestres se hayan visto seriamente afectadas y por otro lado se haya propiciado el cambio de uso de suelo de selvas secas y matorrales a plantaciones extensas con monocultivos de algunas de las especies más productivas como el agave espadín.

A lo anterior, se suman los posibles efectos que el cambio climático podría provocar en estas especies disminuyendo el éxito reproductivo, el reclutamiento o el incremento de daños por insectos y enfermedades provocadas por hongos y bacterias. En este contexto es de suma relevancia considerar este grupo como un objeto de conservación socioambiental, promover zonas de conservación que protejan poblaciones silvestres y su germoplasma, promover la producción sostenible de sus derivados e incrementar la vigilancia sobre el origen de los organismos que son utilizados (Bautista y Smit, 2012; Tinoco et al. 2021).

Animales

Abejas

Las abejas constituyen un grupo de más de 20,000 especies a nivel mundial, reconocidas por su relevancia como polinizadores. Dentro de este amplio grupo, la subfamilia Apinae es una de las que tiene mayor relevancia en México a nivel socioambiental, no solamente por el servicio ecosistémico de polinización, sino porque en algunos casos hay especies que mantienen interacciones monoespecíficas con plantas (por ejemplo, especies de la tribu Euglossini con orquídeas) y porque dentro de esta subfamilia también se encuentran las llamadas abejas sin aguijón, que pertenecen a la tribu Meliponini (meliponas) y son altamente sociables, lo que presenta una ventaja para el humano debido a la producción de miel.

Se han descrito 46 especies de meliponas para México, de las cuales hay varias especies de interés por el manejo y uso que le ha dado el humano desde hace siglos. Por lo anterior, los posibles cambios en la distribución de poblaciones de algunas de estas especies podrían tener implicaciones importantes tanto para el humano como para la flora (Ala, 1999; Arnold et al. 2018; Lamelin, 2020; Yáñez-Ordóñez, 2008).

Anfibios

El grupo de los anfibios es reconocido por ser uno de los que mayor riesgo corre ante el cambio climático. La biología de las especies está íntimamente ligada a valores estrechos de temperatura y a la presencia de agua para su reproducción y sobrevivencia, y a esto se le debe de sumar que los patógenos, en específico hongos que los llegan a afectar, pueden exacerbar su nivel de impacto en distintas especies con las modificaciones en las variables mencionadas. Por otro lado, hay una gran cantidad de anfibios, como las ranas arborícolas y las salamandras que son altamente carismáticas y para algunas especies esto puede ser un riesgo por su extracción ilegal, o podría convertirse en un beneficio con actividades de turismo o crianza legal planificada (Alonso et al. 2017; Camarillo, 1998; Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén, 2006).

Reptiles

Los reptiles, en específico las serpientes, tienen un papel fundamental en los socio-ecosistemas por la gran cantidad de roedores que consumen. Aun cuando muchas especies toleran cierto grado de antropización y de hecho es importante su presencia cerca de cultivos, el cambio climático podría afectarlas de manera relevante, no solamente debido a los cambios que podrían implicar pérdida de idoneidad de hábitat, sino debido a que la temperatura puede determinar el sexo de las crías, con lo que se podría modificar la proporción de individuos de distintos sexos, y, por tanto, el éxito reproductivo de las especies.

De manera adicional, las alteraciones en la temperatura se han relacionado con algunas modificaciones conductuales de los individuos, lo que podría provocar un incremento en las interacciones negativas con el humano y especies domésticas como el ganado (Canseco-Márquez y Gutiérrez-Mayén, 2006, Luna-Reyes et al. 2013).

Trogones

Son aves que se distribuyen en bosques tropicales. Sus hábitos de anidación requieren estructuras como termiteros o árboles maduros o secos en donde realizan sus nidos, por lo que generalmente están relacionados a ecosistemas en buen estado de conservación. Este género está considerado como un importante dispersor de semillas.

En Puebla se pueden encontrar dos de las tres especies que habitan en México, el trogón mexicano que habita en bosques nublados (*Trogon mexicanus*), cuya distribución podría verse afectada a mediano o largo plazo por las modificaciones en la vegetación debido al cambio climático, y el trogón elegante (*Trogon elegans*) que habita zonas más bajas incluyendo selvas bajas secas que se encuentran en riesgo por las actividades antrópicas, una de ellas el avance de los plantíos monoespecíficos de agave y el saqueo de especies silvestres tanto de agave como leñosas para la elaboración de mezcal.

Ambas especies son altamente llamativas y coloridas por lo que además de su relevancia biológica tienen importancia para actividades de ecoturismo (Howe et al. 1985; McKey, D. 2021; Villa-Bonilla, et al. 2008).

Aves rapaces

Es un grupo polifilético que se agrega debido a que todas estas aves son cazadoras y que mantienen un control sobre otros grupos taxonómicos de aves, y de manera muy importante de roedores y otros pequeños mamíferos. De hábitos tanto nocturnos (v. gr., búhos y lechuzas) como diurnos (v. gr., águilas gavilanes, halcones) son aves sumamente vistosas que pueden tolerar y hasta beneficiarse de algunas actividades antrópicas, sin embargo, muchas de las especies requieren de sitios conservados y protegidos para anidar. Su forma, conducta, hábitos y tamaño hace de estas especies un grupo relevante para el ecoturismo (Rivera-Hernández, 2018; Pérez-Sato, 2018).

Psitácidos

Los psitácidos constituyen un grupo taxonómico muy relevante por sus hábitos alimentarios que están relacionados con la dispersión y depredación de las semillas, por lo que su presencia en diversos ecosistemas influye de manera importante en la estructura vegetal. Los sitios de anidación generalmente se encuentran en sitios bien conservados y protegidos, en oquedades de árboles

o rocas y pueden volar grandes distancias a distintos tipos de vegetación a lo largo del año para alimentarse.

Es un grupo altamente carismático, muchas de sus especies están sujetas a comercialización ilegal, aun cuando se encuentran protegidas por la normatividad mexicana. Sin embargo, su adecuada protección y la presencia de poblaciones silvestres pueden ser altamente benéficas para actividades sostenibles de ecoturismo.

Para Puebla resalta la presencia de la guacamaya verde (*Ara militaris*), una de las dos especies de guacamaya que se distribuyen en México. El cambio climático podría afectar de manera importante la fenología de las especies de las que se alimenta, por lo que sus movimientos estacionales para alimentarse se podrían ver afectados de manera relevante, convirtiéndose esto en una problemática para las especies de psitácidos, para la estructura vegetal de los ecosistemas en donde se alimentan, y para las comunidades que obtienen beneficios económicos por el aviturismo enfocado en esta especie (Contreras-González et al. 2009).

Colibríes

El grupo taxonómico de los colibríes es sumamente importante a nivel ecológico debido a sus hábitos alimentarios basados principalmente en recursos florales (y en menor medida de insectos). Muy relacionados con el proceso de polinización de múltiples especies, los colibríes son altamente carismáticos y su presencia permanente o estacional en distintas localidades puede ser relevante para el desarrollo de actividades de ecoturismo.

Al igual que con otras aves, los cambios en la fenología de distintas especies de plantas debido al efecto del cambio climático puede llegar a ser un problema para algunas especies debido a que realizan tanto migraciones latitudinales como altitudinales, y la pérdida de sincronización entre sus movimientos y la floración podría tener impactos ecológicos de importancia en distintos ecosistemas, modificando la composición y estructura de las comunidades vegetales (Arizmendi et al. 2014; Cartay, 2020).

Sorícidos

Los sorícidos son pequeños mamíferos conocidos como musarañas. Son depredadores muy activos de una gran cantidad de invertebrados en los sitios

en los que habitan. Las musarañas requieren de condiciones muy específicas por lo que están relacionadas a microhábitats particulares, y actualmente están confinados a pequeños parches de distintos tipos de vegetación principalmente en zonas húmedas como los bosques nublados, por lo que cambios de las condiciones a nivel local, provocados por el humano o por el cambio climático las podrían poner en alto peligro (Berman et al. 2007).

Felinos

En México se distribuyen seis especies de felinos, algunos de afinidad neártica y otros de afinidad neotropical; las seis especies han sido registradas en el estado de Puebla. Su importancia ecológica es ampliamente reconocida por ser depredadores que controlan las poblaciones de diversas especies de mamíferos, aunque también se alimentan de aves. La morfología, conducta y hábitos alimenticios de las distintas especies resalta la importancia a nivel ecológico de todo el grupo.

Por ejemplo, el jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*) es una especie pequeña especializada en la caza de roedores y otros pequeños mamíferos, tolera y en ocasiones se beneficia de algunas modificaciones antrópicas. Es una especie que frecuentemente se alimenta en límites de cultivos o dentro de cañaverales.

El tigrillo (*Leopardus wiedii*), es una especie pequeña de hábitos nocturnos y crepusculares, que se alimenta tanto en suelo como en los árboles de distintas especies de mamíferos y aves.

El ocelote (*Leopardus pardalis*), es principalmente diurno y de hábitos crepusculares, pero también puede cazar de noche, sus presas son un poco mayores a las que prefieren los tigrillos, incluyendo conejos, aves de hábitos terrestres como los crácidos, reptiles como las iguanas, entre otros organismos. Tanto los tigrillos como los ocelotes usualmente habitan en selvas y bosques con estructura vegetal relativamente cerrada.

Los lince habitan en una gran cantidad de ecosistemas, aunque no son frecuentes en selvas húmedas. Están especializados en mamíferos como los conejos y en el estado de Puebla son relativamente comunes en bosques templados y selvas bajas; Puebla y Oaxaca se consideran como el límite sur de su distribución.

El puma (*Puma concolor*) y el jaguar (*Panthera onca*), son los dos felinos más grandes del continente americano, el primero distribuido en casi todo el continente y el jaguar con afinidad neotropical. Ambas especies, se consideran como depredadores tope, que consumen especies de tamaño mediano y grande como los tejones, venados y pecaríes. Un aspecto importante es que se ha reportado que cuando hay simpatría de las dos especies, es decir, que comparten el mismo territorio, usualmente difieren en la selección de hábitat y presas, por ejemplo, el jaguar prefiere a los pecaríes y el puma a los venados y tejones.

A nivel ecológico, es importante resaltar que se ha reportado el ataque de pumas a otros mesodepredadores generalistas, como el coyote y de manera importante del jaguar a los perros de libre rango (Botello, comunicación personal), por lo que el primero ejerce un control sobre poblaciones de mamíferos que pueden llegar a tener interacciones negativas frecuentes con el humano y el segundo controla el fuerte impacto que tienen los animales ferales sobre el ecosistema. La problemática sobre su conservación está principalmente relacionada a actividades antrópicas, por lo que, el posible incremento del avance en la frontera agropecuaria es debida en parte por modificaciones en la precipitación y la temperatura que podría incrementar el nivel de amenaza que tienen estas especies (Botello et al. 2015; Dyck et al. 2022; Farias et al 2014; Khosravi et al. 2021; Villarreal 2016)

Murciélagos

Los murciélagos constituyen un grupo con numerosas especies que son reconocidas por su relevancia en el ecosistema: los murciélagos insectívoros se alimentan de millones de individuos todas las noches, mientras que los murciélagos nectarívoros y frugívoros son fundamentales para los procesos de polinización y dispersión de una gran cantidad de plantas en todos los ecosistemas.

La problemática para estas especies está relacionada con el desconocimiento de su relevancia y la consecuente vandalización de las cuevas y otras estructuras que les sirven como refugios. Por otro lado, podrían ser un grupo clave para mitigar posibles incrementos poblacionales de insectos, pero a su vez, las especies nectarívoras y frugívoras también podrían verse afectados por el cambio en la fenología o disminución en la floración y fructificación de diversas especies de plantas (Arizaga et al. 2000; Kasso, y Balakrishnan, 2013; Valiente-Banuet et al. 1996; Valiente-Banuet et al. 1997).

Especies forestales

Adicionalmente, se incluyeron especies que, dada su importancia para el sector forestal, tanto maderable como no maderable, son consideradas como elementos clave del territorio.

Obtención de datos

Se obtuvieron registros de las especies pertenecientes a los grupos seleccionados de la GBIF, localizados dentro de las ecorregiones terrestres del conjunto de datos RESOLVE Ecorregión (Dinerstein et al. 2017), intersectadas por el estado de Puebla, con año de registro ≥ 1970 . Las ecorregiones son unidades relativamente grandes de terreno en las que se distribuye un conjunto de comunidades biológicas, y cuyos límites se aproximan a la extensión original de las comunidades naturales antes de ocurrir un cambio relevante en el uso del suelo (Olson et al. 2001).

La información obtenida de bases de datos como la GBIF proviene de muestreos, colecciones, estudios y esfuerzos diversos, cada uno con diferentes objetivos y realizado con técnicas distintas. Por ello, frecuentemente se presentan diferentes tipos de errores y sesgos (Chapman, 2005; Beck et al. 2014), que es necesario corregir. Debido a la gran cantidad de datos obtenidos, el realizar la limpieza de forma manual resulta impráctico y propenso a la comisión de errores propios (Zizka et al. 2018).

Para depurar los datos se realizó una limpieza semiautomatizada en la que se eliminaron los siguientes registros: a) registros duplicados, b) registros fósiles, c) ejemplares vivos en cautiverio, d) registros provenientes de la plataforma iNaturalist, e) registros sin especie declarada, f) registros con coordenadas erróneas, g) registros cuya localización corresponde a centroides de divisiones políticas, h) registros cuya localización corresponde a instituciones de investigación, i) registros con localización geográfica atípica, y j) registros localizados en el mar. Mediante este proceso se obtuvo un conjunto de datos de presencia depurado.

Sensibilidad

Diversidad de hábitats

La especificidad de las especies por determinados hábitats o microhábitats es una característica considerada como indicador de su sensibilidad al cambio climático (Foden et al. 2013; 2019). Se espera que este fenómeno llevará a la mayoría de las especies a experimentar cambios en sus hábitats; aquellas especies que estén menos asociadas a condiciones específicas probablemente sean menos vulnerables (Carr et al. 2014).

Esta variable se construyó con el grupo de datos de Ecosistemas Terrestres del Mundo (Sayre et al. 2020). Para cada especie, se identificó el número de diferentes ecosistemas en los cuales se tienen registros de presencia.

Idoneidad climática actual

La vulnerabilidad de las especies ante el cambio climático depende de su distribución geográfica. El tamaño de la distribución es una variable que puede explicar el riesgo de extinción (Staude et al. 2020) y está correlacionada con la sensibilidad (Thuiller et al. 2005). En general, especies con áreas de distribución mayores pueden considerarse menos vulnerables (Lucas et al. 2019). Como sucedáneo del área de distribución actual de las especies dentro del Estado, se usaron las zonas con idoneidad climática.

La idoneidad climática actual, se calculó mediante modelos de distribución de especies (SDM). Estos modelos se construyen extrapolando la distribución espacial y temporal, basándose en modelos estadísticos, a partir de la observación de la presencia de las especies y las variables ambientales que se presume influyen en la idoneidad del hábitat (Franklin, 2010). Aunque presenta ciertas limitaciones y asume diferentes supuestos, esta técnica ha sido ampliamente usada para evaluar los efectos del cambio climático en la diversidad biológica (Araújo et al. 2019; Srivastava et al. 2019), así como para determinar la vulnerabilidad de las especies ante este fenómeno (Broennimann et al. 2006; Li et al. 2013; Pacifici et al. 2015; Foden et al. 2019; Razgour et al. 2019; Zhu et al. 2022).

Predictores

Como variables predictoras se usaron 19 variables bioclimáticas del conjunto de datos WorldClim 2.1 (Fick y Hijmans 2017) a una resolución de 30 segundos de arco (~1 km). Las 19 variables en formato raster se cortaron a la extensión de las ecorregiones terrestres (Dinerstein et al. 2017) intersectadas por el Estado. Aunque existe evidencia de que la multicolinealidad tiene efectos pequeños en el desempeño de modelos ajustados con diferentes algoritmos (Brun et al. 2020), es aconsejable excluir aquellas variables altamente correlacionadas (Dormann et al. 2013). Se identificaron y excluyeron las variables climáticas altamente correlacionadas mediante el cálculo del factor de inflación de varianza (VIF) (Naimi et al. 2014).

De las 19 variables bioclimáticas iniciales, se mantuvieron 10 para ajustar los modelos: a) bio2: promedio del rango de temperatura diurno, b) bio3: isothermalidad, c) bio5: temperatura máxima del mes más cálido, d) bio8: temperatura media del trimestre más húmedo, e) bio9: temperatura media del trimestre más seco, f) bio13: precipitación del mes más húmedo, g) bio14: precipitación del mes más seco, h) bio15: estacionalidad de la precipitación, i) bio18: precipitación del trimestre más cálido, y j) bio19: precipitación del trimestre más frío.

Datos de presencia

Se realizó un adelgazamiento espacial del conjunto de datos de presencia depurado, de tal manera que cada especie estuviera representada por un único registro en cada celda de 1 km² de las variables predictoras seleccionadas. Se eliminaron aquellas especies con menos de 25 registros y se estableció un número máximo de 50,000 (Valavi et al. 2022).

Para reducir los sesgos ambientales y geográficos inherentes a la naturaleza del repositorio del cual se obtuvieron los registros, se filtraron los datos de presencia mediante las aproximaciones propuestas por Velazco et al. (2022).

Dado que sólo se cuenta con datos de presencia, para ajustar los modelos es necesario crear un grupo de datos que funcionen como sucedáneos de los sitios donde no se distribuyen las especies o que comprendan la variedad de valores que toman las variables predictoras en el área de entrenamiento. Éstos se generaron seleccionando 50,000 puntos de forma aleatoria (Valavi et al. 2022) dentro del área de entrenamiento.

Área de entrenamiento

Para cada especie, se estableció un área de entrenamiento (M sensu Soberón y Peterson 2005) restringiendo la extensión espacial de las variables predictoras de acuerdo con las ecorregiones terrestres con registros de presencia.

Ajuste de modelos

Existen diferentes algoritmos para ajustar SDM. Los modelos de distribución ensamblados permiten reducir la incertidumbre y el error asociado (Araújo y New, 2007; Thuiller et al. 2005; Thuiller et al. 2009) al reflejar la tendencia central de los diferentes modelos individuales usados para construirlos (Zhu y Peterson 2017). Se ajustaron modelos individuales para cada especie con las áreas de entrenamiento respectivas mediante cuatro algoritmos: a) Boosted Regression Trees (GBM), b) Random Forest (RF), c) MaxEnt (MAX) y d) Support Vector Machines (SVM), que fueron seleccionados por su desempeño (Valavi et al. 2022).

El desempeño de los modelos ajustados se evaluó mediante la técnica de validación cruzada dividiendo los datos en 5 subconjuntos (k-folds) (Guisan et al. 2017), y usando el estadístico “true skill statistic” (TSS) (Allouche et al. 2006). Los modelos individuales se ensamblaron promediando los mejores modelos usando como métrica de desempeño el valor que maximiza la suma de la sensibilidad y la especificidad.

Los modelos obtenidos se proyectaron al espacio geográfico correspondiente al estado de Puebla, y posteriormente, se transformaron a proyecciones binarias, i.e. zonas idóneas-no idóneas, usando el umbral que maximiza el valor del TSS (Allouche et al. 2006; Zhang et al. 2019), para obtener las capas de idoneidad climática actual.

Finalmente, para cada especie, se calculó el porcentaje del área del Estado que representa la superficie de idoneidad climática actual.

Categoría de riesgo

Los impactos del cambio climático actúan de forma sinérgica con otros impactos de naturaleza antropogénica, como la pérdida y fragmentación del hábitat, la caza, la pesca y su captura incidental, la sobreexplotación, la

extracción de agua, el enriquecimiento de nutrientes, la contaminación, la introducción humana de especies invasoras, las plagas y las enfermedades (IPCC, 2022). Para la asignación de las categorías de riesgo a las especies y su inclusión en la NOM-059-SEMARNAT-2010, se consideran cuatro criterios que reflejan la sensibilidad intrínseca de las especies, así como las amenazas a las que están sujetas (Mayani-Parás et al. 2022). Se prevé que las especies endémicas y en peligro de extinción perderán más hábitat que otras debido al cambio climático (Li et al. 2013).

Esta variable se construyó asignando un valor numérico a las categorías de riesgo establecidas en la NOM-059 (sujeta a protección especial (Pr), amenazada (A), en peligro (P)), de tal manera que la contribución a la sensibilidad sea: $Pr < A < P$.

Endemismo

La rareza de las especies es un atributo considerado como indicador de su sensibilidad ante el cambio climático (Foden et al. 2013; 2019). Los rangos de distribución restringidos de las especies endémicas frecuentemente implican un mayor riesgo de extinción producto de impactos locales (Manes et al, 2021). Dado que las especies con poblaciones pequeñas presentan una vulnerabilidad inherente mayor a la de las especies comunes o más extendidas, así como una menor resiliencia, muchas especies enfrentarán mayores impactos del cambio climático (Carr et al. 2014), y se proyecta que éste fenómeno tendrá un impacto mayor en las especies raras y endémicas (Thomas et al. 2004; Malcom et al. 2006; Dirnböck et al. 2011; Li et al. 2013; Enquist et al. 2019; Manes et al. 2021).

Esta variable se construyó asignando un valor numérico de 1 a aquellas especies identificadas como endémicas según los instrumentos: a) NOM-059-SEMARNAT-2010 y b) la plataforma Enciclovida de la CONABIO.

Exposición

Pérdida de idoneidad climática

La pérdida de idoneidad bajo diferentes proyecciones de cambio climático se calculó proyectando al espacio geográfico los modelos de idoneidad climática actual generados, de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático. Al igual que para los modelos actuales, se generaron capas binarias para cada especie y se calculó el porcentaje de pérdida de idoneidad climática a futuro.

Para identificar zonas donde las especies tendrán una mayor exposición (hot-spots), se sobrepusieron cartográficamente las capas de pérdida de idoneidad de las especies individuales y se agruparon por grupo biológico, de tal manera que las capas resultantes indican el número de especies para las cuales se proyecta pérdida de idoneidad climática a futuro, en una celda determinada.

Capacidad adaptativa

Instrumentos de conservación territorial

Las áreas protegidas son instrumentos esenciales para la conservación de la biodiversidad, y aunque su delimitación actual estática puede disminuir su potencial para proteger especies bajo el cambio climático dadas las nuevas condiciones esperadas (Hoffmann et al. 2019; Elsen et al. 2020), también contribuyen a contrarrestar los efectos de este fenómeno manteniendo a las poblaciones y la conectividad entre éstas y hábitats (Roberts et al. 2020), por lo que son consideradas como elementos importantes para la adaptación de las especies y comunidades humanas al cambio climático (Mansourian et al. 2009).

La capacidad adaptativa se construyó uniendo los polígonos que delimitan a las áreas Naturales Protegidas (ANP) de los ámbitos federal, estatal y municipal, y a las Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC) del Estado. Estos fueron intersectados con las áreas de idoneidad climática actual de las especies y se calculó el porcentaje de superficie correspondiente.

Vulnerabilidad

Par hacerlas intercomparables, las variables se normalizaron mediante la fórmula:

$$xn = \frac{x}{\max(x)}$$

y los valores obtenidos se invirtieron para aquellas cuya contribución al componente respectivo es negativa, es decir, el valor del componente aumenta mientras menor es el valor de la variable. Las variables individuales se sumaron para construir los componentes correspondientes y se aplicó la fórmula mencionada para calcular la vulnerabilidad. Los valores continuos obtenidos se clasificaron en tres clases mediante el método de k-medias para obtener tres clases de vulnerabilidad: 1=Baja, 2=Media 3=Alta. Todos los análisis se realizaron en el lenguaje y ambiente de programación estadístico R (R Core Team, 2022).

5. RESULTADOS

Se calculó la vulnerabilidad al cambio climático para 399 especies agrupadas en 17 grupos (Figura 7). El 26.3% de las especies presentan vulnerabilidad alta (105), 45.1% media (180) y 28.6% (114) vulnerabilidad baja (Figura 8). Las rapaces y los psitácidos son los grupos animales con mayor proporción de especies con vulnerabilidad alta, mientras que las cícadas son el grupo de plantas más vulnerable (Figura 9). Las especies de sorícidos, momotos y felinos únicamente presentan vulnerabilidad media, mientras que los trogones, rapaces y psitácidos no presentan especies con vulnerabilidad baja.

Agregando los resultados por región, la Sierra Norte, Sierra Nororiental y Sierra Negra son las regiones que presentan una mayor proporción de especies con vulnerabilidad alta (Figura 10), con 79, 77 y 94 especies respectivamente.

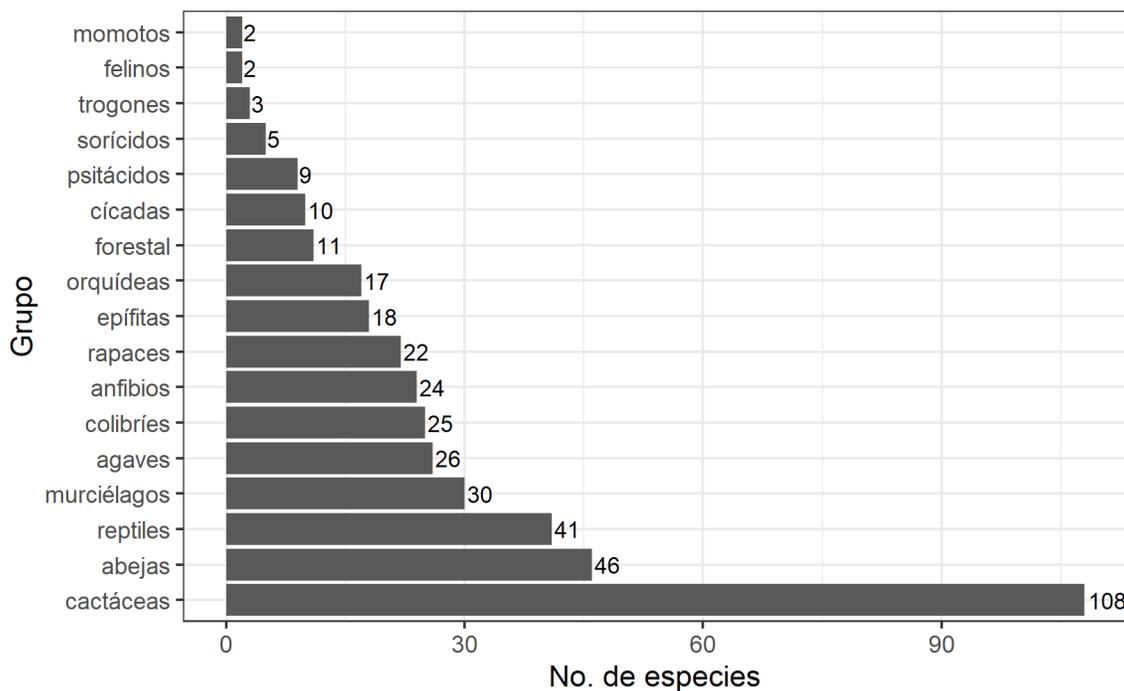


FIGURA 7. NÚMERO DE ESPECIES EVALUADAS POR GRUPO.

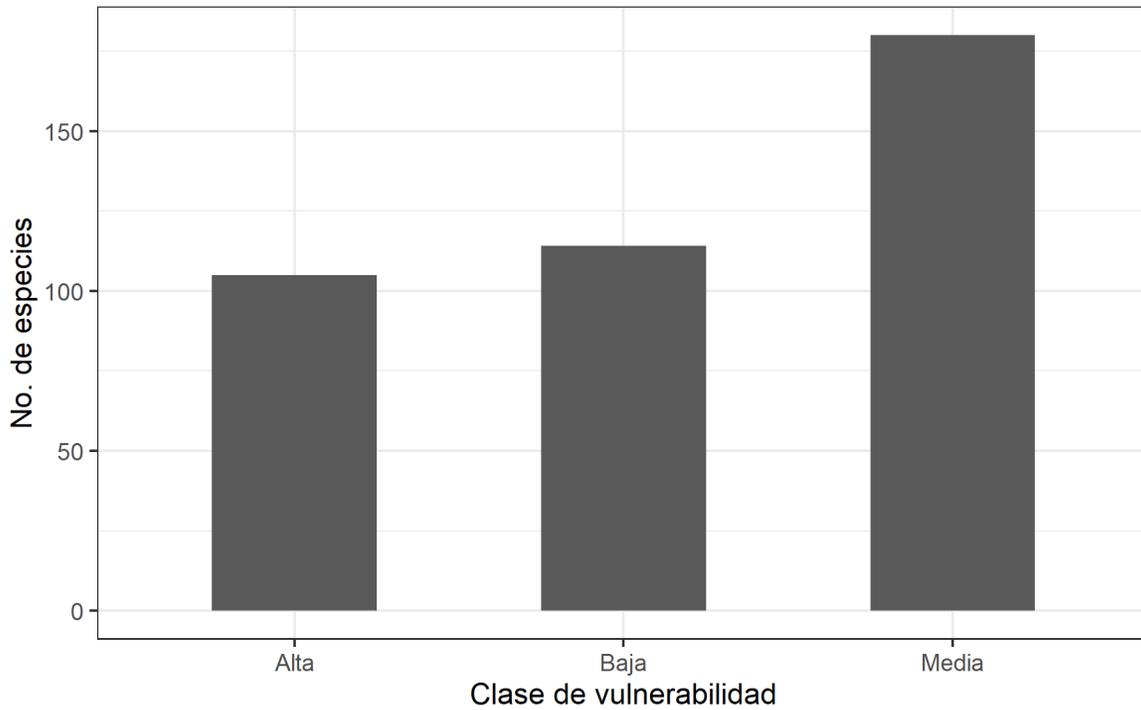


FIGURA 8. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASE DE VULNERABILIDAD.

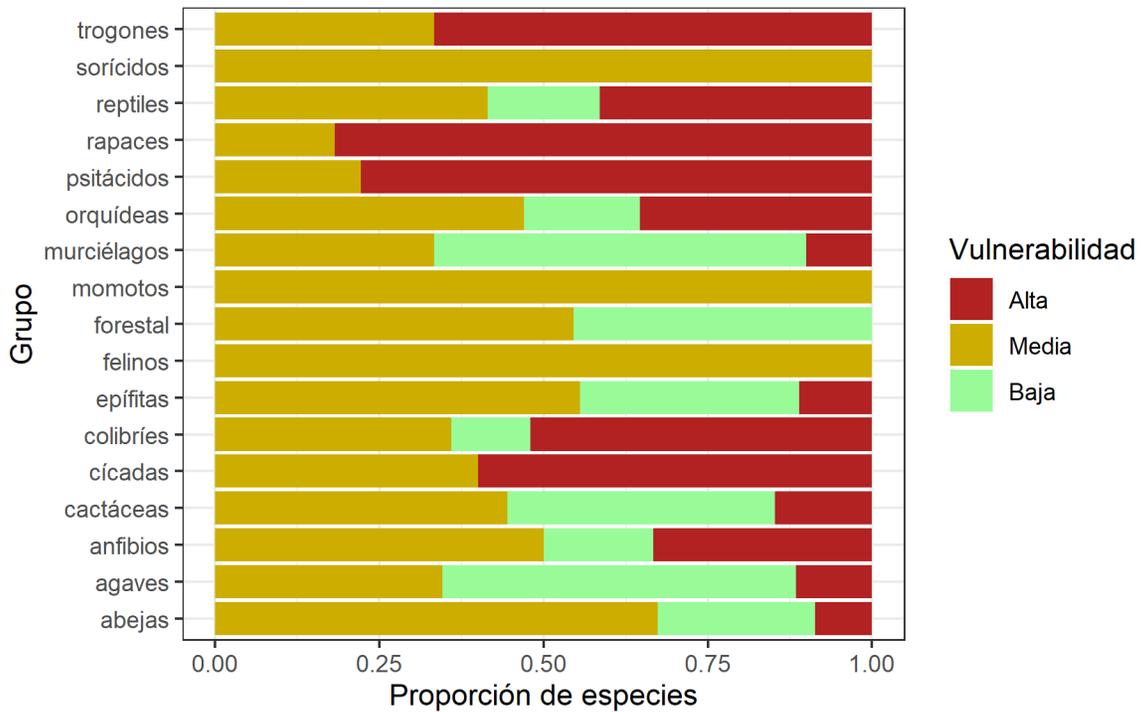


FIGURA 9. PROPORCIÓN DE ESPECIES POR CLASE DE VULNERABILIDAD Y GRUPO.

TABLA 8. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASES DE VULNERABILIDAD Y REGIÓN.

Región	Alta	Baja	Media
Angelópolis	35	98	123
Mixteca	39	110	150
Sierra Negra	94	114	177
Sierra Nororiental	77	96	148
Sierra Norte	79	99	153
Valle Atlixco	49	101	139
Valle Serdán	71	105	159

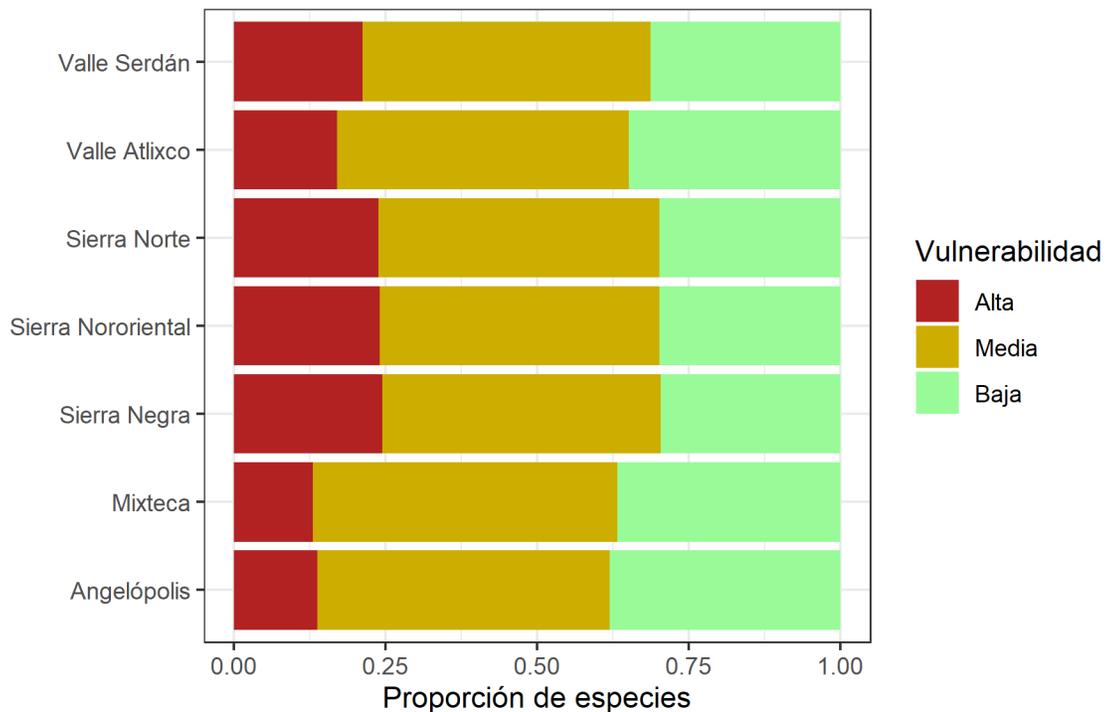


FIGURA 10. PROPORCIÓN DE ESPECIES POR CLASE DE VULNERABILIDAD Y REGIÓN.

De acuerdo con las capas de pérdida de idoneidad climática, la Mixteca, las Sierra Negra y el Valle de Atlixco son las regiones en las que las cactáceas y abejas presentan un promedio mayor de especies cuyas condiciones climáticas a futuro no serán propicias (Figura 11). En las figuras 12 a 27 se presentan las capas de pérdida de idoneidad climática para los diferentes grupos de especies.

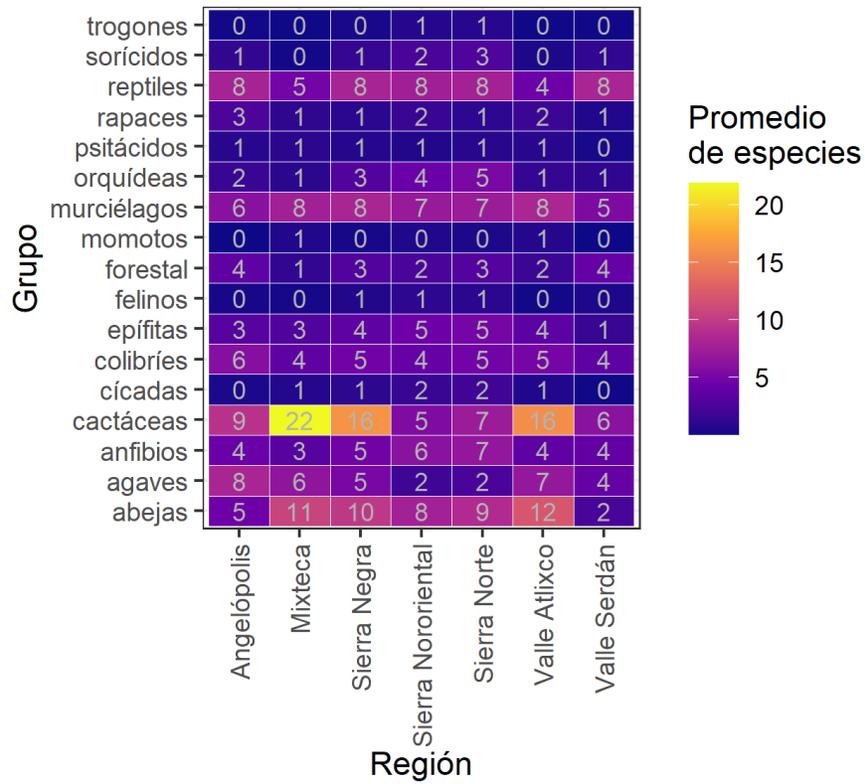


FIGURA 11. PROMEDIO DE ESPECIES CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA A FUTURO POR GRUPO Y REGIÓN.

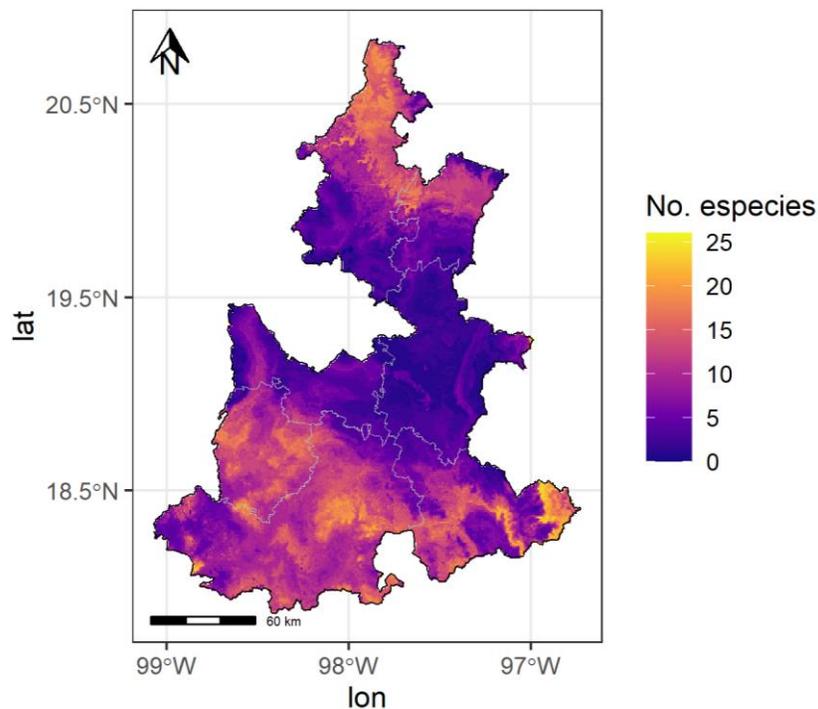


FIGURA 12. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LAS ABEJAS.

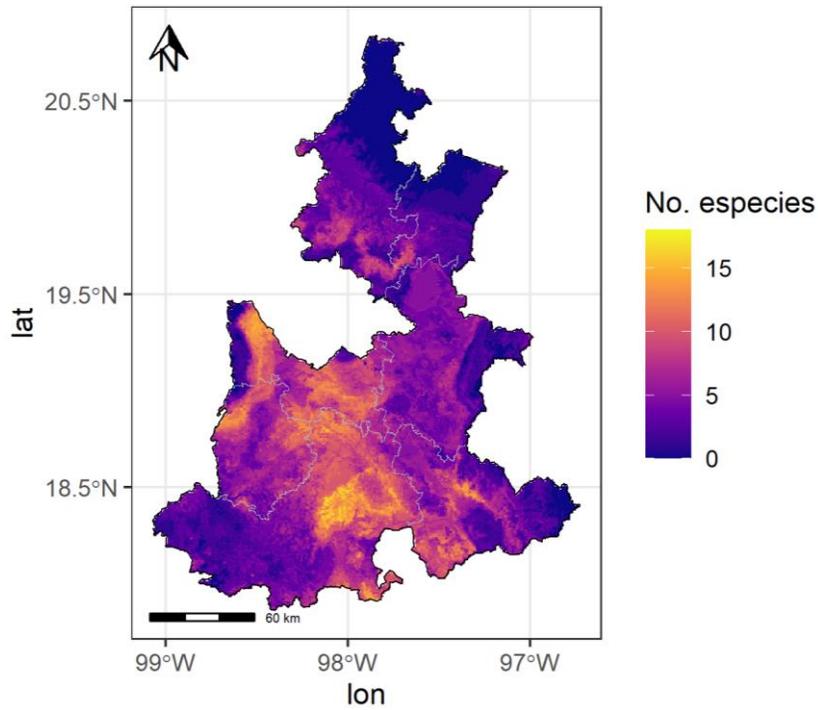


FIGURA 13. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS AGAVES.

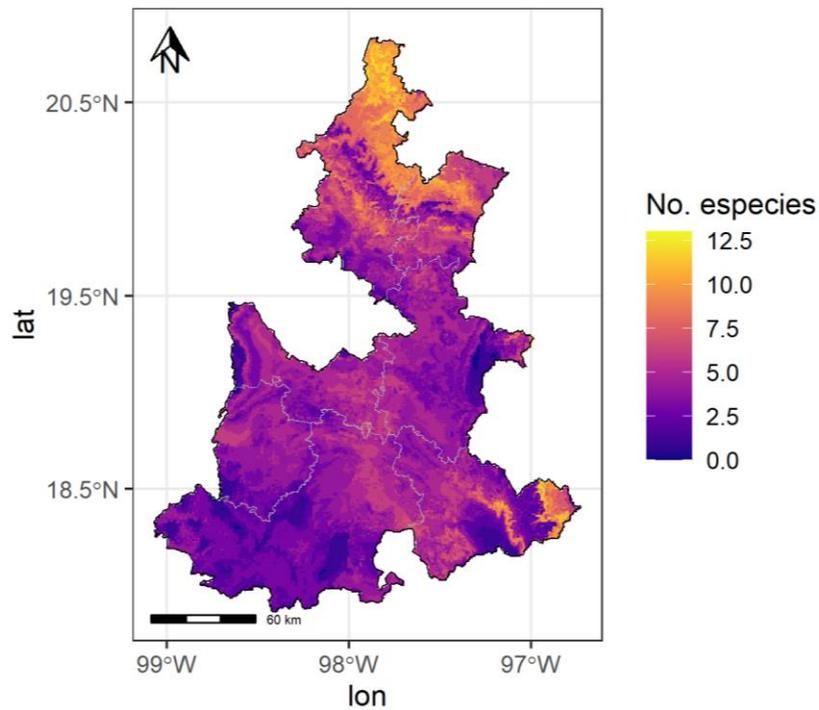


FIGURA 14. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS ANFIBIOS.

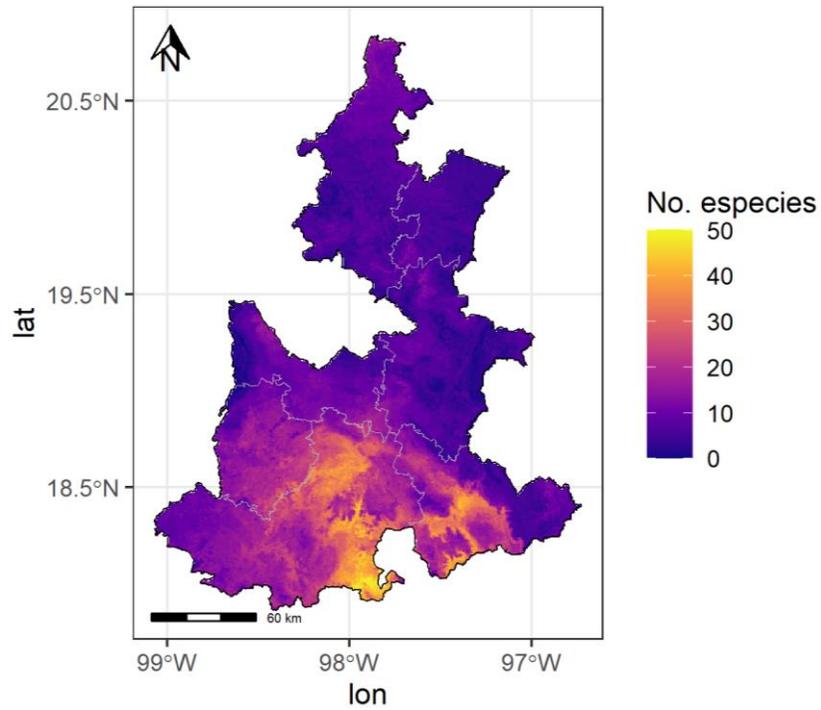


FIGURA 15. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LAS CACTÁCEAS.

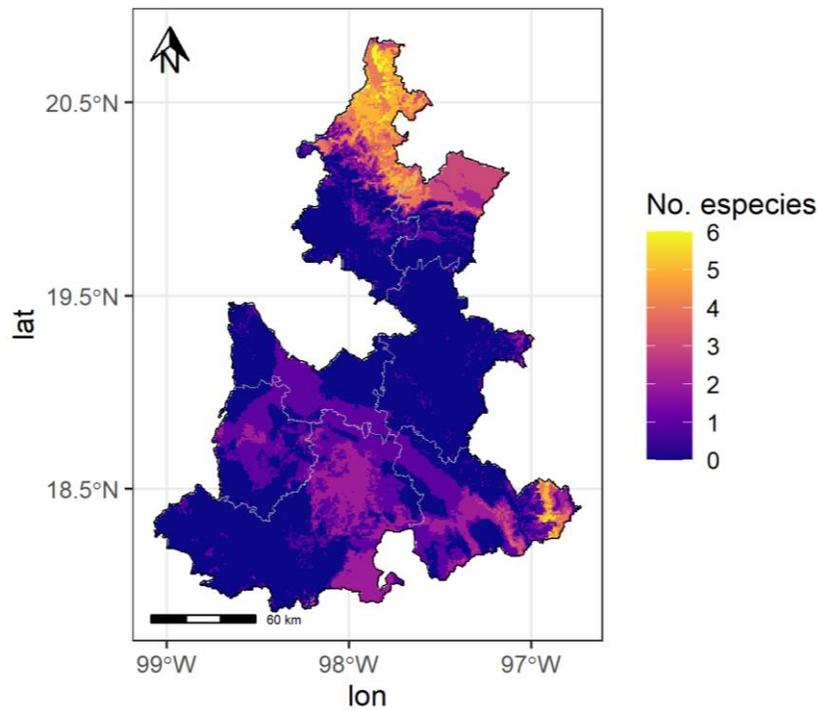


FIGURA 16. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LAS CÍCADAS.

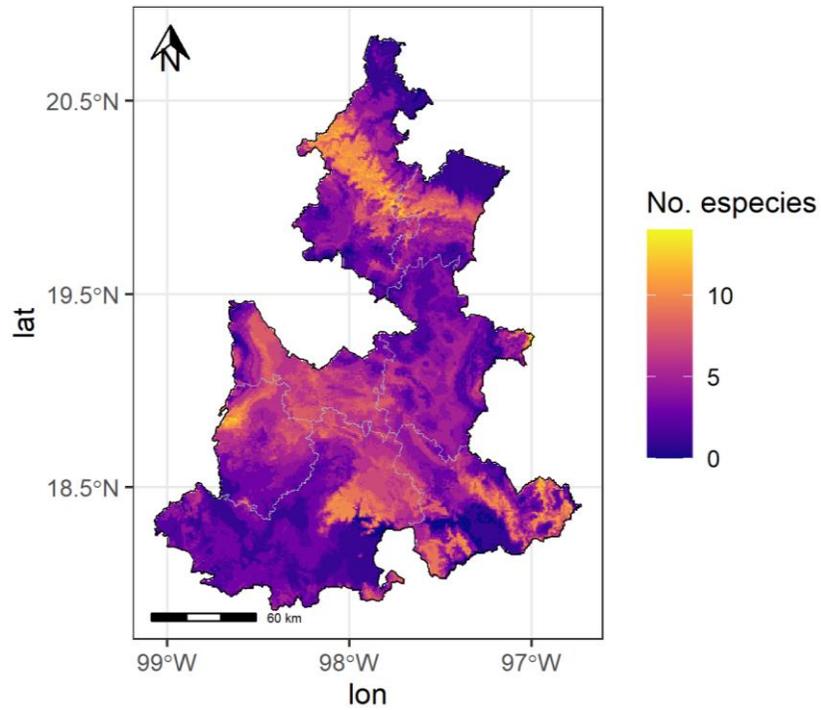


FIGURA 17. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS COLIBRÍES.

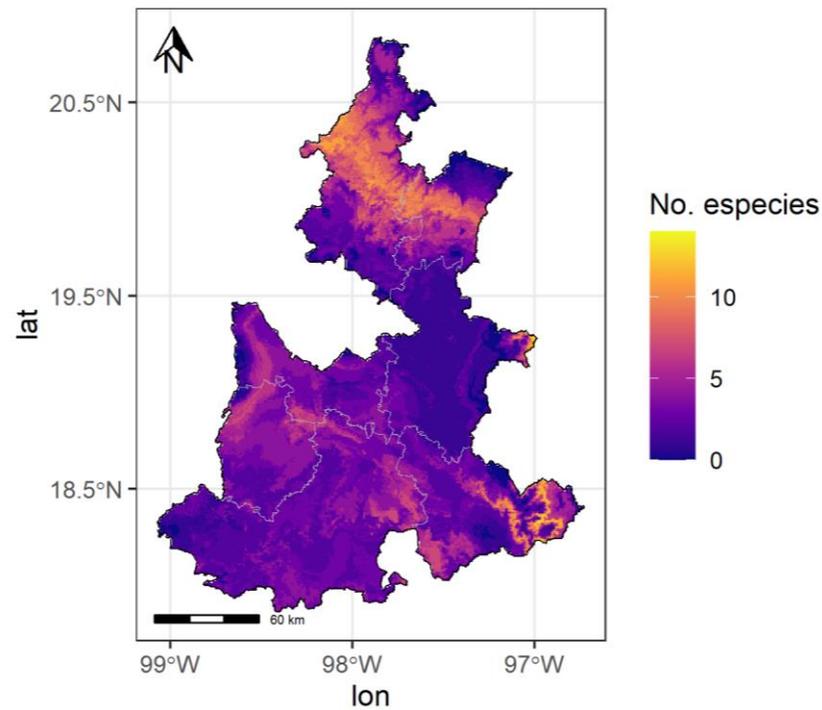


FIGURA 18. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LAS EPÍFITAS.

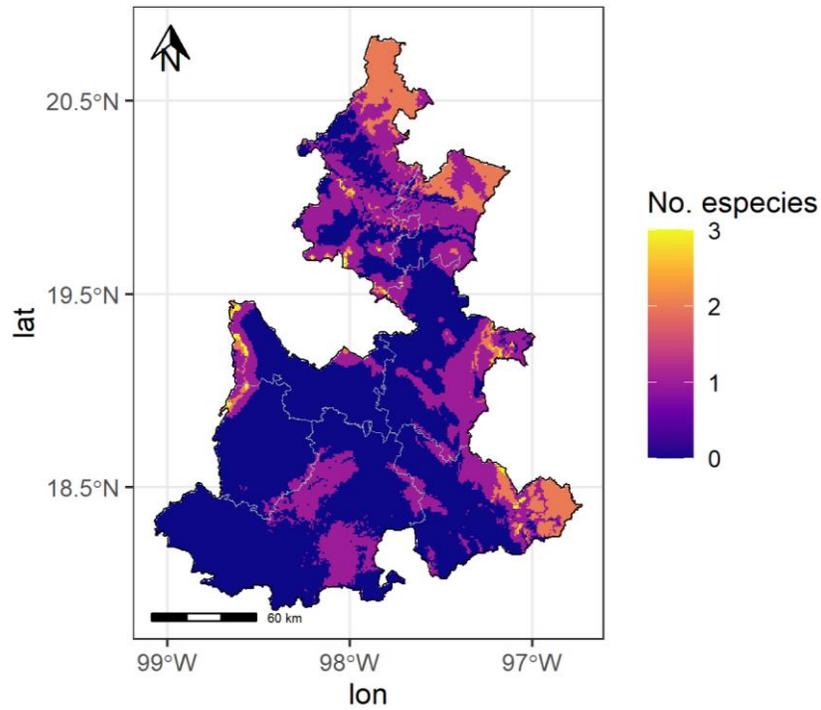


FIGURA 19. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS FELINOS.

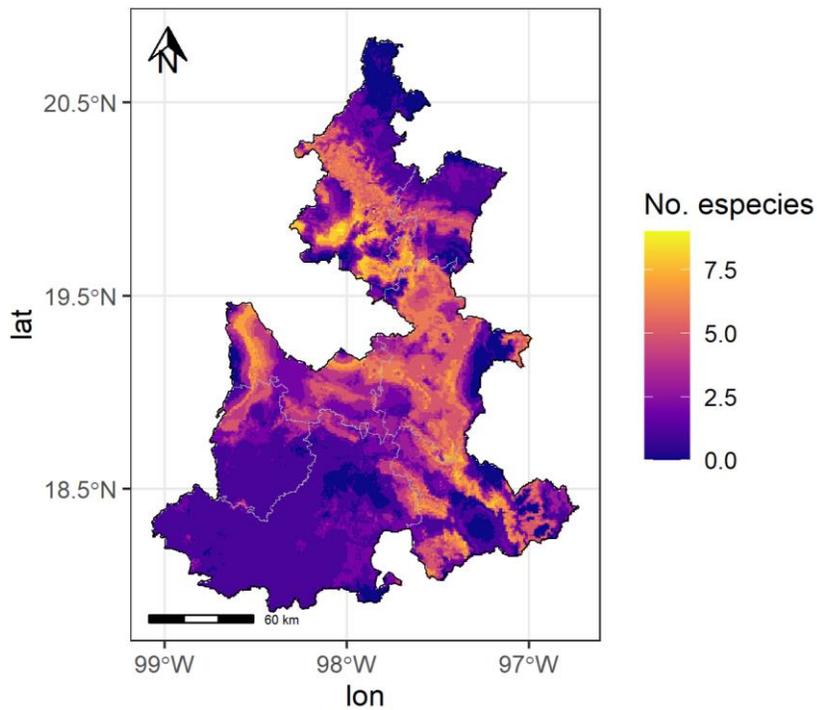


FIGURA 20. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LAS ESPECIES FORESTALES.

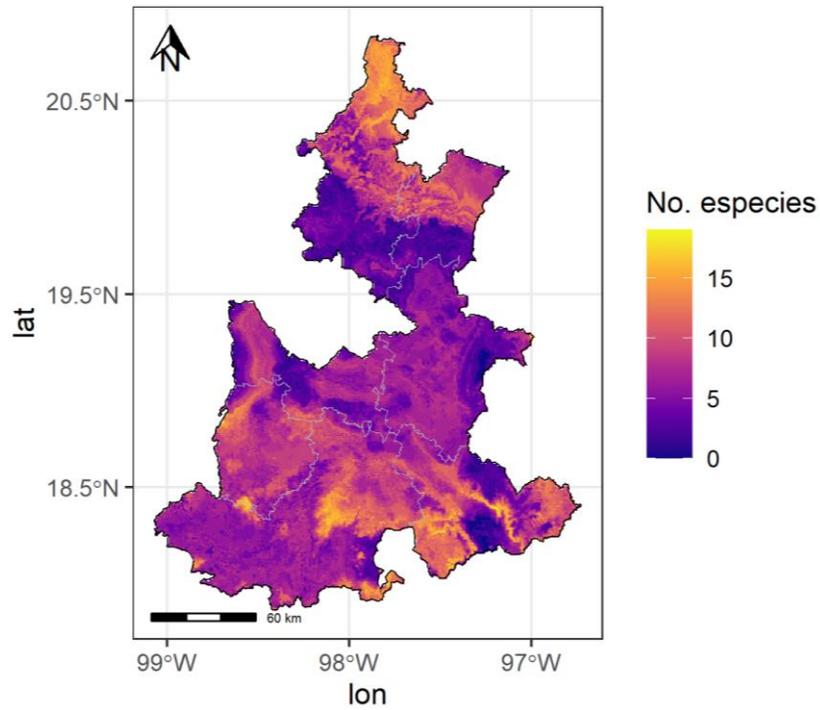


FIGURA 21. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS MURCIÉLAGOS.

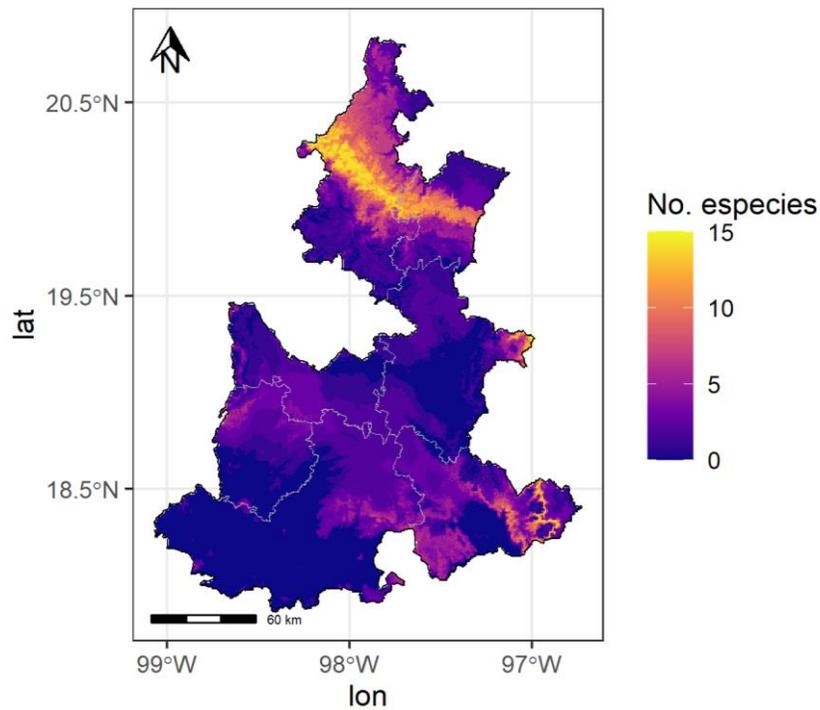


FIGURA 22. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LAS ORQUÍDEAS.

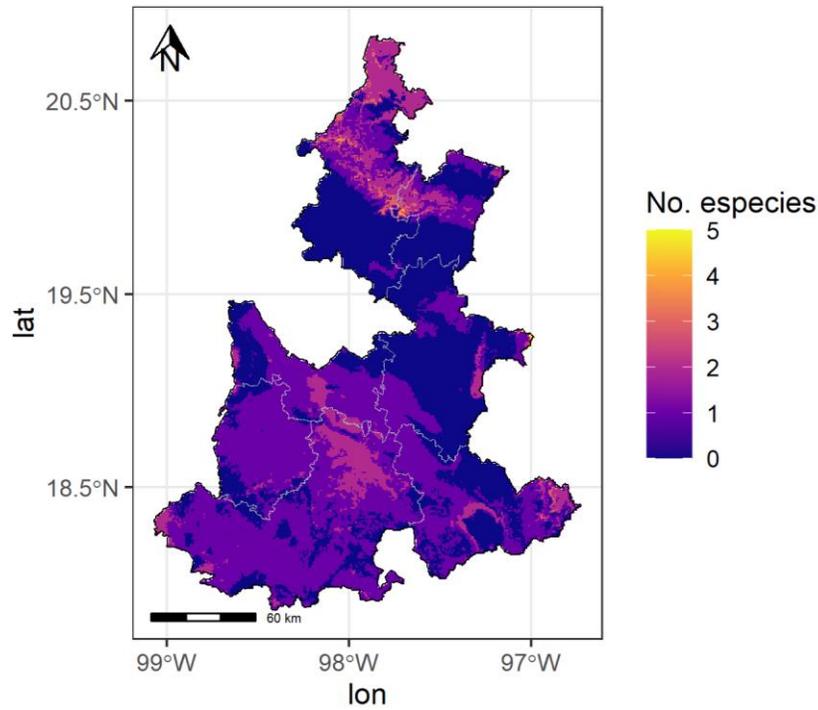


FIGURA 23. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS PSITÁCIDOS.

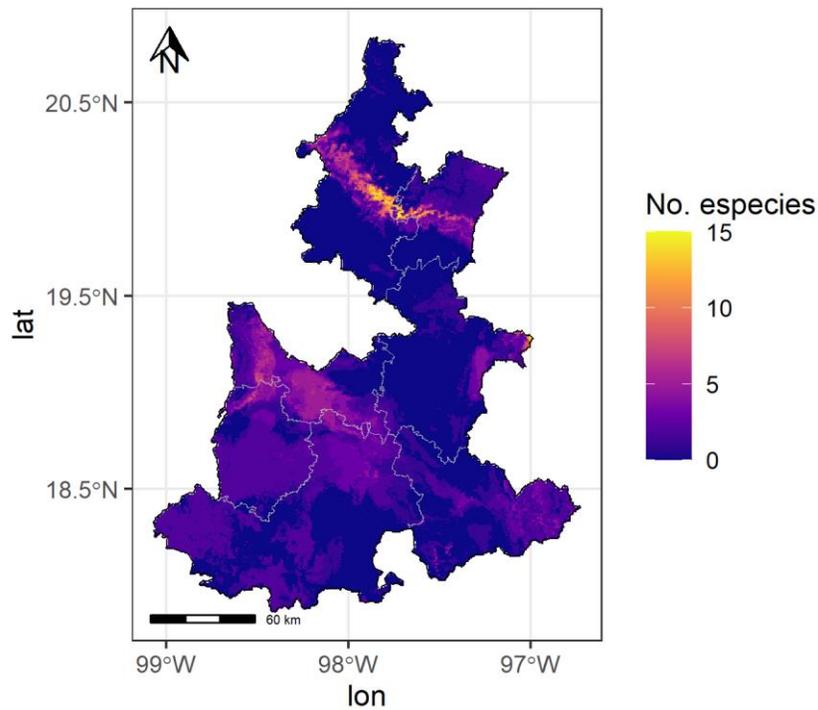


FIGURA 24. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LAS RAPACES.

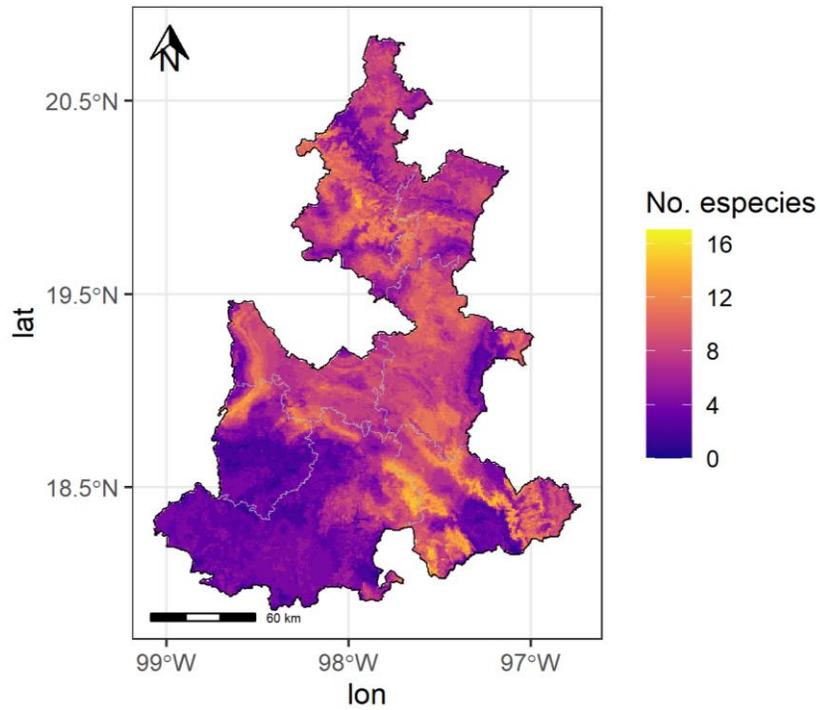


FIGURA 25. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS REPTILES.

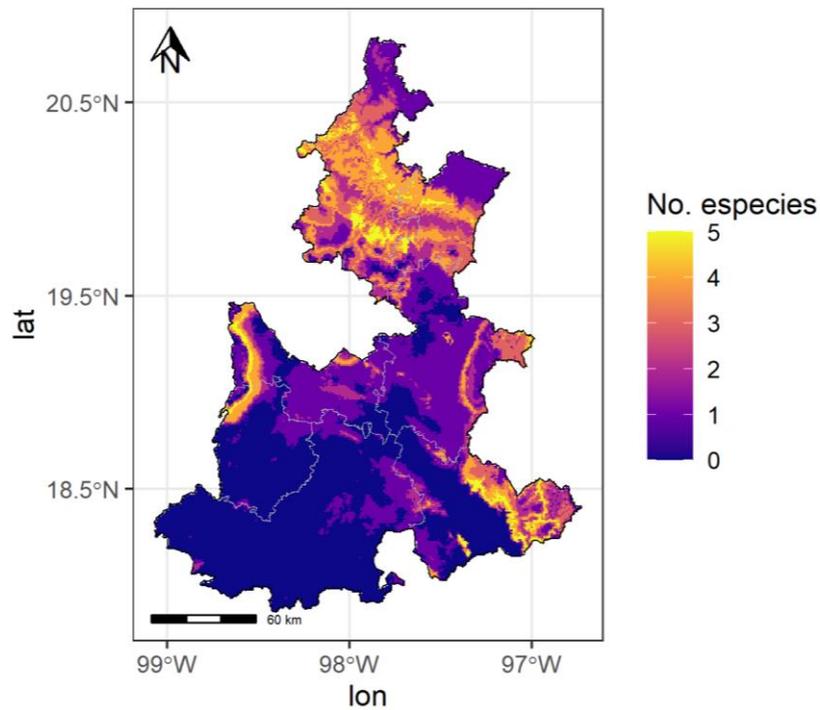


FIGURA 26. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS SORÍCIDOS.

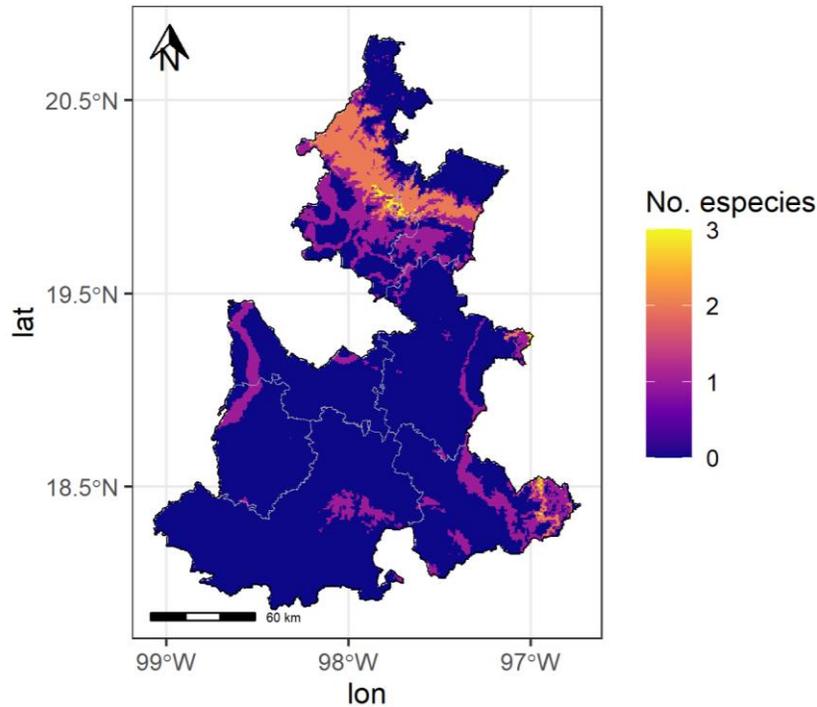


FIGURA 27. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA EL GRUPO DE LOS TROGONES.

Al agrupar los datos de idoneidad climática de las especies individuales se pueden identificar zonas con valores altos. La Mixteca, la Sierra Negra y la Sierra Norte son las regiones con más superficie de zonas de pérdida de idoneidad climática (aproximadamente 1906, 1452 y 913 km² respectivamente) (Tabla 9) para una mayor cantidad de especies; i.e. de 86 a 162 especies. Estas zonas, mostradas en la figura 28, son relevantes para la conservación de las especies evaluadas, ya que representan un insumo importante para el diseño y establecimiento de instrumentos de conservación territorial con un enfoque de cambio climático, así como para el aumento de la conectividad mediante corredores que permitan la dispersión de éstas hacia zonas determinadas, idealmente bajo algún esquema de protección, con condiciones climáticas idóneas en el futuro.

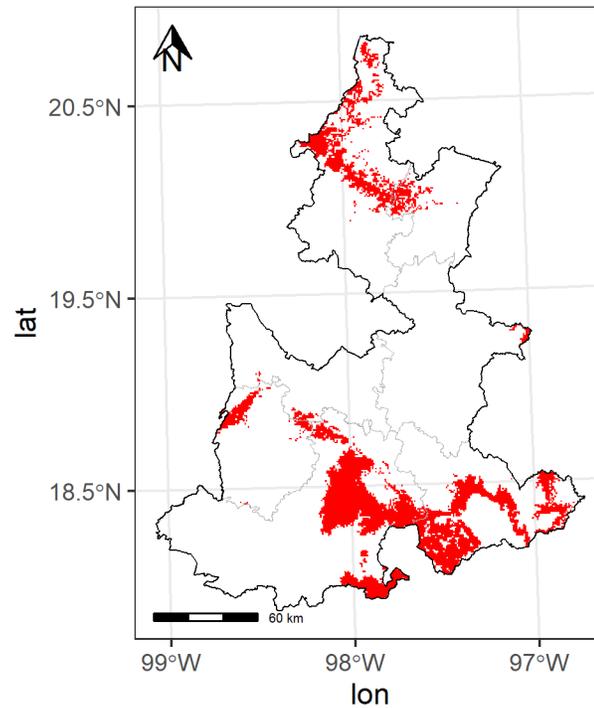


FIGURA 28. ZONAS CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA LA MAYOR CANTIDAD DE ESPECIES.

TABLA 9. SUPERFICIE CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA LA MAYOR CANTIDAD DE ESPECIES POR REGIÓN.

Región	Km ²
Angelópolis	50.0
Mixteca	1906.0
Sierra Negra	1452.0
Sierra Nororiental	191.0
Sierra Norte	913.0
Valle Atlixco	225.0
Valle Serdán	37.9

REFERENCIAS

Ala R. A. (1999). Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomol. Mex*, 106, 1-123.

Allouche, O., Tsoar, A., y Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, 43(6), 1223-1232.

Alonso, L. A. M., León, N. L., Hórvath, A., y Reyes, R. L. (2017). Anfibios. Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas, 348-375.

Aranda, M., Botello, F., y López-de Buen, L. (2012). Diversidad y datos reproductivos de mamíferos medianos y grandes en el bosque mesófilo de montaña de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3), 778-784.

Araújo, M. B., Anderson, R. P., Márcia Barbosa, A., Beale, C. M., Dormann, C. F., Early, R., ... y Rahbek, C. (2019). Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Science Advances*, 5(1), eaat4858.

Araújo, M. B., y New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in ecology and evolution*, 22(1), 42-47.

Arnold, N., Ayala, R., Mérida, J., Sagot, P., Aldasoro, M., y Vandame, R. (2018). Registros nuevos de abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) para los estados de Chiapas y Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89(3), 651-665.

Bautista, J. A., y Smit, M. A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la " región del mezcal " de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 5-20.

Beck, J., Böller, M., Erhardt, A., y Schwanghart, W. (2014). Spatial bias in the GBIF database and its effect on modeling species' geographic distributions. *Ecological Informatics*, 19, 10-15.

Berman, J., McCay, T., y Scull, P. (2007). Spatial analysis of species richness of shrews (Soricomorpha: Soricidae) in North America north of Mexico. *Acta Theriologica*, 52(2), 151-158.

Botello, F., Romero-Calderón, A. G., Sánchez-Hernández, J., Hernández, O., López-Villegas, G., y Sánchez-Cordero, V. (2017). Densidad poblacional del tapir centroamericano (*Tapirella bairdii*) en bosque mesófilo de montaña en Totontepec Villa de Morelos, Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 918-923.

Broennimann, O., Thuiller, W., Hughes, G., Midgley, G. F., Alkemade, J. R., y Guisan, A. (2006). Do geographic distribution, niche property and life form explain plants' vulnerability to global change?. *Global Change Biology*, 12(6), 1079-1093.

Brun, P., Thuiller, W., Chauvier, Y., Pellissier, L., Wüest, R. O., Wang, Z., y Zimmermann, N. E. (2020). Model complexity affects species distribution projections under climate change. *Journal of Biogeography*, 47(1), 130-142.

Camargo, I. C. (2018). Uso y conocimiento de cactáceas en la comunidad otomí de El Alberto, en Ixmiquilpan (Hidalgo, México). *Ambiente y Desarrollo*, 22(43), 6.

Camarillo, J. L. (1998). Observaciones preliminares sobre los anfibios y reptiles de los lagos-cráter de Puebla-Veracruz. *Anales del Instituto de Biología serie Zoología*, 69(001).

Canseco-Márquez, L., y Gutiérrez-Mayén, M. G. (2006). Herpetofauna del municipio de Cuetzalan del Progreso, Puebla. *Inventarios herpetofaunísticos de México: avances en el conocimiento de su biodiversidad*, A. Ramírez-Bautista, L. Canseco-Márquez y F. Mendoza-Quijano (eds.). Sociedad Herpetológica Mexicana, AC, México, DF, 180-196.

Carr, J. A., Hughes, A. F., y Foden, W. B. (2014). A climate change vulnerability assessment of West African species. UNEP-WCMC technical report.

Cartay Angulo, R. C. (2020). Ecoturismo en el paraíso terrenal: orquídeas, mariposas y colibríes en la megabiodiversidad suramericana (Ecotourism in the Earthly Paradise of South America: Orchids, Butterflies and Hummingbirds in This Mega Biodiversity Zone). *Turismo y Sociedad*, 27.

Castellanos, S. A. (2002). Plantas vasculares raras, amenazadas, o en peligro de extinción del estado de Oaxaca, un panorama preliminar. *Polibotánica*, (13), 47-82.

Chapman, A. D. (2005). Principles of Data Quality, version 1.0. Report for the Global Biodiversity Information Facility, Copenhagen.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). Herramienta para la elaboración de Programas de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas, Segunda Edición. México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2011). 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.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2013). Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Estado de Puebla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Puebla. México.

CONANP y PNUD México (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) 2020. Resumen Ejecutivo del Programa de Adaptación al Cambio Climático de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

Contreras-González, A. M., Rivera-Ortíz, F. A., Soberanes-González, C., Valiente-Banuet, A., y Arizmendi, M. C. (2009). Feeding ecology of Military Macaws (*Ara militaris*) in a semi-arid region of central Mexico. *The Wilson Journal of Ornithology*, 384-391.

Diario Oficial de la Federación. (2014). ACUERDO por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Diario Oficial de la Federación. (2014). ACUERDO por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., ... y Saleem, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, 67(6), 534-545.

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., ... y Saleem, M. (2017). An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, 67(6), 534-545.

Dirnböck, T., Essl, F., y Rabitsch, W. (2011). Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. *Global Change Biology*, 17(2), 990-996.

Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., ... y Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27-46.

Dyck, M. A., Wyza, E., y Popescu, V. D. (2022). When carnivores collide: a review of studies exploring the competitive interactions between bobcats *Lynx rufus* and coyotes *Canis latrans*. *Mammal Review*, 52(1), 52-66.

Elsen, P. R., Monahan, W. B., Dougherty, E. R., y Merenlender, A. M. (2020). Keeping pace with climate change in global terrestrial protected areas. *Science advances*, 6(25), eaay0814.

Enquist, B. J., Feng, X., Boyle, B., Maitner, B., Newman, E. A., Jørgensen, P. M., ... y McGill, B. J. (2019). The commonness of rarity: Global and future distribution of rarity across land plants. *Science advances*, 5(11), eaaz0414.

Espinosa Barrera, L. A. (2015). Generalidades e importancia de los agaves en México. *Desde el Herbario CICY*, 7, 161-164

Farias, V., Tellez, O., Botello, F., Hernandez, O., Berruecos, J., Olivares, S. J., y Hernandez, J. C. (2015). First records of 4 felid species in southern Puebla, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(4), 1065-1071.

Fick, S. E., y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315.

Foden, W. B., Butchart, S. H., Stuart, S. N., Vié, J. C., Akçakaya, H. R., Angulo, A., ... y Mace, G. M. (2013). Identifying the world's most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PloS one*, 8(6), e65427.

Foden, W. B., Young, B. E., Akçakaya, H. R., Garcia, R. A., Hoffmann, A. A., Stein, B. A., ... y Huntley, B. (2019). Climate change vulnerability assessment of species. *Wiley interdisciplinary reviews: climate change*, 10(1), e551.

Gernandt, D. S., y Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversity of Pinophyta (conifers) in Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, S126-S133.

Gonzalez R. L. (2022). Caracterización genética y fenotípica de tres taxones de *Agave salmiana* (Asparagaceae) de la región poblano-veracruzana. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

González-Espinosa, M., Meave, J. A., Ramírez-Marcial, N., Toledo-Aceves, T., Lorea-Hernández, F. G., y Ibarra-Manríquez, G. (2012). Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas*, 21(1-2).

Guisan, A., Thuiller, W., y Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models: with applications in R*. Cambridge University Press.

Hoffmann, S., Irl, S. D., y Beierkuhnlein, C. (2019). Predicted climate shifts within terrestrial protected areas worldwide. *Nature communications*, 10(1), 1-10.

IPCC. (2007). *Climate Change. Impact, Adaptation and Vulnerability. Fourth Assessment Report (AR4)*.

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

Kasso, M., y Balakrishnan, M. (2013). Ecological and economic importance of bats (Order Chiroptera). *International Scholarly Research Notices*, 2013.

Khosravi, R., Hemami, M. R., Malakoutikhah, S., Ashrafzadeh, M. R., y Cushman, S. A. (2021). Prey availability modulates predicted range contraction of two large felids in response to changing climate. *Biological Conservation*, 255, 109018.

Lemelin, R. H. (2020). Entomotourism and the stingless bees of Mexico. *Journal of Ecotourism*, 19(2), 168-175.

Li, X., Tian, H., Wang, Y., Li, R., Song, Z., Zhang, F., ... y Li, D. (2013). Vulnerability of 208 endemic or endangered species in China to the effects of climate change. *Regional Environmental Change*, 13(4), 843-852.

Lucas, P. M., González-Suárez, M., y Revilla, E. (2019). Range area matters, and so does spatial configuration: predicting conservation status in vertebrates. *Ecography*, 42(6), 1103-1114.

Luna-Reyes, R., Canseco-Márquez, L., y Hernández-García, E. (2013). Los reptiles. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.). La biodiversidad de Chiapas, Estudio de Estado: México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)/Gobierno del Estado de Chiapas, 319-328.

Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L., y Hannah, L. E. E.

(2006). Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation biology*, 20(2), 538-548.

Manes, S., Costello, M. J., Beckett, H., Debnath, A., Devenish-Nelson, E., Grey, K. A., ... y Vale, M. M. (2021). Endemism increases species' climate change risk in areas of global biodiversity importance. *Biological Conservation*, 257, 109070.

Mansourian, S., Belokurov, A., y Stephenson, P. J. (2009). The role of forest protected areas in adaptation to climate change. *Unasylva*, 60(231-232), 63-69.

Mayani-Parás, F., Botello, F., Castañeda, S., Munguía-Carrara, M., y Sánchez-Cordero, V. (2022). Extinction risk assessment of the endemic terrestrial vertebrates in Mexico. *Biological Conservation*, 270, 109562.

Mayett Moreno, Y., Castañeda, E. S., y Barajas Dominguez, M. (2014). Comercialización de cicadas mexicanas (Zamiaceae) en Atlixco, Puebla: un estudio exploratorio. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(4), 633-644.

McKey, D. (2021). The ecology of coevolved seed dispersal systems. In *Coevolution of animals and plants* (pp. 159-191). University of Texas Press.

Menchaca García, R. A., Lozano Rodríguez, M. Á., y Sánchez Morales, L. (2012). Estrategias para el aprovechamiento sustentable de las orquídeas de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(13), 09-16.

Mendoza, A. G., Lezama, P. T., y Santiago, J. R. (1994). El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botanica Mexicana*, (27), 53-73.

Miguel-Talonia, C., Téllez-Valdés, O., y Murguía-Romero, M. (2014). Las cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: estimación de la calidad del muestreo. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(2), 436-444.

Naimi, B., Hamm, N. A., Groen, T. A., Skidmore, A. K., y Toxopeus, A. G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling?. *Ecography*, 37(2), 191-203.

Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., ... y Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 51(11), 933-938.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2011. Situación de los bosques del mundo 2011. Roma.

Ortiz-Pulido, R., Anaid Díaz, S., Valle-Díaz, O. I., y Fisher, A. D. (2012). Colibríes y las plantas que visitan en la Reseva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(1), 152-163.

Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E., Butchart, S. H., Kovacs, K. M., ... y Rondinini, C. (2015). Assessing species vulnerability to climate change. *Nature climate change*, 5(3), 215-224.

Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., y Hanson, C. (Eds.). (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge University Press.

Pérez-Sato, J. A. (2018). Aviturismo en la región de las altas montañas de Veracruz, México. *Agro Productividad*, 11(8).

PROVIA-UNEP. (2013). Research priorities on Vulnerability, Impacts and Adaptation: Responding to the Climate Change Challenge.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Razgour, O., Forester, B., Taggart, J. B., Bekaert, M., Juste, J., Ibáñez, C., ... y Manel, S. (2019). Considering adaptive genetic variation in climate change vulnerability assessment reduces species range loss projections. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(21), 10418-10423.

Rivera-Hernández, J. E. (2018). El monitoreo comunitario de aves en la región de Las Altas Montañas de Veracruz, México: hacia un aviturismo comunitario. *Agro Productividad*, 11(6), 31-37.

Roberts, C. M., O'Leary, B. C., y Hawkins, J. P. (2020). Climate change mitigation and nature conservation both require higher protected area targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1794), 20190121.

Romero-Calderón, A. G., Botello, F., Sánchez-Hernández, J., López-Villegas, G., Vázquez-Camacho, C., y Sánchez-Cordero, V. (2021). Species diversity of mammals and birds using camera-traps in a cloud forest in a mexican hotspot. *The Southwestern Naturalist*, 65(1), 28-33.

Royo-Márquez, M. H., Melgoza-Castillo, A., y Quintana-Martínez, G. (2014). Especies vegetales en peligro, su distribución y estatus de conservación de los ecosistemas donde se presentan. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 86-103.

Sayre, R., Karagulle, D., Frye, C., Boucher, T., Wolff, N. H., Breyer, S., ... y Possingham, H. (2020). An assessment of the representation of ecosystems in global protected areas using new maps of World Climate Regions and World Ecosystems. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00860.

SEMARNAT - CONANP (2021). Programa de Adaptación al Cambio Climático del Complejo Selva Maya.

Soberón, J., y Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodivers. Inform.* 2, 1-10.

Staude, I. R., Navarro, L. M., y Pereira, H. M. (2020). Range size predicts the risk of local extinction from habitat loss. *Global Ecology and Biogeography*, 29(1), 16-25.

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... y Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148.

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., y Araújo, M. B. (2009). BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373.

Thuiller, W., Lavorel, S., y Araújo, M. B. (2005). Niche properties and geographical extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 14(4), 347-357.

Tinoco, C. E., Cruz, D. L. G., y Tolentino, M. H. (2021). Restauración del hábitat natural del agave silvestre *potatorum zucc*, en la región mixteca de Oaxaca, México/Restoration of the natural habitat of the wild agave *potatorum zucc*, in the mixteca region of Oaxaca, Mexico. *Universidad y Ciencia*, 10, 105-116.

Valavi, R., Guillera-Aroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., y Elith, J. (2022). Predictive performance of presence-only species distribution models: a benchmark study with reproducible code. *Ecological Monographs*, 92(1), e01486.

Valencia-A, S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Botanical sciences*, (75), 33-53.

Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M. D. C., Rojas-Martínez, A., y Domínguez-Canseco, L. (1996). Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 12(1), 103-119.

Valiente-Banuet, A., Rojas-Martínez, A., Arizmendi, M. D. C., y Dávila, P. (1997). Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalaensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, central Mexico. *American Journal of Botany*, 84(4), 452-455.

Velazco, S. J. E., Rose, M. B., de Andrade, A. F. A., Minoli, I., y Franklin, J. (2022). flexsdm: An r package for supporting a comprehensive and flexible species distribution modelling workflow. *Methods in Ecology and Evolution*.

Villa-Bonilla, B., Rojas-Soto, O. R., Colodner-Chamudis, A. G., y Tejeda-Cruz, C. (2008). Inventarios municipales de avifauna y su aplicación a la conservación: el caso de Zacapoaxtla, Puebla, México. *Ornitología Neotropical*, 19, 531-551.

Villarreal, S. C. (2016). Selected ecological patterns and distribution of five sympatric felids in northeastern Mexico (Doctoral dissertation, Texas A&M University-Kingsville).

Villaseñor, J. L. (2003). Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*, 28(3), 160-167.

Villaseñor, J. L., y Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, S134-S142.

Wheatley, C. J., Beale, C. M., Bradbury, R. B., Pearce-Higgins, J. W., Critchlow, R., y Thomas, C. D. (2017). Climate change vulnerability for species—Assessing the assessments. *Global Change Biology*, 23(9), 3704-3715.

Yáñez-Ordóñez, O., Ortega, T., y Llorente Bousquets, J. (2008). Patrones de distribución de las especies de la tribu Meliponini (Hymenoptera: Apoidea: Apidae) en México. *Interciencia*, 33(1), 41-45.

Zhang, L., Huettmann, F., Liu, S., Sun, P., Yu, Z., Zhang, X., y Mi, C. (2019). Classification and regression with random forests as a standard method for presence-only data SDMs: A future conservation example using China tree species. *Ecological Informatics*, 52, 46-56.

Zhu, G. P., y Peterson, A. T. (2017). Do consensus models outperform individual models? Transferability evaluations of diverse modeling approaches for an invasive moth. *Biological Invasions*, 19(9), 2519-2532.

Zhu, G., Papeş, M., Armsworth, P. R., y Giam, X. (2022). Climate change vulnerability of terrestrial vertebrates in a major refuge and dispersal corridor in North America. *Diversity and Distributions*.

Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., ... y Antonelli, A. (2019). CoordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(5), 744-751.