



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO**

**Patrones de distribución de la herpetofauna de la Sierra
Madre Occidental, México.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTA

Brisa Almaraz Nájera

DIRECTORES

Dr. Uriel Hernández Salinas
M en C. Diego Francisco García Mendoza



Victoria de Durango, Dgo., agosto de 2025



SIP-13
REP 2017

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México 23 de enero del 2024

El Colegio de Profesores de Posgrado de IPN CIIDIR Unidad Durango en su Sesión
(Unidad Académica)

ordinaria No. 1 celebrada el día 19 del mes enero de 2024 conoció la solicitud
presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Almaraz	Apellido Materno:	Nájera	Nombre (s):	Brisa
-------------------	---------	-------------------	--------	-------------	-------

Número de registro: B 2 3 1 3 5 7

del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Patrones de distribución de la herpetofauna de la Sierra Madre Occidental, México.

Objetivo general del trabajo de tesis:

Analizar los patrones de distribución de los anfibios y reptiles de la Sierra Madre Occidental, con la intención de identificar sitios con alto grado de riqueza de especies, riesgo y endemismos, que contribuyan con información básica para la toma de decisiones respecto a la conservación de esta fauna.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: Dr. Uriel Hernández Salinas 2° Director: M. en C. Diego Francisco García Mendoza
No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

IPN CIIDIR Unidad Durango
que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

Dr. Uriel Hernández Salinas

Alumna

Brisa Almaraz Nájera

2° Director de Tesis (en su caso)

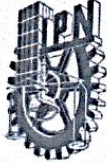
M. en C. Diego Francisco García Mendoza

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
IPN CIIDIR DURANGO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
 Dirección de Posgrado

SIP-14
 REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Victoria de Durango siendo las 14:00 horas del día 26 del mes de agosto del 2025 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de IPN CIIDIR Unidad Durango para examinar la tesis titulada: Patrones de distribución de la herpetofauna de la Sierra Madre Occidental, México del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	ALMARAZ	Apellido Materno:	NÁJERA	Nombre (s):	BRISA
-------------------	---------	-------------------	--------	-------------	-------

Número de boleta:

B 2 3 1 3 5 7

Alumno del Programa Académico de Posgrado:

Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

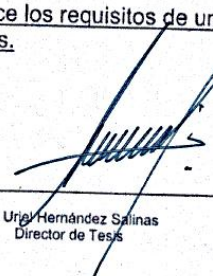
Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 4 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**


Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI NO **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: El porcentaje de similitud se localiza en las referencias bibliográficas, las cuales representan una sección que difícilmente podría cambiar.

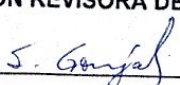
Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:


Satisface los requisitos de una tesis de maestría, señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.


 Dr. Uriel Hernández Salinas
 Director de Tesis


 M. en C. Diego Francisco García Mendoza
 2° Director de Tesis

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

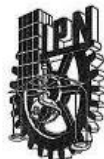

 Dra. María Del Socorro González Elizondo


 Dr. Miguel Mauricio Correa Ramírez


 Dra. Yolanda Herrera Arrieta


 Dr. Eduardo Sánchez Ortiz
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN

En la ciudad Victoria de Durango, Durango el día 12 del mes de septiembre del año 2025, el (la) que suscribe Brisa Almaraz Nájera alumno(a) del programa Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental con número de registro B231357, adscrito(a) al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. Uriel Hernández Salinas y el M. en C. Diego Francisco García Mendoza, y cede los derechos del trabajo intitulado "Patrones de distribución de la herpetofauna de la Sierra Madre Occidental, México", al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo: brisaa.07@gmail.com, uherndez3@gmail.com y diegofgarciam@gmail.com. Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

IBQ. Brisa Almaraz Nájera

Este trabajo se realizó en el Centro Interdisciplinarios de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Durango, bajo la dirección del Dr. Uriel Hernández Salinas, profesor investigador de este centro.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

A mi Director de tesis, el Dr. Uriel Hernández Salinas, por darme la oportunidad de ser su estudiante y todo el apoyo brindado desde el día uno. Por cada una de sus enseñanzas, consejos y su apertura para resolver todas mis dudas, e igualmente agradezco enormemente su apoyo para realizar mi estancia académica, así como facilitarme los recursos y contactos para desarrollar mi investigación con éxito.

A cada uno de los involucrados en mi comité tutorial por aceptar participar en el proyecto. Al M.C. Diego Francisco García Mendoza, por enseñarme a desarrollar los análisis necesarios para el cumplimiento de mis objetivos, así como con cada una de las revisiones y sus aportaciones para mejorar mi trabajo.

A la Dra. Yolanda Herrera Arrieta, por destinar parte de su tiempo a atender cada duda que tuviera y a mis presentaciones de seminario, por sus comentarios y aportes llenos de calidez y calidad.

A la Dra. María del Socorro González Elizondo, que además de facilitarme información clave sobre la SMO utilizada en mi trabajo, también tuvo participación en el desarrollo de mi tesis, siempre tan honesta, paciente y cálida, abierta a resolver cualquier cuestionamiento que tuviera tanto en clase como en las revisiones de mi trabajo.

Al M.C. Israel Moreno Lara, quien a la distancia aceptó apoyarme con clases y el desarrollo de los análisis hotspots, además de que siempre estuvo pendiente de mis avances, presente para resolver mis dudas y con la mejor disposición al hacer comentarios que me permitieron mejorar mi tesis.

Al Dr. Aurelio Ramírez Bautista, por darme un espacio en su laboratorio en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y compartir conmigo su amplio conocimiento sobre la herpetofauna de México, e igualmente agradecerle la oportunidad que me dio de trabajar en campo con algunos de sus estudiantes.

A los estudiantes del Dr. Aurelio, que me hicieron sentir parte del equipo en la salida a campo y en cada uno de los días que estuve en el laboratorio, por hacerme

participé de sus actividades con gran paciencia e iniciativa. Al Dr. César Díaz Marín, por escuchar mis interrogantes en campo y tomarse el tiempo de explicarme cada detalle que él consideraba importante para mi formación profesional, pero sobre todo, por convertirse en un buen amigo en mi estancia en Pachuca.

Al Dr. Thomas Van Devender, por facilitarme la información distribucional de los anfibios y reptiles del norte de México.

A todos los profesores que contribuyeron en mi formación académica durante mi estancia en el CIIDIR – Unidad Durango.

A mis amigos de la maestría, Alfonso Gaytán, Juan Esquivel y Saúl Rodríguez, quienes estuvieron presentes en el transcurso de la maestría, con risas, apoyo y acompañamiento constante. A mi compañera de escritorio Mariela Martínez, por las horas de compañía diaria, el equipo de trabajo que formamos y esa gran alianza que nos permitió liberarnos del estrés.

A la Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP) del Instituto Politécnico Nacional (Proyectos SIP 2024007, 20230508, 20250747, y multidisciplinario 2352), por otorgar el recurso para las actividades desarrolladas a lo largo del curso y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI), por la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI).

Finalmente, mi agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por apoyarme con una beca (CVU 1325549) durante el periodo de la maestría.

ÍNDICE

Resumen	20
Abstract	21
Introducción	22
Antecedentes	27
Justificación	29
Objetivo general	31
Objetivos específicos	31
Materiales y métodos	31
Área de estudio	31
Obtención de información	34
Verificación de registros	35
Obtención de patrones de distribución	38
Relación de la riqueza de especies con variables ambientales	42
Diversidad taxonómica.....	42
Análisis y ubicación de los sitios Hotspots en la SMO	44
Resultados	46
Patrones de distribución a través de la vegetación	46
Patrones de distribución a través de las ecorregiones	48
Patrones de distribución a nivel local y regional.....	51
Afinidad biogeográfica.....	56
Relación de la riqueza de especies con variables ambientales	56
Latitud.....	56
Longitud.....	57
Elevación	58
Diversidad taxonómica.....	59
Hotspots.....	61
Anfibios.....	61
Reptiles.....	66
Relación de los hotspots con Áreas Naturales Protegidas.....	70
Anfibios.....	70

Reptiles.....	75
Discusión	80
Patrones de distribución a través de los tipos de vegetación y ecorregiones	80
Relación de la riqueza de especies con variables ambientales.....	81
Diversidad taxonómica	84
Hotspots	85
Conclusiones	87
Bibliografía.....	90
ANEXOS	108
Anexo 1. Lista de especies de anfibios y reptiles para la Sierra Madre Occidental..	108
Anexo 2. Especies de anfibios presentes en los tipos de vegetación de la Sierra Madre Occidental. Tipos de vegetación: Bosque bajo abierto (BBA), Bosque de encino occidental (BEOc), Bosque de encino oriental (BEOr), Bosque de galería (BG), Bosque de pino (BP), Bosque de pino-encino (BPE), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Bosque mixto de coníferas (BMC), Bosque tropical caducifolio (BTC), Bosque tropical subcaducifolio (BTS), Bosque xerófilo espinoso (BXE), Claros de bosque (CB), Matorral subtropical (MST), Matorral xerófilo (MX) y Pastizal (PZ)	117
Anexo 3. Especies de reptiles presentes en los tipos de vegetación de la Sierra Madre Occidental. Tipos de vegetación: Bosque bajo abierto (BBA), Bosque de encino occidental (BEOc), Bosque de encino oriental (BEOr), Bosque de galería (BG), Bosque de pino (BP), Bosque de pino-encino (BPE), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Bosque mixto de coníferas (BMC), Bosque tropical caducifolio (BTC), Bosque tropical subcaducifolio (BTS), Bosque xerófilo espinoso (BXE), Claros de bosque (CB), Matorral perennifolio (MP), Matorral subtropical (MST), Matorral xerófilo (MX) y Pastizal (PZ).....	120
Anexo 4. Lista de anfibios presentes en las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental	127
Anexo 5. Lista de reptiles presentes en las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental	130

Anexo 6. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de anfibios entre tipos de vegetación presentes en la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia	137
Anexo 7. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de reptiles entre tipos de vegetación presentes en la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia	137
Anexo 8. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de anfibios entre las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia.....	138
Anexo 9. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de reptiles entre las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia.....	139

GLOSARIO

Ancestría: se refiere a la relación evolutiva entre especies o grupos de organismos, indicando su ascendencia en común.

Biodiversidad: variedad de vida en todas sus formas, niveles y combinaciones, incluyendo diversidad genética, de especies y de ecosistemas.

Biogeografía: ciencia que estudia la distribución de los seres vivos en el espacio y a través del tiempo, analizando los factores históricos y ecológicos que la determinan.

Bioindicador: organismo o grupo de organismos que refleja las condiciones ambientales de un ecosistema, siendo útil para evaluar su salud o calidad.

Complementariedad: principio en ecología y conservación que busca maximizar la protección de la biodiversidad al seleccionar áreas con especies o ecosistemas distintos.

Diversificación: proceso por el cual las especies evolucionan y se ramifican, aumentando la variedad de formas de vida en un linaje o ecosistema.

Ecorregión: área geográfica relativamente grande que se distingue por su clima, suelos, flora, fauna y procesos ecológicos característicos.

Ectotermo: organismo que regula su temperatura corporal principalmente mediante fuentes externas (como el sol o el ambiente), como los reptiles y anfibios.

Endemismo: fenómeno en el que una especie o grupo taxonómico está restringido a una ubicación geográfica específica y no se encuentra de forma natural en otro lugar.

Especiación: proceso evolutivo mediante el cual una población de una especie se divide dando origen a una o más especies nuevas.

Hotspot: región con alta biodiversidad y gran cantidad de especies endémicas que se encuentra amenazada por actividades humanas.

Macrogeografía: estudio de los patrones de distribución de los seres vivos a grandes escalas espaciales (continentes, océanos).

Meridional: término que se refiere a la región o dirección hacia el sur en relación con un punto de referencia.

Microhábitat: área pequeña y específica dentro de un ecosistema que presenta condiciones ambientales particulares para ciertas especies.

Neártica: región perteneciente al reino Holártico, que comprende básicamente las áreas templadas de América del Norte, Canadá, la mayor parte de Estados Unidos de América y el norte de México.

Neotropical: región perteneciente al reino Holotropical que incluye América del Sur, Centroamérica, las Antillas y partes del sur de México, caracterizada por su alta biodiversidad.

Panbiogeografía: enfoque biogeográfico que estudia los patrones de distribución de los seres vivos mediante el análisis de sus trayectorias evolutivas y conexiones históricas.

Patrón de distribución: fenómeno que representa el reconocimiento de similitudes y regularidades entre las áreas de distribución de un conjunto de organismos presentes en un área a partir de una misma época.

Recambio: grado de cambio en la composición de especies entre diferentes áreas o a lo largo de un gradiente ambiental.

Regionalización: división de un territorio en áreas con características biogeográficas, ecológicas o climáticas similares.

Septentrional: término que se refiere a la región o dirección hacia el norte en relación con un punto de referencia.

Solapamiento: superposición en la distribución geográfica o ecológica de dos o más especies o comunidades.

Vicarianza: proceso biogeográfico en el que una barrera geográfica (como un río o una cordillera) divide una población ancestral, llevando a la especiación.

Zona de transición: área donde dos o más regiones biogeográficas se superponen, presentando una mezcla de especies y características ecológicas de ambas.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANP. Área Natural Protegida.

BBA. Bosque bajo abierto.

BEOc. Bosque de encino occidental.

BEOr. Bosque de encino oriental.

BG. Bosque de galería.

BMC. Bosque mixto de coníferas.

BMM. Bosque mesófilo de montaña.

BP. Bosque de pino.

BPE. Bosque de pino-encino.

BTC. Bosque tropical caducifólio.

BTS. Bosque tropical subcaducifólio.

BXE. Bosque xerófilo espinoso.

C.A.D.N.R. Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego.

CB. Claros en bosque.

CEM. Continuo de Elevaciones Mexicano.

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

CoP1. Coordenada principal 1.

CoP2. Coordenada principal 2.

FAO. Food and Agriculture Organization.

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Km. Kilómetros.

MP. Matorral perenifólio.

Msnm. Metros sobre el nivel del mar.

MST. Matorral subtropical.

MX. Matorral xerófilo.

PCoA. Análisis de Coordenadas Principales (por sus siglas en inglés).

PZ. Pastizal.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIG. Sistemas de Información Geográfica.

SMO. Sierra Madre Occidental.

Sp. Especie.

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. Ecorregiones de la Sierra Madre Occidental. Tomado y modificado de González-Elizondo et al. (2012).	33
Figura 2. Registros de anfibios (puntos azules) y reptiles (puntos rojos) sobre las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental	36
Figura 3. Registros de anfibios (puntos azules) y reptiles (puntos rojos) sobre los tipos de vegetación de la Sierra Madre Occidental.	37
Figura 4. Representación de las 149 celdas de 0.5° x 0.5° para la Sierra Madre Occidental.	40
Figura 5. Representación de los 21 cortes latitudinales de 0.5° para la Sierra Madre Occidental.	41
Figura 6. Análisis de coordenadas principales por tipos de vegetación para los anfibios de la Sierra Madre Occidental.....	47
Figura 7. Análisis de coordenadas principales por tipos de vegetación para los reptiles de la Sierra Madre Occidental.	48
Figura 8. Análisis de coordenadas principales por ecorregiones para los anfibios de la Sierra Madre Occidental.....	49
Figura 9. Análisis de coordenadas principales por ecorregiones para los reptiles de la Sierra Madre Occidental.....	50
Figura 10. Riqueza de anfibios a través de las celdas para la Sierra Madre Occidental. Las celdas con contornos rojos contienen una riqueza mayor a 10 especies	52
Figura 11. Riqueza de reptiles a través de las celdas para la Sierra Madre Occidental. Las celdas con contornos rojos contienen una riqueza mayor a 10 especies.....	53
Figura 12. Riqueza de anfibios a través de los cortes latitudinales para la Sierra Madre Occidental. Los cortes con contornos en rojo representan los sitios con una riqueza mayor a 10 especies.....	54
Figura 13. Riqueza de reptiles a través de los cortes latitudinales para la Sierra Madre Occidental. Los cortes con contornos en rojo representan los sitios con una riqueza mayor a 10 especies.....	55
Figura 14. Correlaciones que representan la relación entre la riqueza de especies con la latitud (A) para las especies de anfibios y reptiles (B) distribuidas en la Sierra Madre Occidental	57
Figura 15. Correlaciones que representan la relación entre la riqueza de especies con la longitud (A) para las especies de anfibios y reptiles (B) distribuidas en la Sierra Madre Occidental	58

Figura 16. Correlaciones que representan la relación entre la riqueza de especies con la elevación (A) para las especies de anfibios y reptiles (B) distribuidas en la Sierra Madre Occidental.....	58
Figura 17. Valores de diversidad taxonómica (Delta+) y riqueza de especies para anfibios (A) y reptiles (B) de la Sierra Madre Occidental. Tipos de vegetación: Bosque bajo abierto (BBA), Bosque de encino occidental (BEOc), Bosque de encino oriental (BEOr), Bosque de pino (BP), Bosque pino-encino (BPE), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Bosque mixto de coníferas (BMC), Bosque tropical caducifolio (BTC), Bosque tropical subcaducifolio (BTS), Claros en bosque (CB), Matorral perennifolio (MP), Matorral subtropical (MST), Matorral xerófilo (MX), Pastizal (PZ). La línea discontinua representa el valor de la diversidad taxonómica promedio esperado.....	60
Figura 18. Hotspots de riqueza de anfibios en la Sierra Madre Occidental. Los círculos verdes representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%	63
Figura 19. Hotspots de anfibios endémicos en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%	64
Figura 20. Hotspots de anfibios en alto riesgo de extinción presentes en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%.....	65
Figura 21. Hotspots de riqueza de reptiles en la Sierra Madre Occidental. Los círculos verdes representan los sitios de influencia con una significancia mayor a 90%.....	67
Figura 22. Hotspots de reptiles endémicos en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%	68
Figura 23. Hotspots de reptiles en alto riesgo de extinción presentes en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%.....	69
Figura 24. Hotspots de riqueza de anfibios relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13)..	72
Figura 25. Hotspots de anfibios endémicos relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13)..	73
Figura 26. Hotspots de anfibios en riesgo de extinción relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1),	

C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).....74

Figura 27. Hotspots de riqueza de reptiles relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13)..77

Figura 28. Hotspots de reptiles endémicos relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13)..78

Figura 29. Hotspots de reptiles en riesgo de extinción relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).....79

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1. Prueba de U Mann-Whitney pareada entre los valores de z de los hotspots de riqueza, endemismo y riesgo de extinción para anfibios y reptiles. Los recuadros sombreados representan diferencias significativas	61
Cuadro 2. Área superficial de las ANP y área cubierta por las ANP respecto a los hotspots de riqueza, endemismo y alto riesgo de especies de anfibios en la SMO. Los valores de área fueron calculados en km ²	71
Cuadro 3. Área superficial de las ANP y área cubierta por las ANP con respecto a los hotspots de riqueza, endemismo y alto riesgo de especies de reptiles en la SMO. Los valores de área fueron calculados en km ²	76

RESUMEN

La Sierra Madre Occidental (SMO) posee una alta complejidad ecológica constituida por nueve tipos de vegetación y cuatro zonas climáticas principales que propician la concentración de una alta biodiversidad. En este estudio se distinguen diversos patrones de riqueza y recambio de especies de reptiles y anfibios sobre los diferentes tipos de vegetación y ecorregiones de esta sierra, sugiriendo que los ambientes templados y templado-cálidos de las ecorregiones Madreña y Madreña Tropical son las áreas más ricas en especies y las que presentan el mayor recambio de especies, lo que sugiere que estos ambientes y ecorregiones son las más importantes para la conservación de esta fauna. La relación entre riqueza de especies con la latitud, longitud y elevación no fue significativa, lo que demuestra que la herpetofauna de la SMO no responde a factores geográficos como otros grupos. Por otro lado, el bosque mixto de coníferas y el matorral xerófilo presentaron los valores más altos de diversidad taxonómica para anfibios y reptiles respectivamente. Finalmente, se reconoce que la SMO es una zona de alta importancia para la conservación de estos grupos, principalmente en la región noroeste central, como en la región suroeste, sitios con la mayor concentración de hotspots con especies endémicas y en peligro de extinción. Los resultados de este estudio permiten resaltar la importancia que tiene esta sierra respecto a los grupos bajo análisis, y muestran que las zonas occidentales de México constituyen las áreas más ricas faunísticamente hablando, pero a la vez, las menos exploradas de esta región de México.

ABSTRACT

The Sierra Madre Occidental (SMO) has high ecological complexity consisting of nine vegetation types and four main climatic zones that favor the concentration of a high biodiversity. This study distinguishes diverse patterns of species richness and turnover among reptiles and amphibians over the different vegetation types and ecoregions of this sierra, suggesting that the temperate and warm-temperate environments of the Madreña and Tropical Madreña ecoregions are the areas with the highest species richness, along with the highest species turnover, indicating that these environments and ecoregions are the most important for the conservation of this fauna. The relationship between species richness and latitude, longitude and elevation was not significant, demonstrating that the herpetofauna of the SMO does not respond to geographical factors like other groups. On the other hand, the mixed coniferous forest and xerophytic scrub presented the highest values of taxonomic diversity for amphibians and reptiles, respectively. Finally, this study recognized that the SMO is a region of high conservation importance for these groups, mainly in the northwestern central and southwestern areas, sites with the highest concentration of hotspots with endemic and endangered species. The results highlight the significance of this sierra with respect to the groups under analysis and show that western zones of Mexico are the faunally richest areas, but at the same time, the least explored in the region.

INTRODUCCIÓN

El análisis del área de distribución de una especie es una técnica que muchos biogeógrafos, taxónomos y ecólogos han logrado describir a través de la historia de la biología (Croizat, 1958; Stevens, 1989; Soberón, 2010). Charles Darwin (1875) uno de los naturalistas más importantes en la biología del siglo XIX, en su trabajo sobre “Selección Natural” logró reconocer la intervención de causas históricas en la distribución de las especies, distinguió que dicha distribución es el resultado de las relaciones de ancestría y descendencia de plantas y animales en diversas áreas geográficas. Darwin explicó que la migración es un fenómeno que favorece la distribución de las especies, esto siempre y cuando existan condiciones favorables (e.j., temperatura, humedad, luz, alimento, parejas reproductoras, etc.) para que los animales puedan moverse. Esto resalta la importancia que tienen las barreras naturales o también conocidas como vicarianza (e.i., formación de provincias zoológicas y florísticas) en la distribución de las especies (Lugo Hubp, 2009). Por otro lado, Alfred Russell Wallace (1876) otro naturalista contemporáneo de Darwin, y quien aportó un gran conocimiento sobre la fauna del archipiélago Malayo, afirmó que las especies pueden cambiar en un espacio y tiempo diferentes (Flores-Villela y Rodríguez-Caso, 2009). Gracias a sus viajes, llegó a la conclusión de que los ríos y montañas funcionaban como barreras biogeográficas que permitían la limitación de la distribución de las especies, y promovían la especiación (Morrone, 2004). Tanto Darwin como Wallace reconocen en las ideas de Buffon, mejor conocida como “ley de Buffon” que “entre el Viejo y el Nuevo Mundo no hay especies en común”, es decir, que a pesar de que existen lugares con condiciones climáticas similares en ambos continentes, existen especies diferentes. Conclusiones semejantes fueron observadas por Alexander von Humboldt, Pierre Latreille y Georges Cuvier al analizar la distribución de otros grupos, como plantas, insectos y reptiles del viejo y nuevo mundo, estos autores resumen que la distribución de las especies se atribuye a causas evolutivas históricas del territorio (Goyenechea, 2009).

Lo anterior ha permitido inferir que la distribución de las especies es un juego de circunstancias históricas, de parentesco, y de condiciones actuales donde las especies colonizan nuevos hábitats y sus antiguas distribuciones divididas por

montañas, ríos u otras barreras, han dado origen a las distribuciones que actualmente observamos (Briggs et al., 2009; Whittaker y Marzluff, 2009). Gracias a las ideas precursoras sobre la distribución biogeográfica de las especies promovidas por Darwin y Wallace, y otros autores arriba señalados, a principios del siglo XX nacen diversas metodologías que han logrado describir con mayor detalle la distribución de las especies a través de escalas espaciales y temporales diferentes (Mateo et al., 2011). Dichas metodologías pueden clasificarse en cuatro grandes grupos según Espinosa Organista et al. (2005), “*patrones corológicos, patrones de homología espacial, patrones de endemidad y patrones de relación entre áreas de endemismo*”. En la actualidad, este conjunto de metodologías se ha unido para desarrollar métodos más complejos que permitan identificar con mayor precisión patrones de distribución geográfica a través de diversas escalas, siendo complementados por diversas herramientas multivariadas (Rodríguez-Gutiérrez, 2023).

Por otro lado, como un análisis de la distribución de las especies, han surgido diversas propuestas de regionalización con la intención de dar respuesta a la complejidad ambiental de algunos grupos distribuidos en los principales sistemas montañosos de México y de otras regiones continentales, tal es el caso de la Sierra Madre Occidental (SMO), considerada el sistema montañoso más grande de México, abarcando desde el noreste de Sonora hasta el norte de Jalisco y a pesar de que es el macizo montañoso más largo y complejo desde una perspectiva de tipos de vegetación para México, existe poca información que describe su complejidad ecológica y biográfica (González-Elizondo et al., 2012; López-González et al., 2023). No obstante, algunos trabajos como el de Kobelkowsky-Vidrio et al. (2014), han logrado demostrar con base a la riqueza de aves, que la SMO representa una zona de transición y de endemismo no solo para las aves, sino para diversos grupos presentes en esta sierra. Por su parte, López-González y García-Mendoza (2024) describieron la riqueza y diversidad de mamíferos para esta sierra. Estos autores reconocen la alta complejidad ambiental de esta sierra, y concluyen que existen huecos de información debido al difícil acceso a diversas áreas. Por otro lado, López-González et al. (2024) propusieron una regionalización basada en la proporción de solapamiento para la SMO usando pequeños mamíferos no voladores. Estos autores concluyen que la SMO es

una región de alta complejidad ecológica originada principalmente por dos ejes de variación, relacionados con la elevación y la humedad; reconocen una ecorregión llamada “Madrense Tropical Transicional” promovida por un continuo norte-sur, y una segunda región de transición entre las zonas xerófilas y las tierras altas.

En conjunto, los trabajos señalados arriba sostienen que los patrones de distribución de riqueza de especies no son al azar, más bien, existen diversos factores climáticos (e.j., humedad, fotoperiodo, temperaturas ambientales, latitud, longitud, elevación, etc.) que promueven ciertos patrones de distribución, logrando establecer la pregunta, de ¿por qué una determinada zona, área o ecorregión, presenta una mayor riqueza de especies, respecto a otra? (Soberón y Llorente, 1993; Colwell y Coddington, 1994; Gotelli y Colwell, 2001). Lo anterior, también ha sido utilizado como una idea para describir los principales procesos que dirigen a la adaptación y evolución de las especies y a sus comunidades en un ambiente determinado. No obstante, al describir biogeográficamente diferentes grupos biológicos y analizarlos de manera simultánea, es posible encontrar patrones de distribución ecológicos y biogeográficos semejantes o totalmente diferentes, que apoyan a describir áreas de transición o zonas de endemismo (Bradshaw y Holzapfel, 2007; Colwell y Rangel., 2010; Bishop et al., 2014; Maciel-Mata et al., 2015).

Al respecto, Ochoa-Ochoa et al. (2019) al analizar los patrones de distribución de los anuros a través de diversas regiones a nivel mundial, identificaron que la variación geográfica del planeta representa diferentes causas eco-evolutivas en las que se ha sometido a este grupo de vertebrados; señalan que los patrones de diversificación entre grupos filogenéticos, demuestran que los ambientes en el que se distribuyen los anfibios tienen un alto impacto en la distribución ecológica y biogeográfica, aspectos que son de alta relevancia para su conservación. En otro estudio, esta misma autora y coautores (Ochoa-Ochoa et al., 2020), examinaron la relación entre la diversidad filogenética, funcional y taxonómica de las comunidades de anfibios en el continente americano. Estos autores encontraron patrones a través de diversas dimensiones de la biodiversidad, señalando que a altas latitudes existen patrones de poca diversidad filogenética, sugiriendo una rápida diversificación funcional, lo contrario según los autores, ocurre a bajas latitudes.

Los anfibios y reptiles son dos grupos de vertebrados en los que se pueden distinguir diversos patrones de distribución a través del tiempo y espacio; al respecto, la vicarianza (e.j., barreras geográficas: lagos, ríos, montañas) ha logrado moldear la distribución de ambos grupos en diversas zonas geográficas (Wang et al., 2023; Ochoa-Ochoa et al., 2019; Chettri y Acharya, 2020). El surgimiento de los anfibios y reptiles en la Tierra data de aproximadamente 370 millones de años. En la actualidad, se conocen cerca de 8,200 especies de anfibios (Amphibiaweb, 2023), y 11,940 especies de reptiles (Reptile Database, 2023), siendo las regiones tropicales las zonas con la mayor riqueza de especies (Duellman y Trueb, 1994; Wells, 2007). México, con alrededor de 430 especies de anfibios y 975 de reptiles, es el quinto país con la mayor riqueza de anfibios, después de Brasil, Colombia, Perú y Ecuador; respecto a los reptiles, nuestro país se ubica en el segundo lugar más rico de especies después de Australia (Ramírez-Bautista et al., 2023).

Ambos grupos de vertebrados (anfibios y reptiles) son considerados bio-indicadores de la calidad del ambiente, principalmente por su variedad de caracteres funcionales, por ejemplo, los anfibios tienen una piel altamente permeable que les sirve para un intercambio adecuado de gases, temperaturas y líquidos entre el animal y el ambiente, así mismo, requieren de altos grados de humedad lo cual los hace un grupo sumamente sensible a la contaminación de sus cuerpos de agua, y al calentamiento global (Ahmed et al., 2022; Sinervo et al., 2010). En el caso de los reptiles, estos animales son un grupo menos susceptible que los anfibios a cambios fisicoquímicos ambientales, debido a que su piel es relativamente permeable y sus huevos disponen de un cascarón calcáreo. No obstante, son altamente sensibles a cambios sutiles de las comunidades ecológicas de las que forman parte, pues están íntimamente ligados a las cadenas tróficas que existen en éstas. Dentro de cada ambiente, zona o ecorregión, los reptiles, en especial las serpientes, lagartijas y tortugas terrestres, se encuentran estrechamente relacionados con microhábitats específicos, con las presas y depredadores con los cuales han coexistido por largos períodos de tiempo. Así mismo, los reptiles, en especial las lagartijas tienen complejas historias ecológicas que están altamente relacionadas a los diferentes tipos de vegetación y ecorregiones de

cada una de las provincias de México (López-Luna et al., 1999; Bezy y Flores-Villela, 1999; Ramírez-Bautista et al., 2023).

Diversos estudios han destacado que, en la actualidad, los anfibios y reptiles junto con otros grupos de vertebrados (e.j., mamíferos, aves, insectos), están pasando por una serie de extinciones locales ocasionadas por el deterioro de su hábitat, a causa de las actividades humanas, lo que ha provocado una importante reducción poblacional a través de sus comunidades (Ceballos et al., 2020; Lemos-Espinal y Smith, 2020). En México se ha documentado que la extinción de anfibios está a un nivel crítico, ya que la disminución poblacional se ha logrado ver incluso en áreas naturales protegidas, considerado que el 53% de las 430 especies de anfibios que existen en México están desapareciendo a una tasa alarmante (Ceballos et al., 2020; Ramírez-Bautista et al., 2023). Mientras que, en el caso de los reptiles, específicamente las lagartijas, Sinervo et al. (2010), han señalado que, si el planeta continúa calentándose al ritmo actual, el 20% de todas las especies de lagartijas distribuidas en México podría desaparecer para el 2080. Por lo que, es de vital importancia poner atención a la situación de emergencia actual que viven muchos grupos animales, y en respuesta, realizar esfuerzos para contabilizar la riqueza de especies, y proponer nuevas áreas de conservación como hotspots para su protección y conservación (Myers et al., 2000; Roberts et al., 2002). En México existen pocas áreas consideradas como hotspots, las que se conocen, como el Corredor Biológico Mesoamericano o la Zona de Transición Mexicana (Sarukan, 2009; Zunino y Zullini, 2016; Halffter y Morrone, 2017), ubicadas principalmente en el sureste, y consideradas como sitios de intercambio faunístico y florístico con alto grado de endemismo. Entre los autores que han desarrollado trabajos de este tipo, encontramos a Aguilar-Miguel et al. (2009), quienes reconocen 3 zonas de influencia en el Estado de México en función de los anfibios y reptiles relacionadas con la Cuenca del Río Balsas. Por otro lado, Medina-Romero et al. (2016) utilizando la herpetofauna de la Sierra Madre Oriental, encontraron que existen sitios con potencial de conservación en esta sierra. El conocimiento sobre la riqueza y diversidad herpetofaunística de una zona en particular, y su conservación se basa en el conocimiento previo sobre los patrones de distribución de dicha fauna, por lo que, es importante explorar nuevas áreas para

identificar y proponer sitios de conservación que ayuden a proteger a nivel local, entre localidades y a nivel paisaje, la riqueza de especies de anfibios y reptiles en la SMO, una de las zonas menos exploradas en términos herpetofaunísticos del occidente de México (Ceballos et al., 2020; Ramírez-Bautista et al., 2023).

Antecedentes

Identificar los patrones de distribución espaciales y temporales de los seres vivos sobre el planeta, ha sido desde sus inicios, el centro del estudio de la biogeografía (Brown y Lomolino, 1998). Bajo este contexto, existen dos grandes orientaciones hacia el estudio de la diversidad biológica a nivel local y regional. La primera, llamada ecogeografía, que estudia los patrones de variación geográfica de los seres vivos reunidos en grupos funcionales a través de regiones, ambientes o ecorregiones, tales como el número de especies o la composición de formas de vida en un sitio (Belmaker y Jetz, 2011; Vidan et al., 2019). La segunda, es la macrogeografía, la cual estudia los patrones de distribución de los seres vivos en función de la evolución de la Tierra, y como es que han diversificado las especies (Cox y Moore, 1993; Brown y Lomolino, 1998). Algunos autores como Morrone (2000) considera que un patrón de distribución es una combinación de procesos vicariantes y de dispersión, a través de una amplia variedad de hábitats.

Los patrones de distribución pueden ser representativos de cualquier especie en cualquier región continental. En México se pueden observar diversos patrones de distribución a través de los tipos de vegetación, tipos de climas, provincias o regiones que constituyen los límites de un grupo de especies que pueden estar o no relacionadas filogenéticamente (Espinosa-Organista et al., 2008). Por ejemplo, Smith (1941) utilizando a las lagartijas del género *Sceloporus* reconoció 23 provincias biogeográficas clasificándolas en 2 regiones y 3 subregiones, según este autor, las regiones 1 y 2 son los sitios en los que se distribuye una mayor riqueza de especies, constituyendo áreas con una importante cantidad de especies exclusivas o endémicas. Por su parte, Flores-Villela y Goyenechea (2003) analizaron los patrones de distribución de la herpetofauna mexicana, logrando describir diez grandes regiones biogeográficas. Estos autores identificaron que las provincias más ricas en especies y

con mayor grado de endemismos fueron la región 3, 4, 5 y 7, que corresponden a la Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre del Sur, Tierras Altas de Chiapas, y Costas del Pacífico; la Sierra Madre Occidental es considerada por estos autores como una región con una riqueza de especies poco sobresaliente.

Al respecto, otros grupos biológicos como aves, mamíferos e insectos han sido sujetos a una gran cantidad de análisis biogeográficos, y han descrito diversos patrones de distribución (Dice, 1943; Goldman y Moore, 1945; Stuart, 1964). Morrone y Márquez (2001), elaboraron un análisis panbiogeográfico considerando la distribución de varias especies de *Coleoptera* (insectos) en la Zona de Transición Mexicana, obteniendo como resultado dos grandes áreas, una septentrional, que abarca las sierras Madre Oriental y Occidental, el Eje Volcánico, la cuenca del Río Balsas y la Sierra Madre del Sur; y otra meridional, conformado por la Sierra Madre de Chiapas, las tierras bajas de Chiapas, Golfo de México y la costa del Pacífico Mexicano hasta el Istmo de Panamá. Ambos patrones son considerados, según los autores, como áreas de dispersión para faunas templadas (patrón septentrional) y tropicales (patrón meridional).

Hasta el momento existe muy poca información sobre la distribución de diversas especies de anfibios y reptiles, y sus relaciones biogeográficas a través de las principales cadenas montañosas de México, tales como la Sierra Madre Occidental. Únicamente algunos trabajos como el de Johnson et al. (2017), han logrado proporcionar un listado de la herpetofauna mexicana endémica presente en la Sierra Madre Occidental, estos autores sugieren que la heterogeneidad de esta sierra es un recurso que se debe explorar a través de la distribución ecológica de diversos grupos animales. Más adelante, Rodríguez-Gutiérrez (2023) describió bajo una perspectiva panbiogeográfica, tres trazos y cuatro nodos panbiogeográficos los cuales representan zonas de dispersión y de origen para los anfibios y reptiles de la SMO. Esta autora sugiere que esta sierra es posiblemente la más compleja en términos de especiación, gracias a su sistema de cañones, planicies, y montañas aisladas (e.i., sky island), que detonan en una zona de especiación y endemismo para animales y plantas (López-González et al., 2024).

Analizar la distribución biogeográfica de la biodiversidad de un área permite la delimitación de regiones ecológicas con base a los componentes ecológicos que caracterizan a los ecosistemas. Por ejemplo, una de las regionalizaciones más aceptadas y utilizadas para la Sierra Madre Occidental fue la propuesta por González-Elizondo et al. (2012, 2013). Esta regionalización presenta un modelo de cuatro ecorregiones derivadas de un estudio de la fitodiversidad y los climas de esta sierra. Se puede decir, que esta regionalización representa el inicio del estudio biogeográfico para esta sierra, ya que, se ha tomado como un marco de estudio para analizar la distribución de muchos grupos de plantas y animales. El presente trabajo de investigación utiliza como base la regionalización por tipos de vegetación propuesta por González-Elizondo et al. (2012, 2013) para analizar y describir la riqueza de especies de anfibios y reptiles, y sus patrones de distribución a través de esta sierra.

JUSTIFICACIÓN

La Sierra Madre Occidental (SMO) es el sistema montañoso más extenso de México, localizado al oeste de nuestro país, sus límites geográficos se extienden sobre amplias áreas de la región neártica y neotropical (González-Elizondo et al., 2012; Kobelkowsky-Vidrio et al., 2014). Esta sierra abarca buena parte de los estados de Chihuahua, Sonora, Durango, Sinaloa, Zacatecas y Jalisco, en consecuencia, refleja una amplia complejidad fisiográfica y climática que dan origen a una alta diversidad de hábitats disponibles para faunas y floras con requerimientos específicos (Kobelkowsky-Vidrio et al., 2014). Esta alta diversidad de hábitats promueve la existencia de faunas con caracteres funcionales notables, y de alta importancia para el funcionamiento y equilibrio de los ecosistemas, tales como los anfibios y reptiles (Ramírez-Bautista et al., 2023; Hernández-Salinas et al., 2023).

Actualmente, solo el trabajo de Rodríguez-Gutiérrez (2023) representa, hasta el momento, el listado más actual de anfibios y reptiles para esta sierra, compuesto por 247 especies. De este número de especies, sólo las lagartijas son el grupo funcional y taxonómico que ha sido analizado bajo una perspectiva biogeográfica, puntualmente con el método de la panbiogeografía. Mientras que, por otro lado, Hernández-Salinas et al. (2023) analizaron la herpetofauna del estado de Durango, una zona de alto

contacto entre el Desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Occidental. Dichos autores encontraron que las especies localizadas en la ecorregión de la sierra y las quebradas de la SMO, son los grupos funcionales mejor representados taxonómicamente, argumentando que un ecosistema con una alta riqueza de especies proporcionará una red compleja de funciones (e.j., dispersor de semillas, depredadores, presas, polinizador), los cuales pueden ser considerados como una herramienta útil para establecer que un ecosistema puede ser más funcional y productivo que otro (Cruz-Elizalde et al., 2022).

Algunos trabajos han logrado describir que en anfibios y reptiles existe una relación negativa entre la riqueza de especies con la latitud, tendencia conocida como gradiente latitudinal de diversidad (GLD), considerado como uno de los patrones más consistentes en biogeografía (Sax, 2001; Pyron y Wiens, 2013; Chejanovski y Wiens, 2014; Perillo et al., 2021), por otro lado, se ha observado un patrón inverso con respecto a la relación de especies de anfibios con la elevación, es decir, a mayor elevación mayor riqueza de especies (Smith et al., 2007; Kozak y Wiens, 2010). En el presente estudio se busca detectar si dicho gradiente, junto con longitud y la elevación, son consistentes con los anfibios y reptiles distribuidos en la SMO. Una vez que se haya detectado la existencia de dichos patrones de distribución, se realizarán diversos análisis de diversidad taxonómica a través de los principales tipos de vegetación con ambos grupos (anfibios y reptiles), esto con la intención de lograr visualizar cuales son las comunidades vegetales con el mayor y menor recambio de especies. Aunado a esto, las relaciones taxonómicas de un grupo de especies en un ecosistema permiten describir su importancia en términos de conservación y protección, es decir, si existen varias especies pertenecientes a diversas familias y géneros, se dice que es un grupo taxonómicamente diverso (Cruz-Elizalde et al., 2022). Este ejercicio deberá contribuir a resaltar la importancia de las áreas de conservación establecidas en la Sierra Madre Occidental, o bien, permitirá proponer nuevas áreas de interés para la conservación de esta fauna, con la intención de que este ejercicio sea de utilidad para la gestión de conservación de la biodiversidad de esta sierra.

OBJETIVO GENERAL

Analizar los patrones de distribución de los anfibios y reptiles de la Sierra Madre Occidental, con la intención de identificar sitios con alto grado de riqueza de especies, riesgo y endemismos, que contribuyan con información básica para la toma de decisiones respecto a la conservación de esta fauna.

Objetivos específicos

1. Identificar los patrones de distribución de los anfibios y reptiles de la Sierra Madre Occidental a través de diferentes componentes del hábitat, tales como elevación, latitud-longitud, tipos de vegetación y ecorregiones.
2. Realizar un análisis de diversidad taxonómica considerando la distribución de los anfibios y reptiles a través de los tipos de vegetación de esta sierra.
3. Desarrollar un análisis de hotspot para identificar áreas de importancia en términos de conservación y protección de los anfibios y reptiles de esta sierra, y relacionarlos con las ANP presentes en esta sierra con la intención de resaltar o proponer áreas de conservación y protección para esta fauna.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Sierra Madre Occidental es el complejo montañoso más grande de México, con una extensión aproximada de 1,200 km de norte a sur, y un ancho de 300 km (Viramontes-Pereida, 2004). Esta sierra se extiende desde la frontera norte de México con Estados Unidos, justo en el límite fronterizo entre Sonora y Chihuahua con Estados Unidos, hasta el norte de Jalisco (Figura 1; López-Ramos, 1980). Esta cordillera abarca elevaciones que van de los 200 a 3000 msnm, el 65% de su área se encuentra por encima de los 2000 msnm (Kobelkowsky-Vidrio et al., 2014). Presenta nueve tipos de vegetación, además de otras comunidades vegetales que se clasifican en tres grandes regiones: Madreense (bosque de pino, bosque mixto de coníferas, bosque de pino-encino, bosque de encino y manchones de bosque mesófilo de montaña, comunidades como chaparral [primario y secundario] y vegetación de claros de bosque); Madreense-

Xerófila (bosque bajo abierto [pino o pino-encino], matorral perennifolio, zonas de ecotonía de pastizal y matorral xerófilo, así como ecotonías de matorral subtropical) y Tropical (bosque tropical caducifolio, matorral subtropical y pequeñas áreas de bosque tropical subcaducifolio; Figura 1; González-Elizondo et al., 2013). En esta sierra se presentan cuatro zonas climáticas principales: climas secos y semisecos, climas templados y semifríos, climas semicálidos y climas cálidos. La región Madrense es caracterizada por climas que van desde templados y semifríos hasta templado-semicálidos y subhúmedos; la región Madrense-Xerófila se conforma por climas secos y templados; y la región Tropical por climas cálidos subhúmedos, semicálidos y secos cálidos (González-Elizondo et al., 2013). En cuanto a su formación geológica, se divide en cinco conjuntos de rocas ígneas, clasificadas de acuerdo a sus diferentes episodios magmáticos, entre las que se pueden citar, están las rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico superior-Paleoceno, rocas volcánicas andesíticas y dacítico-riolitas del Eoceno, rocas ignimbritas silíceas del Oligoceno y Mioceno temprano, basáltico-andesíticas y basaltos e ignimbritas alcalinos de diferentes episodios del Mioceno tardío, Plioceno y Cuaternario (Ferrari et al., 2005).

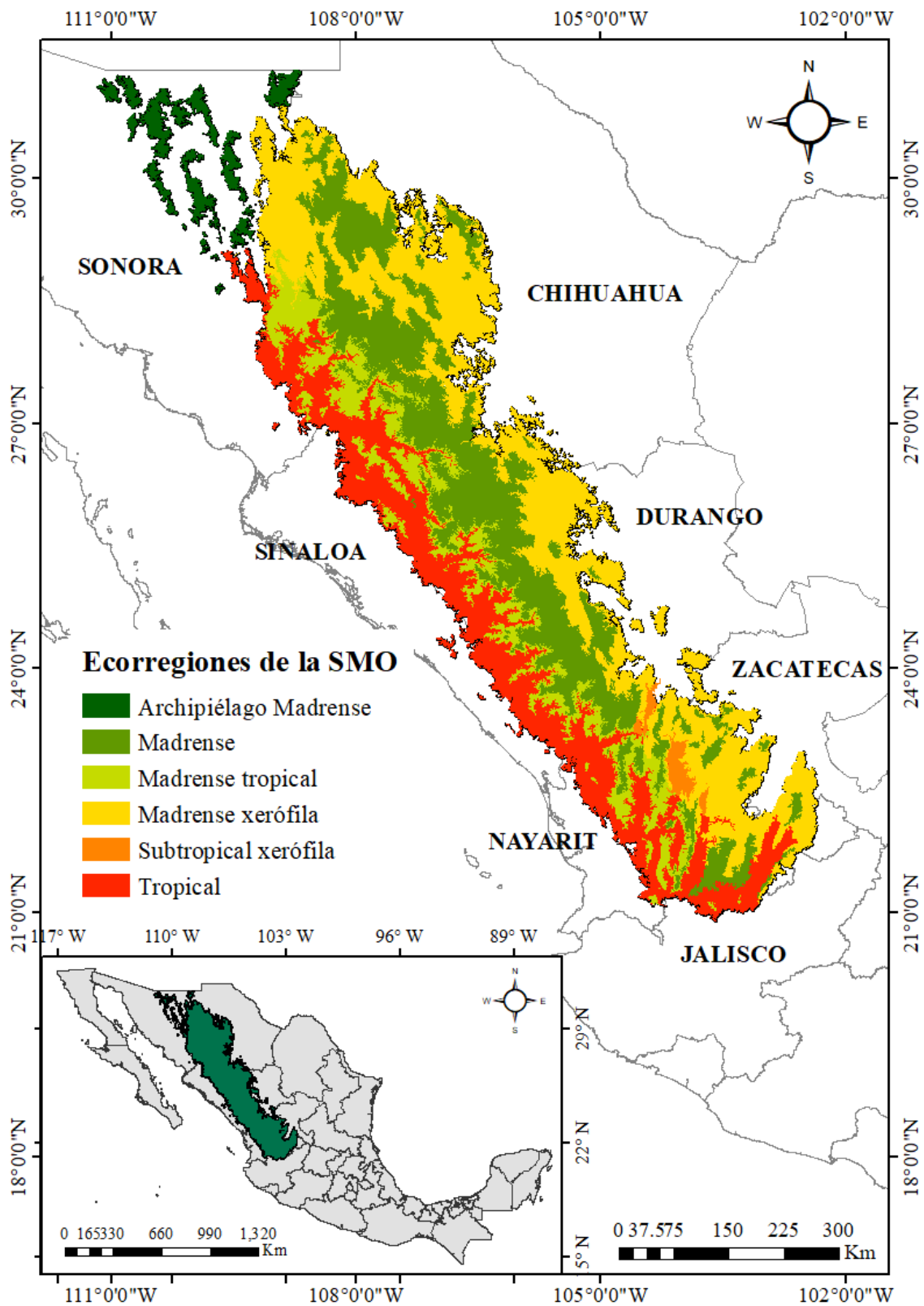


Figura 1. Ecorregiones de la Sierra Madre Occidental. Tomado y modificado de González-Elizondo et al. (2012).

Obtención de información

La herpetofauna de la Sierra Madre Occidental está constituida por 247 especies, de las cuales siete son salamandras, 55 ranas, 6 tortugas, 68 lagartijas y 111 serpientes (Rodríguez-Gutiérrez, 2023). Sin embargo, el número total de especies de anfibios y reptiles con registros para el desarrollo de este trabajo es de 228 especies (172 son reptiles y 56 son anfibios; ANEXO 1). La base de datos de anfibios y reptiles utilizada para este trabajo fue construida a partir de información de portales digitales de colecciones científicas de México y Estados Unidos. Respecto a las fuentes de información nacionales, fue posible consultar: la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles-UNAM (CNAR-UNAM) y Colección Herpetológica del Museo de Zoología “Alfonso Herrera” (MZFC-UNAM), ambas colecciones pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México; Colección del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango (CRD) del Instituto Politécnico Nacional. Entre las colecciones extranjeras utilizadas se encuentran: California Academy of Science (CAS), University of Texas El Paso (UTEP), Herpetological Collections at the University of Texas at Arlington (UTA), Illinois State Natural History Survey (INHS), Kansas University (KU), Museum of Florida History (MFH), Museum of Vertebrate Zoology University of California Berkley (MVZ), Los Angeles County Herpetology Collection (LACM), American Museum Natural History (UIMNH), University of Michigan Museum of Zoology (UMMZ), Texas Cooperative Wildlife Collections, Texas A&M University (TCWC), University of Colorado Boulder (UCM), University of Illinois Museum of Natural History (UIMNH) y Yale Peabody Museum of Natural History (YPM-YU). Así mismo, para una mejor representación de algunas zonas como las Sky Island (región compuesta entre Sonora y Chihuahua), los registros se obtuvieron del portal digital GreaterGood Fauna Portal (madreandiscovery.org), que concentra información de colecciones de México, tales como: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO-CNAR), y de Estados Unidos: Arizona State University Herpetology Collection (ASU), Madrean Archipelago Biodiversity Assessment Observations (MABA), University of Arizona Herpetology Collection (UAZ), Madrean Discovery Expeditions (GreaterGood), Universidad de la Sierra (UNISIERRA), Sam Noble Oklahoma Museum of Natural

History (OMNH). Por lo tanto, el archivo de datos utilizado para este trabajo constituye un total de 10,339 registros (anfibios: 4511, reptiles: 5828) distribuidos en prácticamente todos los tipos de vegetación y ecorregiones presentes en la SMO (Figura 2 y 3).

Verificación de registros

La información obtenida de los diversos portales digitales de colecciones científicas fue verificada de acuerdo con la literatura, confirmando que cada especie represente su distribución original (Lemos-Espinal et al., 2007a, 2017, 2019a; Valdez-Lares et al., 2013; Woolrich-Piña et al., 2016; Cruz-Sáenz et al., 2017; Lemos-Espinal et al., 2019b; Lemos-Espinal et al., 2020; Ramírez-Bautista et al., 2023). Se eliminaron los datos que contenían información incompleta, es decir, se eliminaron registros sin coordenadas geográficas o bien que las localidades sean imprecisas, así mismo, fueron descartados los registros que no contenían información sobre género o el nombre completo de la especie. Es importante señalar que la confirmación de la distribución de cada especie permitió distinguir dos patrones generales. El primero considerado como un patrón Neártico, en el cual las especies se distribuyen en ambientes con climas templados y áridos (BPE, BP, BEOc, BEOr y MX), principalmente con una dirección norteña, representado por elevaciones que van de 1200 a los 3000 m.s.n.m. en la sierra (Anexo 1; González-Elizondo et al., 2012); y el segundo patrón fue considerado Neotropical, en el cual las especies presentan una distribución en ambientes de climas tropicales húmedos y subhúmedos (BTC y BTS), dirigidos principalmente hacia una dirección sureña sobre elevaciones que va de los 300 a los 1500 m.s.n.m. en esta sierra (Anexo 1; Morrone 2004a, 2005; Escalante et al., 2005; González-Elizondo et al., 2012).

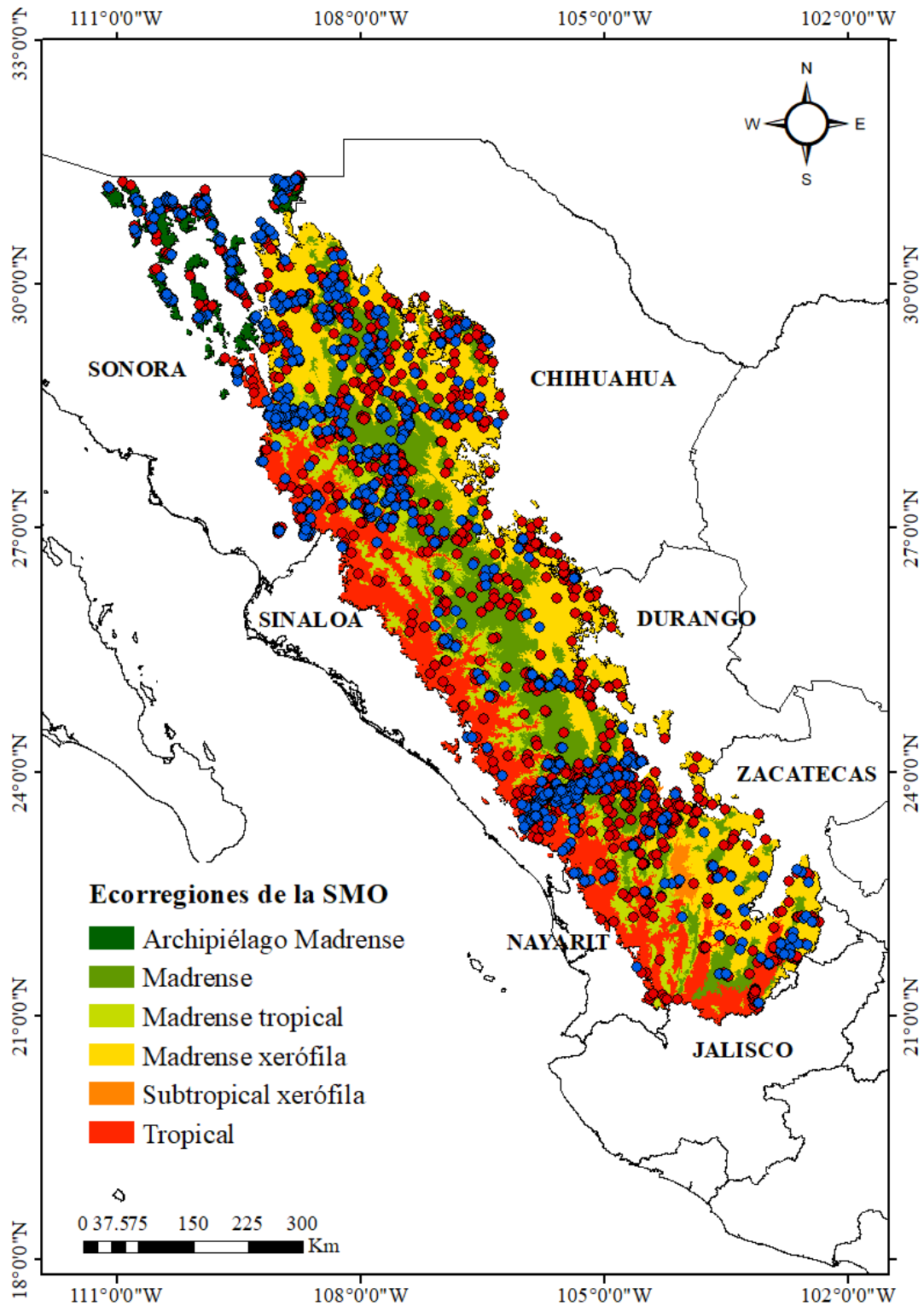


Figura 2. Registros de anfibios (puntos azules) y reptiles (puntos rojos) sobre las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental.

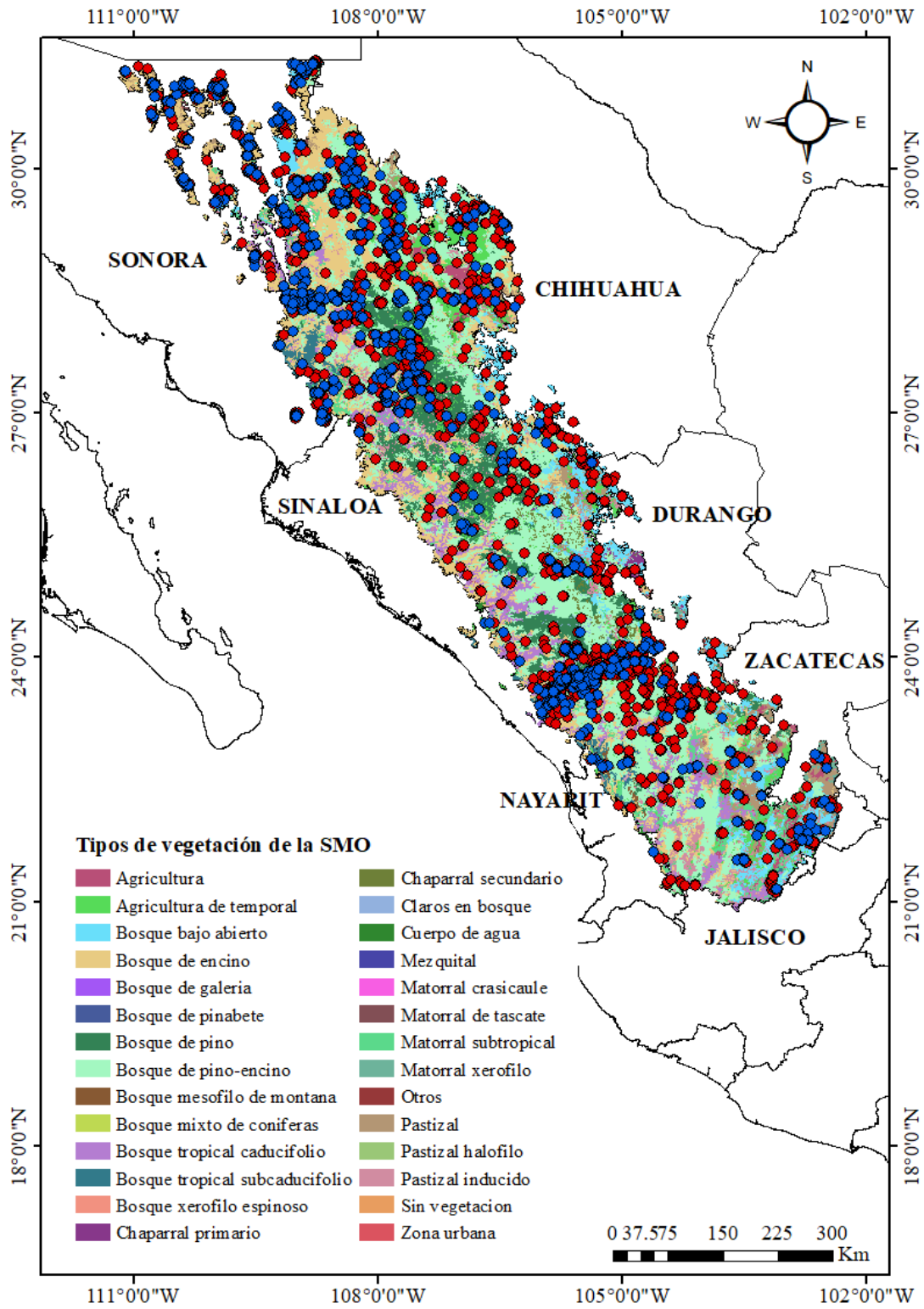


Figura 3. Registros de anfibios (puntos azules) y reptiles (puntos rojos) sobre los tipos de vegetación de la Sierra Madre Occidental.

Obtención de los patrones de distribución

El reconocimiento de los patrones de distribución de los anfibios y reptiles de la SMO se realizó por medio de la clasificación de las especies presentes en esta sierra a través de componentes de su hábitat, tales como los tipos de vegetación y ecorregiones. Los análisis fueron desarrollados por grupos, es decir, un conjunto de análisis para los anfibios y otro para los reptiles, para lo cual, se elaboró una lista de especies siguiendo de los arreglos taxonómicos propuestos por Ramírez-Bautista et al. (2023).

Como primer paso se construyeron diversas matrices de presencia/ausencia por tipos de vegetación y ecorregiones con la intención de explorar la riqueza de especies en los sitios donde se encuentran o distribuye cada grupo. El desarrollo de las matrices se realizó con ayuda del Sistema de Información Geográfica (SIG), a partir de la sobreposición del polígono de la SMO propuesto por González-Elizondo et al. (2012), utilizando las capas de ecorregiones y tipos de vegetación de los mismos autores visualizándolos a través del programa ArcGis 10.8.2. Es importante mencionar que los tipos de vegetación de origen antropogénico (pastizal inducido, agricultura, ganadería) y áreas sin vegetación fueron descartadas de los análisis, debido a que solo se consideró la vegetación natural, lo que permite inferir la distribución de anfibios y reptiles con respecto a los factores ambientales en áreas sin intervención humana. Los tipos de vegetación considerados por González-Elizondo et al. (2012) que fueron excluidos son: zonas de agricultura y agricultura de temporal, chaparral primario y secundario, cuerpos de agua, pastizal inducido, zona urbana y áreas sin vegetación.

Con la intención de tener un enfoque más preciso de la distribución de la herpetofauna de esta sierra, fue necesario reconocer dos tipos de bosque de encino, uno oriental y otro occidental, esto debido a que la pendiente en la que se encuentran ambos tipos bosques constituye una estructura diferente. Al respecto, González-Elizondo et al. (2012), han señalado que es posible encontrar comunidades de encinares con afinidades clima templados, semicálido subhúmedo y semiseco templado, situadas a los 340 msnm, próximas al bosque tropical caducifolio. Con esta información, sería incorrecto asumir que el bosque de encino del extremo oriental de la sierra presente las mismas condiciones ecológicas que los bosques de encino del

extremo occidental. Bajo estos criterios, el bosque de encino occidental abarca desde el noreste (zonas del Archipiélago Madreño) hasta el sureste (zona Tropical) de la Sierra Madre Occidental; y el bosque de encino oriental, que abarca principalmente la región Madreño-Xerófila.

El desarrollo de los análisis de ordenamiento de especies a través de los tipos de vegetación y ecorregiones fue posible bajo Análisis de Coordenadas Principales (PCoA por sus siglas en inglés; López-González et al., 2024), utilizando el índice de recambio de especies de Whittaker como medida de distancia (Moreno, 2001). Así mismo, para explorar los patrones de riqueza de especies a nivel local y regional, se dividió el polígono de la SMO en celdas de 0.5° de latitud por 0.5° de longitud, así como cortes latitudinales de 0.5° (Figura 4 y 5), logrando extraer 149 celdas, y 21 cortes latitudinales, los cuales facilitaron el agrupamiento de las especies, y por lo tanto, la descripción de los patrones. Es importante señalar que dichas celdas permitieron eliminar de cierta manera el efecto del muestreo a través de diversas regiones o puntos particulares de la sierra, debido a que se uniformizó a una misma medida de muestreo el área de estudio.

Por otro lado, para una exploración altitudinal de los anfibios y reptiles de este complejo montañoso, se emplearon los modelos de elevación digital obtenidos del portal del INEGI de Continuos de Elevaciones Mexicano (CEM, 2024). El propósito de usar dichos modelos de elevación con ambos grupos biológicos fue buscar un gradiente altitudinal y latitudinal, el cual indica que a medida que aumenta la elevación, la riqueza de especies es menor, debido a que las áreas más altas tienen temperaturas más bajas, y por lo tanto, menos especies de anfibios y reptiles debido a su condición como organismos ectotermos (Morrison y Hero, 2003). Cabe mencionar, que para distinguir un conjunto de puntos como un patrón de distribución de especies se consideró la incidencia de los datos, es decir, la presencia de una especie en la zona (Gotelli y Colwell, 2001). Todos los análisis multivariados que corresponden a esta sección de este trabajo fueron realizados con ayuda del programa PAST 4.17 (Hammer et al., 2001).

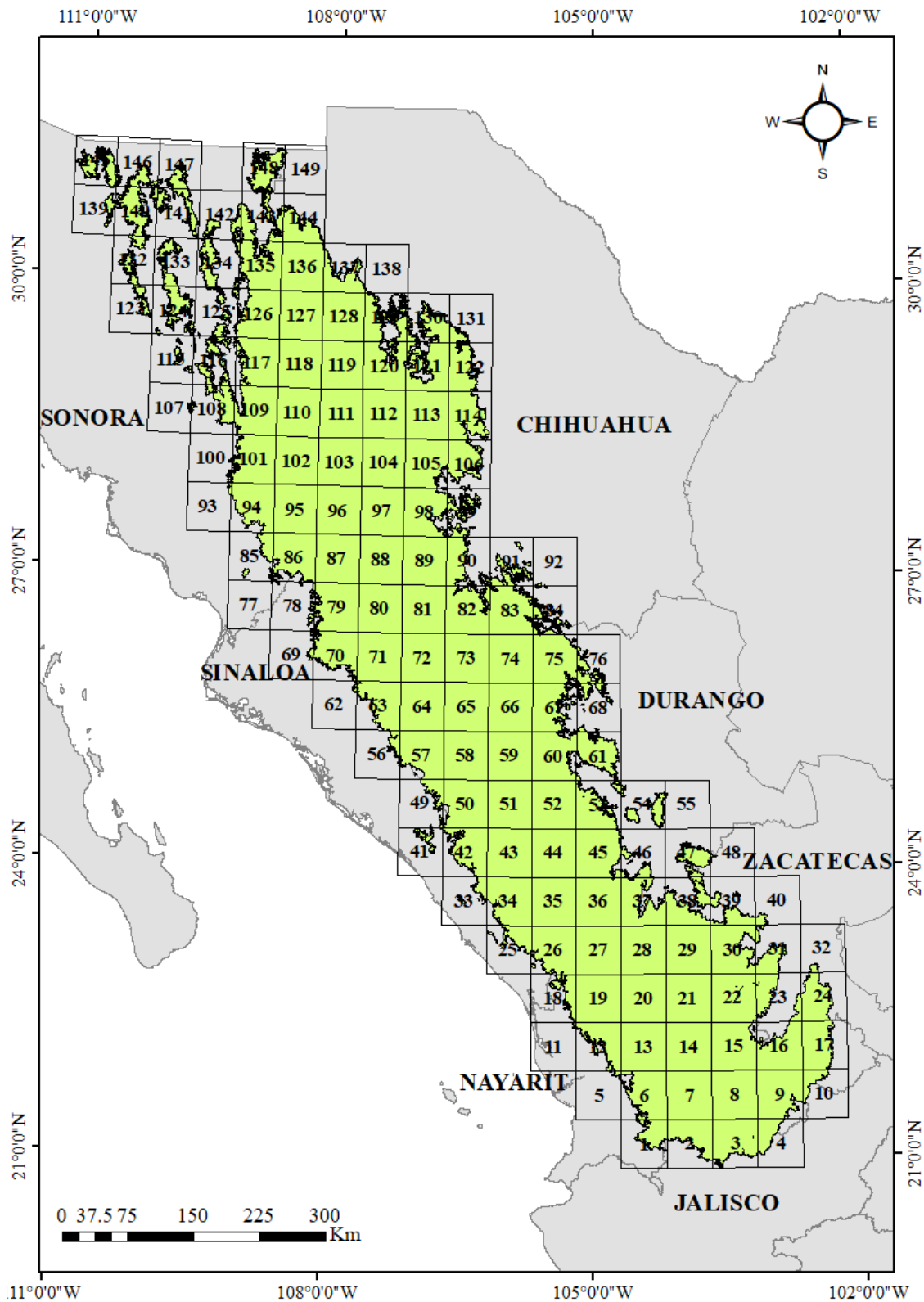


Figura 4. Representación de las 149 celdas de 0.5° x 0.5° para la Sierra Madre Occidental.

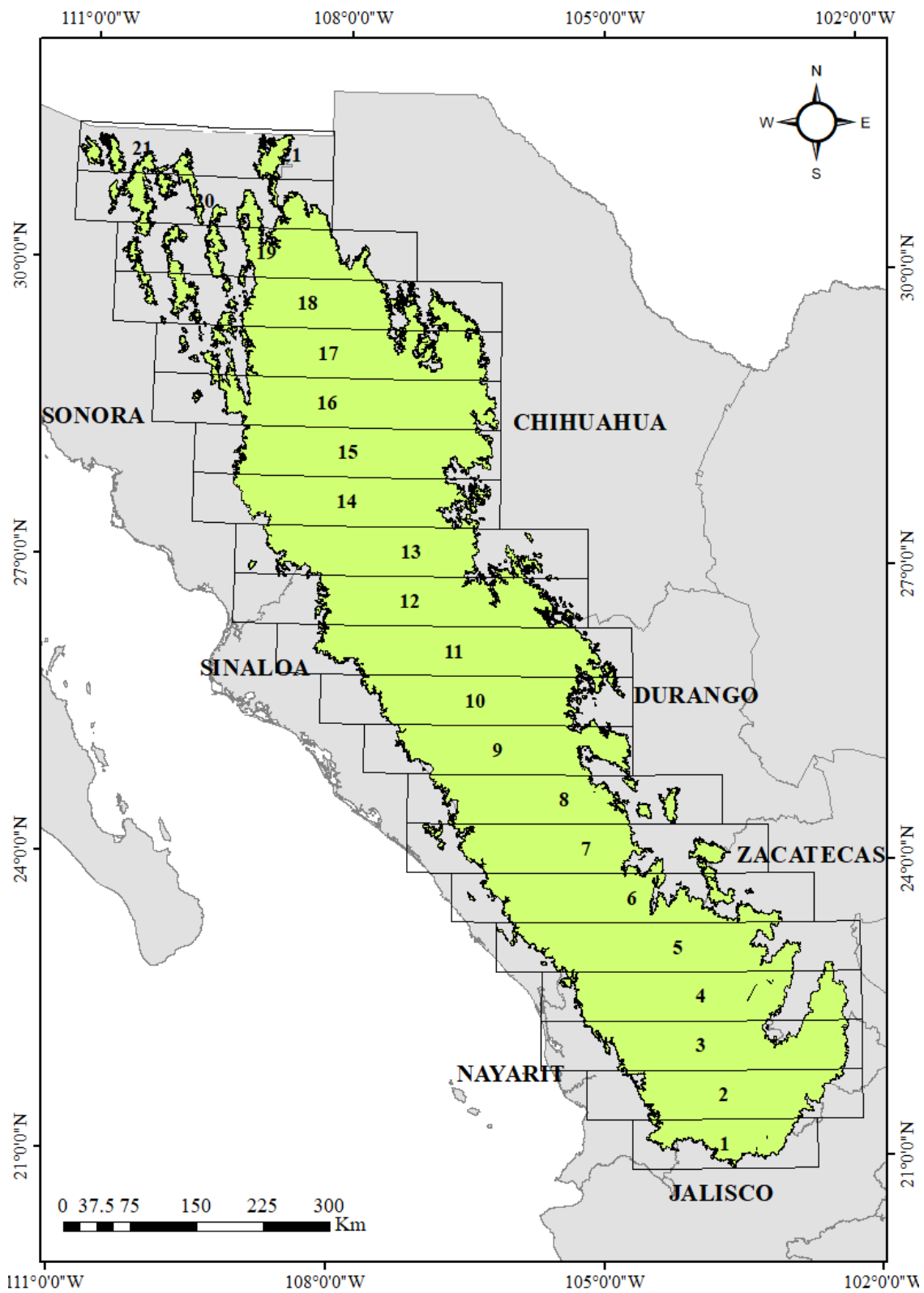


Figura 5. Representación de los 21 cortes latitudinales de 0.5° para la Sierra Madre Occidental.

Relación de la riqueza de especies con variables ambientales

Para explorar la relación entre la riqueza de especies (variable dependiente) a través de los 21 cortes latitudinales a lo largo de la Sierra Madre Occidental con algunas variables geográficas (latitud, longitud y elevación; variable independiente) se aplicó un análisis de correlación de Pearson (Berduc et al., 2015), donde previamente, todas las variables se transformaron a valores promedio para ajustarlas a un vector de correlación (Zar, 2011). Es importante señalar que la elevación de cada registro se obtuvo con ayuda de la herramienta “Extract Values to Points” sobreponiendo los registros en la capa de elevación de la SMO a través del programa ArcGis 10.8.2. Lo anterior fue debido a que muchos de los registros de anfibios y reptiles carecían de esta información. Las correlaciones se calcularon con ayuda del programa STATISTICA versión 7.0 (StatSoft Inc., 2004). Las hipótesis nulas se rechazaron con un nivel de significancia $\alpha \leq 0.05$ (Zar, 2014).

Diversidad taxonómica

La diversidad taxonómica es definida como el grado de relación entre especies dentro de una misma comunidad (Cadotte et al., 2010). Bajo este supuesto, se considera que entre más especies de diferentes familias o géneros se encuentren en un mismo sitio, mayor diversidad taxonómica habrá (Clarke y Warwick, 1998). Diversos trabajos han descrito que entre la diversidad taxonómica y el funcionamiento de los ecosistemas existe una fuerte relación (Cadotte et al., 2011), ya que un ecosistema con una alta riqueza de especies se considera poseedor de estabilidad climática, junto con una complementariedad ecológica y heterogeneidad ambiental también altas, las cuales son características de ecosistemas con múltiples conjuntos de caracteres funcionales. Un análisis de la diversidad taxonómica a través de las comunidades permite explicar los procesos evolutivos que tuvieron lugar al momento de explorar los patrones de riqueza y diversidad de dichas comunidades. Esta exploración considera que las especies tienen un efecto importante en el ambiente, ya que la estabilidad de los procesos ecosistémicos se relaciona con el número de especies, géneros y familias (riqueza de especies) que prevalecen sobre condiciones ambientales estables o

cambiantes, por lo tanto, la pérdida o adición de especies también desencadena el colapso o modificación de estos (Córdova-Tapia y Zambrano, 2015).

Es importante señalar que los factores espaciales y ambientales (sitios de muestreo, temperatura, humedad, alimento en el ambiente, depredación) crean patrones observables que son usados para explicar la distribución de especies en una unidad geográfica, por esta razón, la diversidad taxonómica puede ser evaluada a partir de los componentes de diversidad alfa y beta, los cuales han sido utilizados como unidades fundamentales para describir patrones espacio-temporales a través de comunidades taxonómicas (Pérez-Hernández, 2019). Teniendo por entendido que la medición a nivel de especies permite comprender los cambios de la biodiversidad e identificar los efectos de las actividades antropogénicas a partir de dichos componentes de diversidad (Moreno, 2001).

Para entender cuáles son los efectos generados a partir de las transformaciones de los ecosistemas a causa del ser humano, el análisis de diversidad taxonómica aporta puntos clave para describir taxonómicamente las comunidades de diferentes ambientes (Zabala-Forero y Urbina-Cardona, 2021). Para este estudio, la diversidad taxonómica se contempla como la distancia de las relaciones taxonómicas entre especies. Los análisis se llevaron a cabo a partir de patrones de distribución de las comunidades de anfibios y reptiles de esta sierra, para esto, en primer lugar, se calculó el índice de distintividad taxonómica promedio ($\Delta+$; Clarke y Warwick, 1998) utilizando un archivo de datos de especies de presencia-ausencia por tipos de vegetación, y de manera conjunta se utilizó otro archivo con el mismo número de especies, pero este segundo archivo contiene un arreglo Linneano o taxonómico, en el que se incluyen los géneros, familias, orden y clase para los diferentes grupos de anfibios y reptiles de la SMO. El análisis de ambos archivos de datos se hizo bajo índice de distintividad taxonómica o Delta+ ($\Delta+$), esta medida es la trayectoria promedio entre pares de especies. La ecuación para la diversidad taxonómica es la siguiente:

$$\Delta+ = \frac{\sum \sum_{i < j} \omega_{ij}}{S(S-1)}$$

Donde S es el número de especies en la muestra, y ω_{ij} es la distancia taxonómica entre cada par de grupos y especies i y j (Warwick y Clarke, 1995). Los análisis de diversidad

taxonómica fueron realizados a través del programa PRIMER 5 para Windows (Clarke y Gorley, 2001).

Análisis y ubicación de sitios Hotspots en la SMO

Las áreas protegidas son sitios de importancia ambiental que se distinguen por tener diversos ecosistemas con una alta riqueza de especies, y alto porcentaje de endemismos (SEMARNAT, 2010). La conservación de estos sitios es una tarea que se debe dar mediante el desarrollo de estrategias y la implementación de herramientas analíticas que proporcionen evidencia sobre los sitios con mayor riqueza de especies en peligro de desaparecer, o bien, sitios con altos índices de diversidad taxonómica, considerados sitios propicios para su conservación (Bruner et al., 2001; Romero, 2022).

Como parte de los objetivos del presente trabajo de investigación, se ubicaron diversos sitios de importancia para la conservación de la riqueza de especies, diversidad y endemismo de los anfibios y reptiles en la Sierra Madre Occidental, o también conocidos como hotspots (Myers et al., 2000; Roberts et al., 2002). Esto con la intención de potencializar la relevancia que tienen las Área Naturales Protegidas (ANP) presentes en esta sierra, o bien, sugerir nuevas áreas potencialmente importantes para esta fauna. Según Gaston y Williams (1996), existen criterios generales para proponer hotspots, por ejemplo, sitios con alto número de especies, y posiblemente con altos valores de diversidad taxonómica, alto número de especies endémicas, variedad de hábitats, comunidades vegetales complejas en términos de especies, y zonas sugeridas como reservas naturales. Así mismo, algunos estudios como el de Contreras-Medina et al. (2003) o el de Hernández-Salinas et al. (2023), lograron identificar áreas de importancia biológica o “hotspots” a nivel regional. En el primer caso, los autores identificaron 5 hotspots en Asia y Oceanía para las briofitas y gimnospermas, los cuales son altamente congruentes con los hotspots identificados por Myers et al. (2000); en el segundo caso, los autores distinguieron 2 hotspots generales para la herpetofauna del estado de Durango, México, los cuales son altamente congruentes con los nodos panbiogeográficos propuestos por Rodríguez-Gutiérrez (2023) para las lagartijas de la SMO.

Para la identificación de los sitios hotspots de anfibios y reptiles distribuidos en la SMO, se consideraron tres niveles de importancia: la riqueza de especies, el número de especies endémicas, y las especies con alto grado de desaparecer. Para el primer caso se utilizó el número de especies y registros de anfibios (56 especies y 4511 registros) y reptiles (172 especies y 5828 registros) utilizados en previos análisis; en segundo lugar, se utilizaron las especies endémicas de México distribuidas en la SMO según Johnson et al. (2017); y, en tercer lugar, se utilizaron las especies consideradas bajo alto grado de riesgo de acuerdo con las categorías de riesgo propuestas por Wilson et al. (2013ab). De manera colateral, se utilizó la capa de las ANP presentes en la SMO propuesta por la CONABIO (2023), con la intención de localizar las tres proyecciones de hotspots (riqueza, endemismo y alto riesgo) de cada grupo dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) en la SMO.

Para el desarrollo de los análisis de hotspots usando la información de riqueza, endemismo y riesgo, se utilizó la metodología descrita por Getis y Ord (G_i^* ; 1992). La cual evalúa la distancia entre puntos vecinos encontrando las entidades que contengan un alto número de registros y especies. Para considerar una entidad o especie con un alto valor estadísticamente significativo, la entidad debe encontrarse a su vez, rodeada por entidades de valores altos, donde un valor z alto representa un hotspot. El estadístico G_i^* de Getis-Ord, estima la puntuación z y el valor p , los cuales se refieren a la desviación estándar, y a la probabilidad de que el proceso sea aleatorio, respectivamente. El objetivo es identificar si un patrón espacial es diferente a otro, y si esta diferencia es significativa o no. Junto a la localización de los hotspots, se realizó una prueba de U Mann-Whitney pareada para establecer si los hotspots de cada criterio mantienen equivalencia en su posición (León-González y Pérez-Pérez, 2020).

Una vez proyectados los hotspots (riqueza, endemismo y riesgo), se sobrelaparon en la capa de Áreas Naturales Protegidas Federales de México (CONABIO, 2023), para calcular el área que abarca cada hotspots sobre cada ANP, y así obtener la cobertura superficial compartida entre áreas (Hotspots y ANP). Lo anterior permitió resaltar la importancia que tienen las áreas propuestas como hotspots para los objetivos de conservación y protección de la biodiversidad del norte de México, y en especial, para los anfibios y reptiles de esta sierra. Es importante

mencionar, que para este análisis se discriminaron las celdas que carecían de información sobre la presencia de anfibios y reptiles de acuerdo con los criterios analizados (riqueza, endemismo y alto riesgo). Este ejercicio fue posible gracias al uso del programa ArcGis 10.8.2.

RESULTADOS

Patrones de distribución a través de la vegetación

El análisis de coordenadas principales expresó el 66% de variación en la distribución de los anfibios a través de los tipos de vegetación de la SMO (Figura 6; Anexo 6). A través del recambio de especies de los anfibios, el CoP1 señala que el bosque de galerías, mesófilo de montaña, y matorral xerófilo tienen una carga positiva sobre este componente, lo que representa un bajo recambio de especies respecto al resto de tipos de vegetación, esto debido a que las especies en estos tipos de vegetación son exclusivas. En el extremo negativo del CoP1, se encuentra el bosque de encino occidental junto con los bosques tropicales (tropical caducifolio, subcaducifolio y matorral subtropical), entre estos tipos de vegetación el recambio de especies es alto (24 especies; Figura 6 y Anexo 2), debido a que se encuentran en el extremo más húmedo de la SMO. Sobre el eje positivo del CoP2 es posible observar los tipos de vegetación con afinidades más tropicales, mientras que sobre los valores negativos de este mismo eje o componente, se ubican los tipos de vegetación con afinidades más templadas (Figura 6).

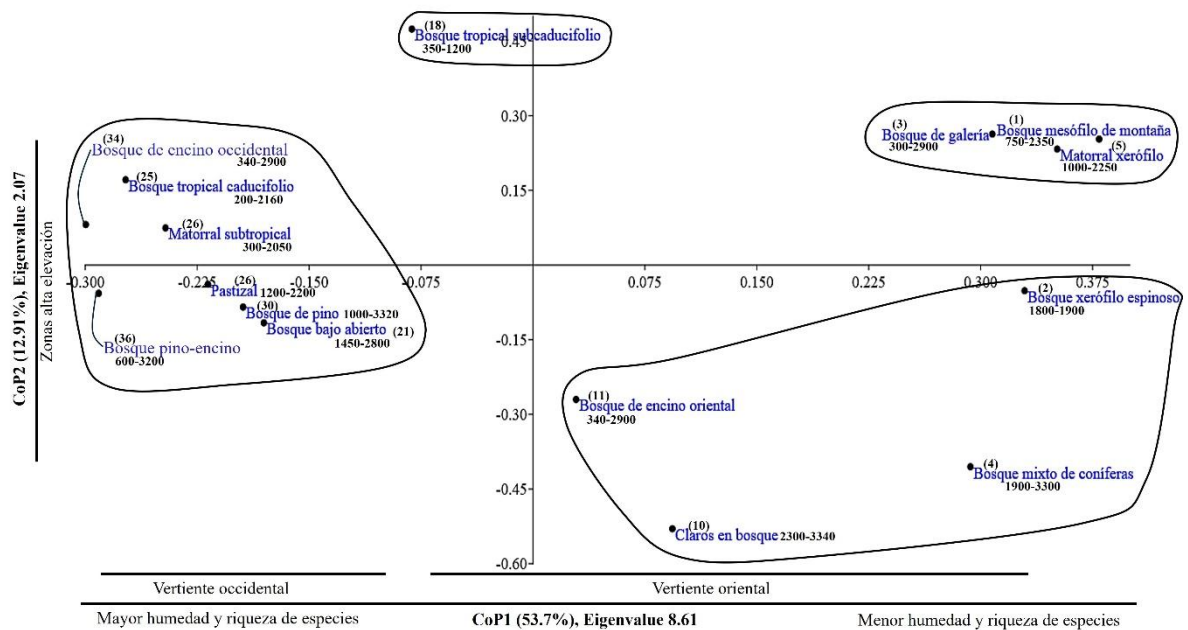


Figura 6. Análisis de coordenadas principales por tipos de vegetación para los anfibios de la Sierra Madre Occidental.

En el caso de los reptiles, el análisis de coordenadas principales expresó el 63% de variación para este análisis. Sobre los valores positivos del primer componente se encuentran el bosque mixto de coníferas, matorral perennifolio y xerófilo, junto con el bosque mesófilo de montaña, los cuales representan un bajo recambio de especies con el resto de los tipos de vegetación. Esto debido a que estos tipos de vegetación presentan la menor extensión territorial en la sierra, lo que genera que la mayoría de sus especies sean exclusivas (Figura 7; Anexo 3 y 7). El bosque de encino occidental, mostro una de las mayores riquezas de especies, esto influenciado posiblemente por el Desierto Chihuahuense. Sobre los valores negativos del CoP1 existe una mayor riqueza de especies, y por lo tanto, un mayor recambio de especies entre los tipos de vegetación templados y tropicales (Figura 7; Anexo 3 y 7). Sobre los valores negativos del CoP2 se observan los tipos de vegetación ubicados a mayor elevación, y sobre el extremo negativo de este mismo eje se observa el bosque xerófilo espinoso y el bosque de galerías, los cuales presentan la menor riqueza de especies (Figura 7; Anexo 3 y 7).

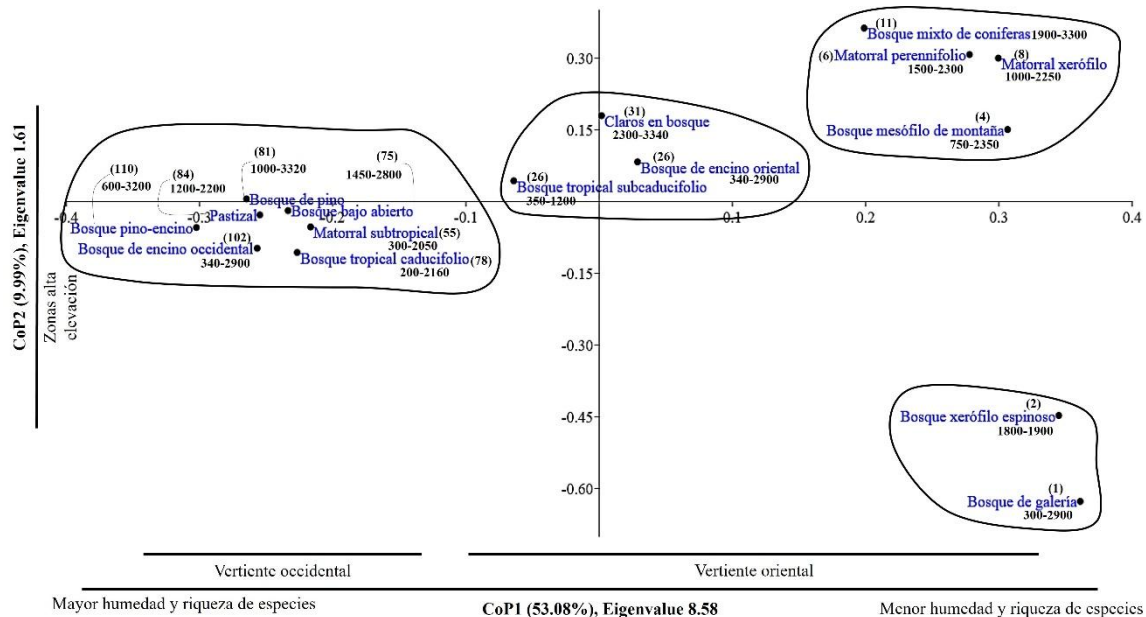


Figura 7. Análisis de coordenadas principales por tipos de vegetación para los reptiles de la Sierra Madre Occidental.

Patrones de distribución a través de las ecorregiones

El análisis de coordenadas principales para anfibios mostró una variación del 84% con respecto a las ecorregiones de la SMO (Figura 8 y Anexo 8). Analizando el recambio de especies para las ecorregiones, es posible notar un claro patrón sobre los valores positivos del CoP1 donde se ubica la región subtropical xerófila, la cual incluye la menor riqueza de especies (Figura 8 y Anexo 4). Por otro lado, en el extremo negativo de este mismo eje, se encuentran las ecorregiones Madrense, Madrense Xerófila y Madrense Tropical, las cuales comparten el mayor recambio de especies con afinidades tropicales; ambas ecorregiones junto con la ecorregión Tropical representan la mayor riqueza de especies (Anexo 4). Sobre el CoP2 es posible observar al Archipiélago Madrense cargado hacia los valores positivos y más altos de este componente, esto representa, un bajo recambio de especies respecto al resto de ecorregiones (Figura 8 y Anexo 4).

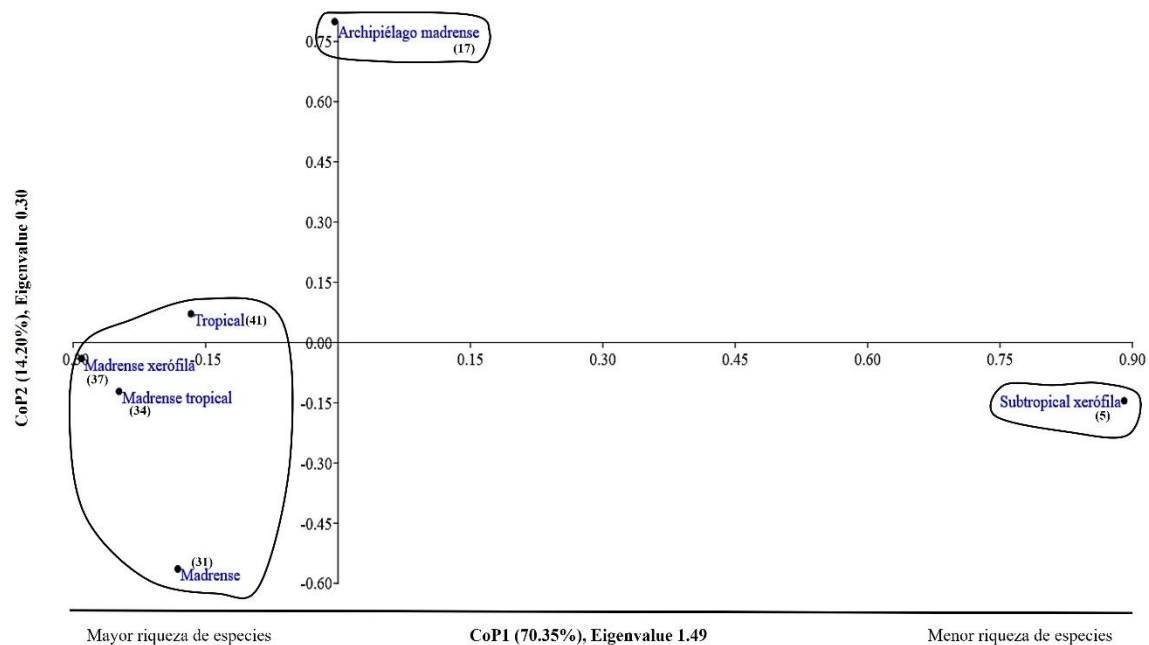


Figura 8. Análisis de coordenadas principales por ecorregiones para los anfibios de la Sierra Madre Occidental.

El análisis de coordenadas principales considerando las ecorregiones para el grupo de los reptiles, obtuvo un total de 82% de variación considerando ambos componentes. A través de este análisis se puede observar un patrón similar al encontrado en anfibios, localizando sobre los valores positivos la región Subtropical Xerófila, la cual, representa la menor riqueza de especies respecto al resto de ecorregiones (Figura 9). Por otro lado, sobre los valores negativos de este mismo componente (CoP1), se agrupan la ecorregión Madreño Xerófila y Tropical, las cuales presentan el mayor recambio de especies con afinidades tropicales. La ecorregión Madreño se desprende del conjunto anterior sobre el CoP2 debido a que presenta una mayor riqueza de especies exclusivas, lo mismo ocurre con el Archipiélago Madreño, la cual representa un menor recambio de especies, y por lo tanto, mayor número de especies exclusivas respecto al resto de las ecorregiones (Figura 9; Anexo 5 y 9). Se reconoce un recambio del noreste de la SMO al suroeste, es decir, de los climas semisecos templados característicos de la región Madreño Xerófila, hacia los climas tropicales hasta los climas semifríos.

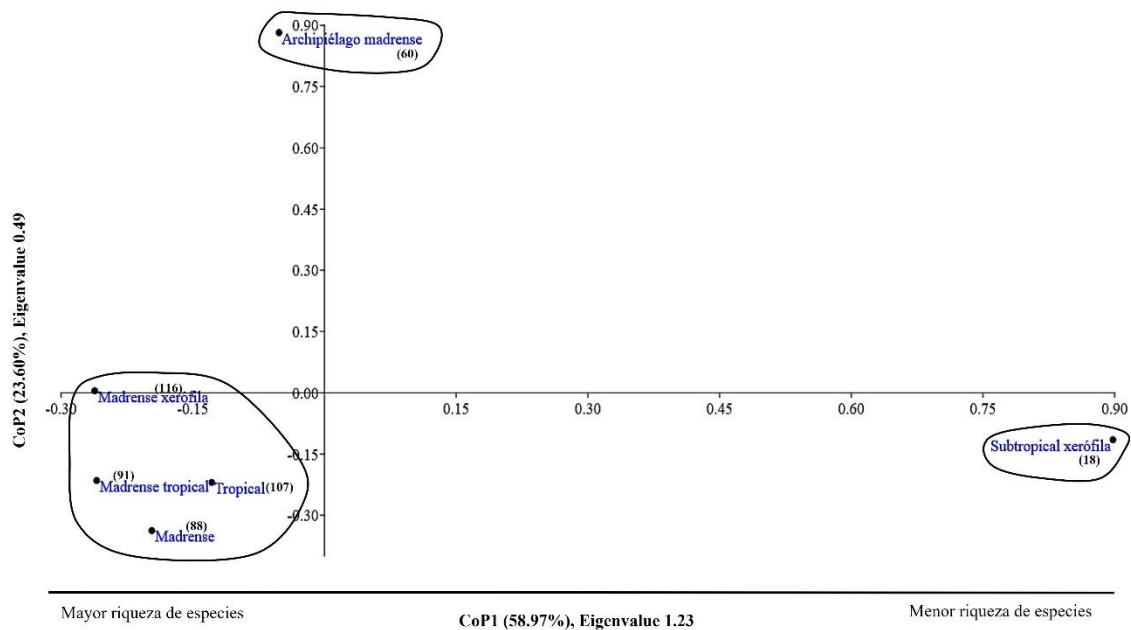


Figura 9. Análisis de coordenadas principales por ecorregiones para los reptiles de la Sierra Madre Occidental.

Finalmente, es importante notar que ambos grupos muestran patrones de distribución semejantes, concentrando sus comunidades en las regiones Tropical y Madrense (junto con sus divisiones), formando un primer agrupamiento. Como segundo patrón, es posible observar un recambio menor en la región del Archipiélago Madrense para ambos grupos, patrón que se encuentra hacia el lado positivo del CoP2. Para el caso de la región Subtropical Xerófila, se observa la menor representación de riqueza de especies tanto para anfibios como para reptiles.

Patrones de distribución a nivel local y regional

A través de las 149 celdas de 0.5° de latitud por longitud para anfibios (Figura 4), solo 17 de éstas mostraron una riqueza mayor a 10 especies (Figura 10). En contraste, para el caso de los reptiles, solo 66 presentaron una riqueza de especies igual o mayor a 10 especies (Figura 11). A través de los 21 cortes latitudinales (Figura 5), se observó que la mayor riqueza de especies de anfibios se concentra en la región sur (transecto: 4-7) y norte (13-19; Figura 12). Mientras que en el caso de los reptiles, prácticamente todos los cortes latitudinales presentaron una alta riqueza de especies, los cuales van de 12 especies (transecto: 10) hasta 81 especies (transecto: 6; Figura 13).

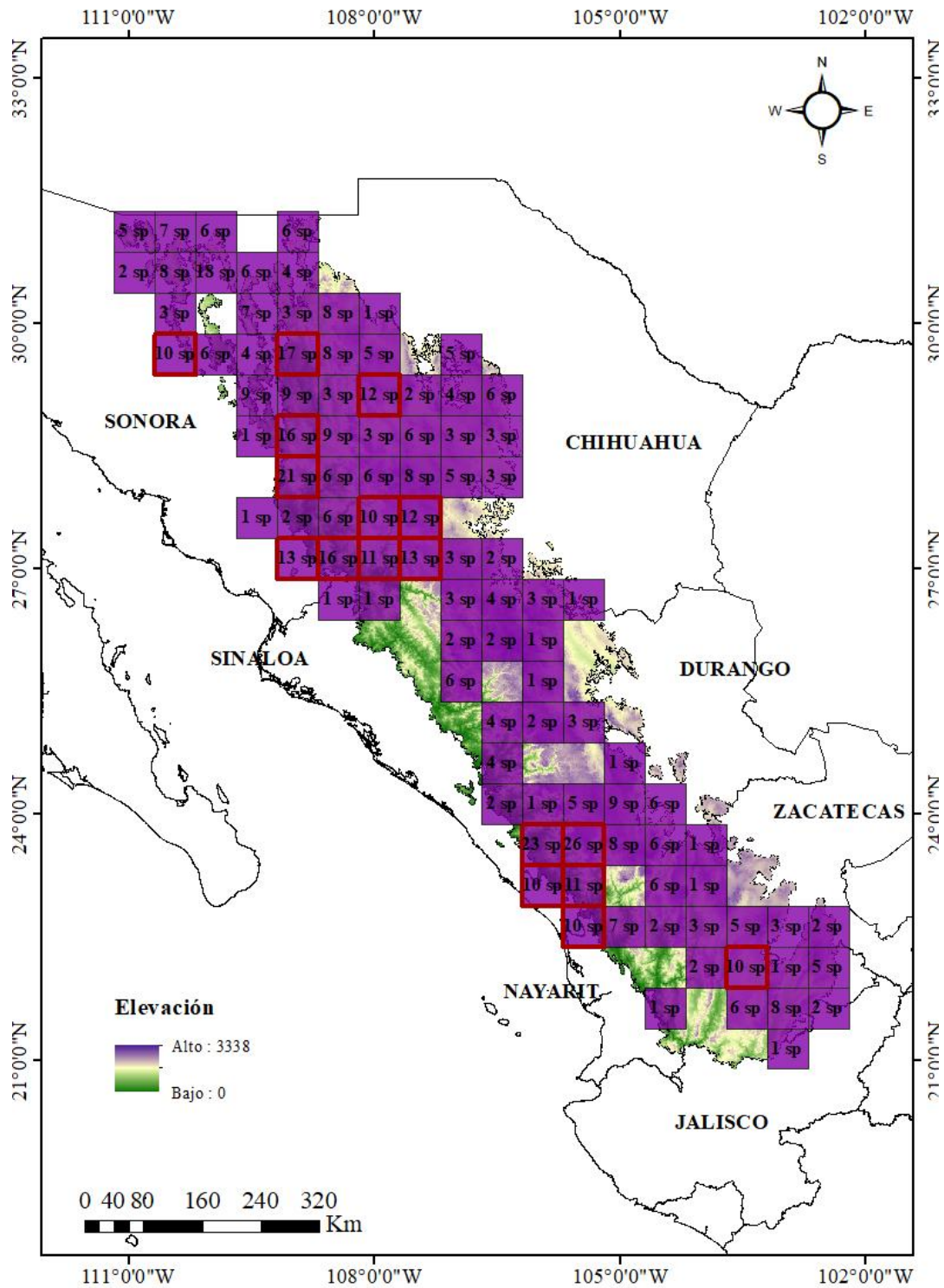


Figura 10. Riqueza de anfibios a través de las celdas para la Sierra Madre Occidental. Las celdas con contornos en color rojo contienen una riqueza mayor a 10 especies.

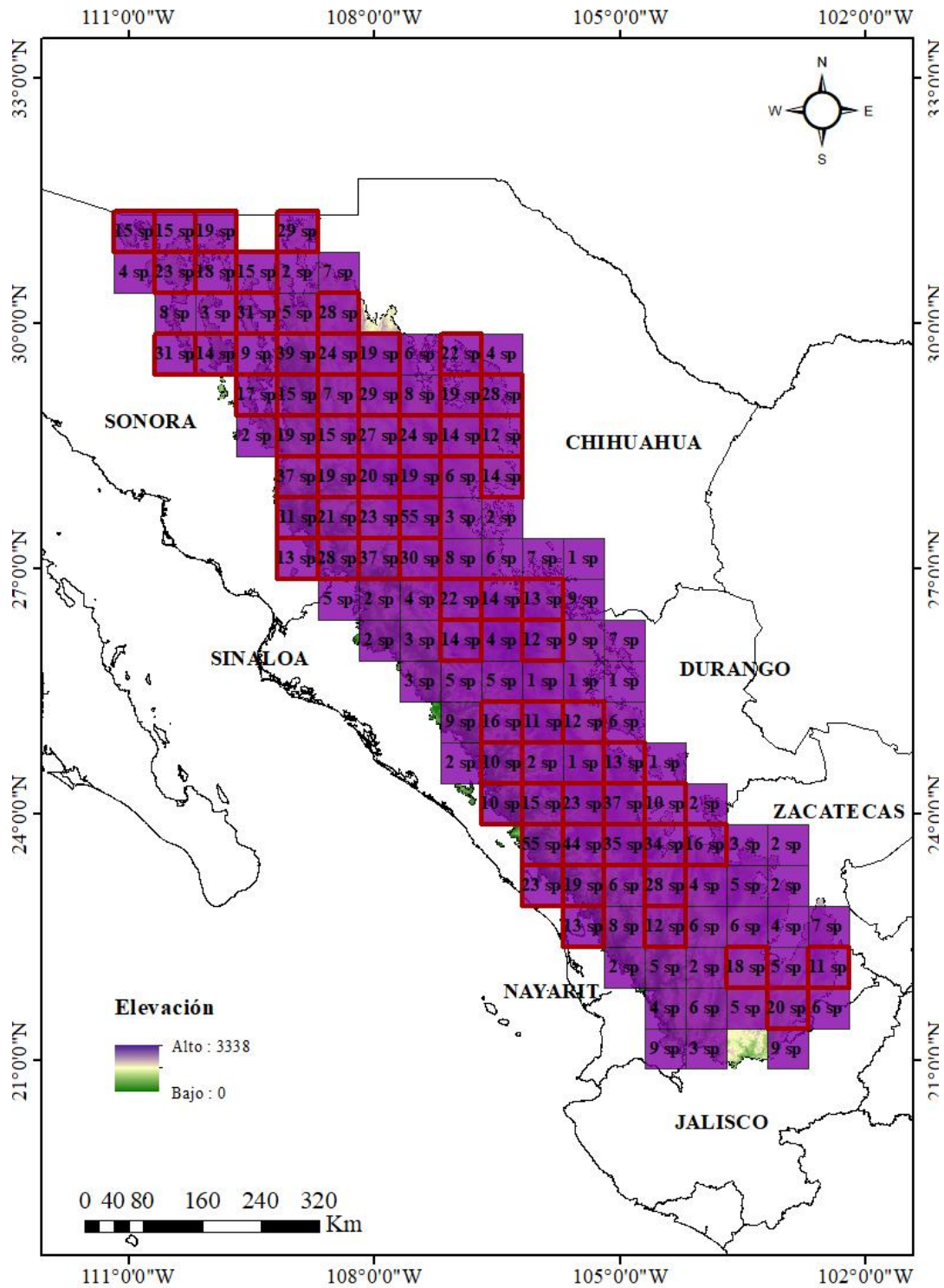


Figura 11. Riqueza de reptiles a través de las celdas para la Sierra Madre Occidental. Las celdas con contornos en color rojo contienen una riqueza mayor a 10 especies.

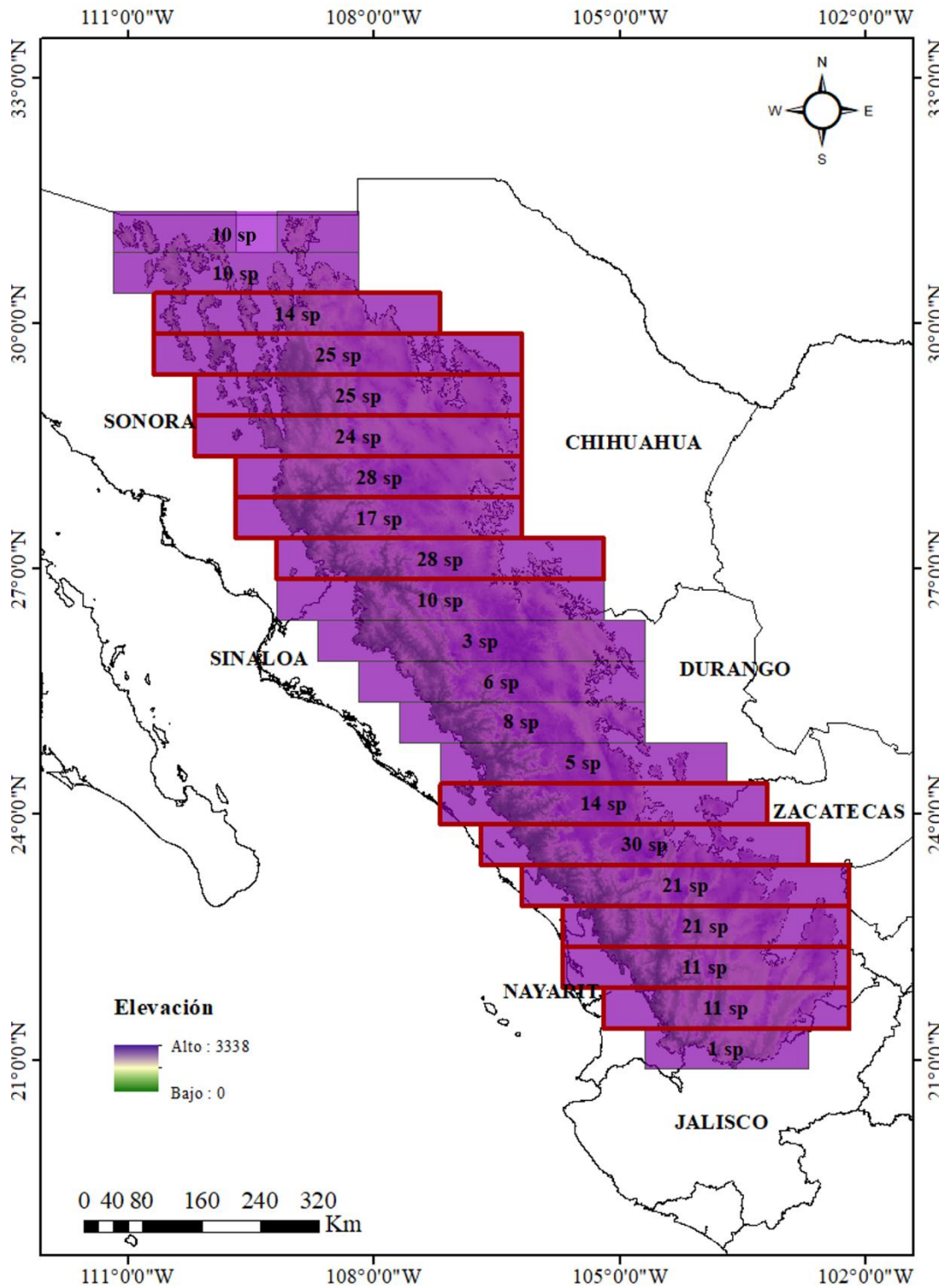


Figura 12. Riqueza de anfibios a través de los cortes latitudinales para la Sierra Madre Occidental. Los cortes con contornos en color rojo representan los sitios con una riqueza mayor a 10 especies.

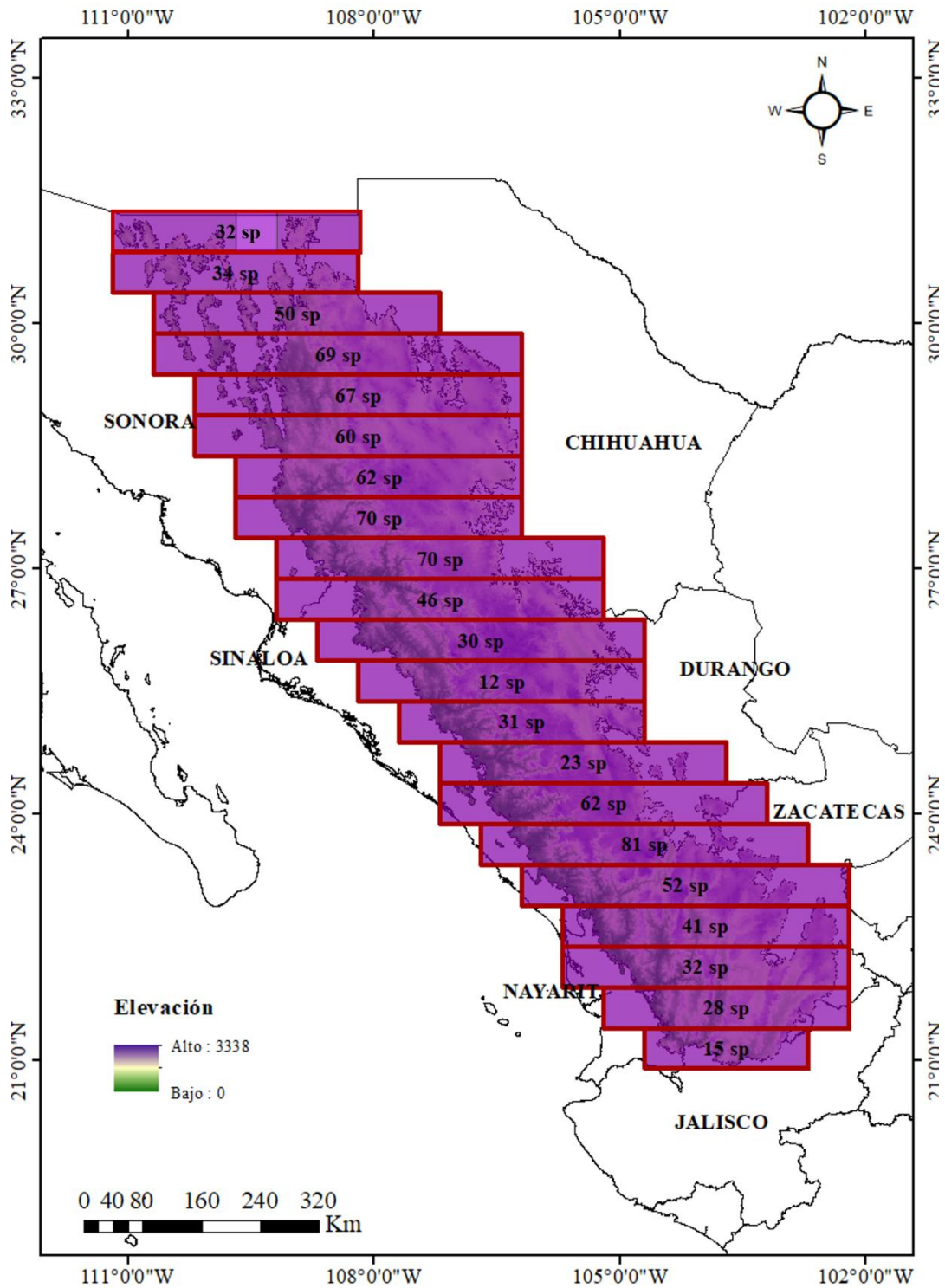


Figura 13. Riqueza de reptiles a través de los cortes latitudinales para la Sierra Madre Occidental. Los cortes con contornos en color rojo representan los sitios con una riqueza mayor a 10 especies.

Afinidad biogeográfica

La herpetofauna de la SMO tiene una distribución biogeográfica principalmente neártica, la cual corresponde al 65% del total de las especies analizadas para la SMO, el resto (35%) presenta una afinidad neotropical. Analizando la afinidad por grupos, el 54% de las especies de anfibios mostraron una distribución preponderantemente neártica, el resto de las especies de anfibios (46%) presentaron una distribución neotropical (Anexo 1). Familias *Bufo* y *Scaphiopus* presentaron una distribución neártica (entre el 78 y 100%), mientras que las familias *Craugastor*, *Eleutherodactylus* y *Plethodontus* tienen mayor presencia en la región neotropical (entre 80 y 100%). Para el caso de los reptiles, la mayoría de las especies distribuidas en esta sierra presentaron una distribución neártica (69%), mientras que las especies de reptiles con afinidad neotropical abarcan el 31% (Anexo 1). Las familias *Anguilla* y *Crotaphytus* tienen una distribución 100% neártica, mientras que las familias *Phrynosoma*, *Colubridae*, *Natrix* y *Viperidae* tienen especies con mayor afinidad neártica (entre 65 y 86%; Anexo 1).

Relación de la riqueza de especies con variables ambientales

Latitud

La relación entre la riqueza de especies con la latitud en anfibios presentó una tendencia positiva, pero no significativa ($r^2 = 0.0583$, $P = 0.2919$; Figura 14A). El coeficiente de determinación demuestra una relación relativamente débil, la cual explica el 5.8% de variación de esta relación.

Para el grupo de los reptiles, la relación entre riqueza de especies y la latitud, reveló una relación positiva, pero no significativa ($r^2 = 0.1141$, $P = 0.1342$; Figura 14B). El modelo explica el 11.4% de variación en la relación entre riqueza y latitud.

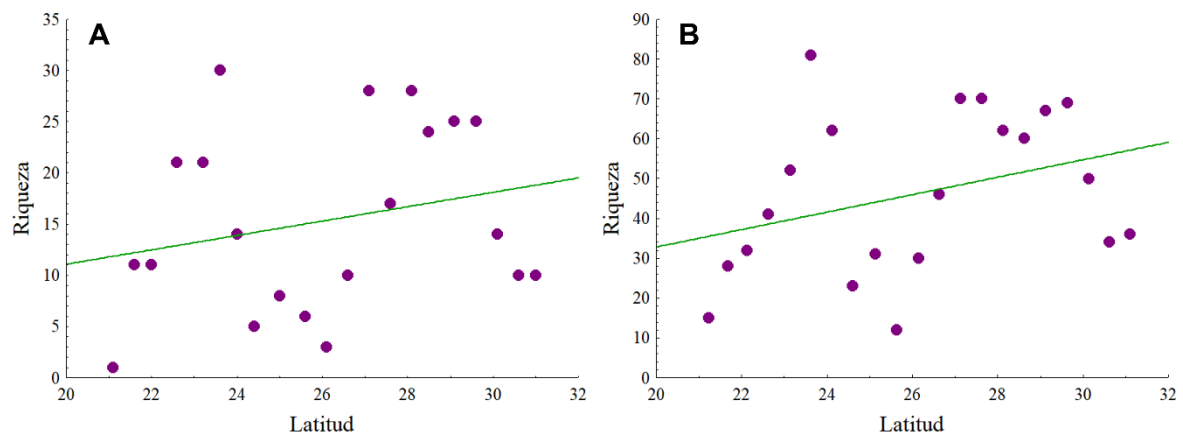


Figura 14. Correlaciones que representan la relación entre la riqueza de especies con la latitud (A) para las especies de anfibios y reptiles (B) distribuidas en la Sierra Madre Occidental.

Longitud

Por su parte al explorar la relación entre riqueza y longitud para los anfibios, esta relación presentó una tendencia negativa, y no significativa ($r^2= 0.0500$, $P= 0.3300$, Figura 15A). Para esta relación, el coeficiente de determinación explica el 5% de variación en dicho modelo.

Para el grupo de los reptiles, el modelo de correlación presentó un patrón semejante al de los anfibios, al mostrar una tendencia negativa y no significativa entre la riqueza y la latitud ($r^2= 0.0855$, $P= 0.1982$; Figura 15B). Dicho modelo explica una variación del 9.0% para la riqueza de especies de reptiles respecto a la longitud.

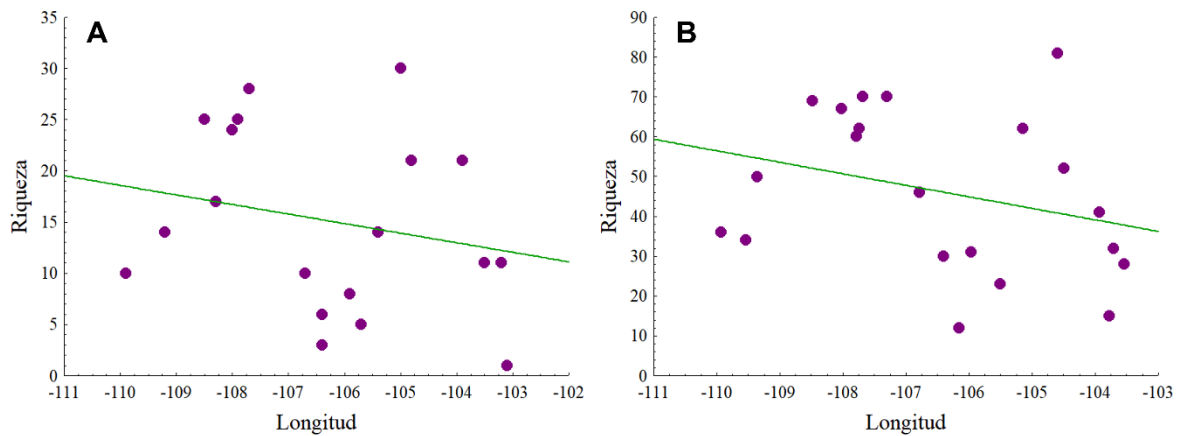


Figura 15. Correlaciones que representan la relación entre la riqueza de especies con la longitud (A) para las especies de anfibios y reptiles (B) distribuidas en la Sierra Madre Occidental.

Elevación

La relación entre la riqueza de anfibios y la elevación mostro un patrón similar a las relaciones anteriores, es decir, fue no significativa ($r^2= 0.1521$, $P= 0.0805$; Figura 16A), arrojando un 15.2% de variación explicada para esta relación.

Respecto a esta misma relación, pero para el grupo de los reptiles, los resultados fueron semejantes, no significativos ($r^2= 0.0284$, $P= 0.4651$; Figura 16B). La variación explicada para esta relación fue una de las más bajas (2.84%).

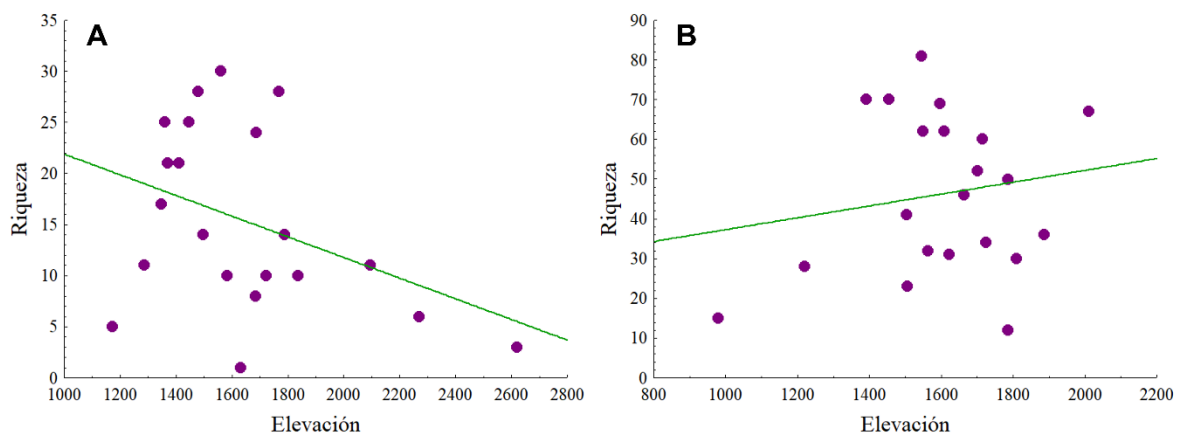


Figura 16. Correlaciones que representan la relación entre la riqueza de especies con la elevación (A) para las especies de anfibios y reptiles (B) distribuidas en la Sierra Madre Occidental.

Diversidad taxonómica

El análisis de diversidad taxonómica para los anfibios determinó que el bosque tropical caducifolio presentó la mayor diversidad taxonómica, esto a pesar de que este tipo de vegetación obtuvo la menor riqueza de especies (Figura 17A). Mientras que, claros en bosque, se ubica en el segundo lugar con la mayor diversidad taxonómica (Figura 17A). El resto de los tipos de vegetación tuvieron un valor de diversidad taxonómica ligeramente mayor que el valor promedio esperado ($\Delta+$ = 58.7; Figura 17A). Por su parte, en el caso de los reptiles, el matorral xerófilo presentó la diversidad taxonómica más alta de este análisis, a pesar de estar representado con una de las riquezas de especies más bajas entre los tipos de vegetación, semejante al bosque mesófilo de montaña y matorral perennifolio (Figura 17B). Los tipos de vegetación restantes tuvieron un valor de diversidad taxonómica ligeramente mayor que el valor promedio esperado ($\Delta+$ = 37.3; Figura 17B).

Los anfibios representan el grupo con el mayor valor de distintividad taxonómica para la SMO, en comparación con los reptiles.

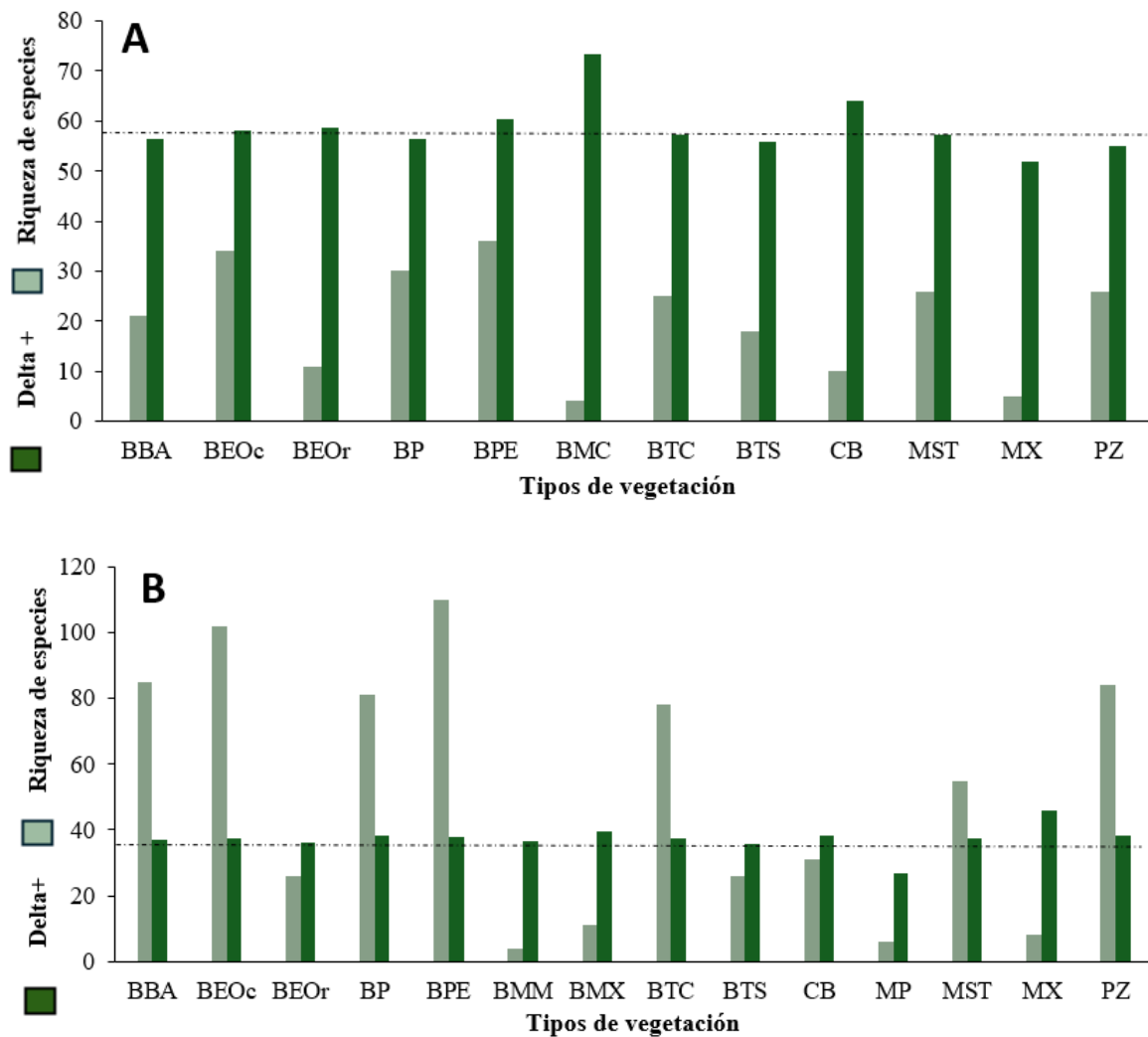


Figura 17. Valores de diversidad taxonómica (Delta+) y riqueza de especies para anfibios (A) y reptiles (B) de la Sierra Madre Occidental. Tipos de vegetación: Bosque bajo abierto (BBA), Bosque de encino occidental (BEOc), Bosque de encino oriental (BEOr), Bosque de pino (BP), Bosque pino-encino (BPE), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Bosque mixto de coníferas (BMC), Bosque tropical caducifolio (BTC), Bosque tropical subcaducifolio (BTS), Claros en bosque (CB), Matorral perennifolio (MP), Matorral subtropical (MST), Matorral xerófilo (MX), Pastizal (PZ). La línea discontinua representa el valor de la distintividad taxonómica promedio esperado.

Hotspots

Anfibios

A través de una prueba de Mann-Whitney se identificaron diferencias significativas entre los hotspots de riqueza, endemismo y riesgo de extinción para los anfibios ($\chi^2=110.5$, $P < 0.0001$; Cuadro 1). Esto permitió identificar que los hotspots (riqueza, endemismos y riesgo) para este grupo, están constituidos por especies diferentes, y ubicados en sitios diferentes.

Cuadro 1. Prueba de U Mann-Whitney pareada entre los valores de z de los hotspots de riqueza, endemismo y riesgo de extinción para anfibios y reptiles.

Prueba de U Mann-Whitney (Anfibios)			
	Riqueza	Endemismo	Riesgo
Riqueza		<0.0001	<0.0001
Endemismo	<0.0001		<0.0001
Riesgo	<0.0001	<0.0001	
Prueba de U Mann-Whitney (Reptiles)			
	Riqueza	Endemismo	Riesgo
Riqueza		<0.0001	<0.0001
Endemismo	<0.0001		0.4242
Riesgo	<0.0001	0.4242	

A través de las 149 celdas que constituyen la riqueza total para los análisis de hotspots de la SMO, 18 celdas mostraron un valor alto de z, lo que equivale a reconocer o sugerir sitios hotspots (Figura 18). Sobre estos hotspots es posible observar dos agrupaciones o áreas que pueden ser importantes en términos de conservación, los cuales reflejan sitios con una probabilidad mayor al 90%. Uno de estos se encuentra ubicado al noroeste de la SMO (sustentado por las celdas 25, 26, 34, 35, 36, 43, 44) y la segunda agrupación está cerca de la parte central de la sierra con dirección al suroeste (sustentado por las celdas 87, 94, 95, 96, 102, 108, 109, 110, 116, 117, 118; Figura 18). Por su parte, los hotspots identificados para las especies endémicas de anfibios presentes en la SMO, presentaron una alta similitud con los hotspots de riqueza, no obstante, existen celdas que no fueron consideradas en los hotspots de riqueza, esto debido a que no presentaban ningún registro de especies

endémicas. En términos generales, los sitios hotspots se agrupan en los mismos conjuntos de riqueza, el primero está sustentado por las celdas 18, 25, 26, 34, 35, 36, 42, 43 y 44, mientras que el segundo conjunto está sustentado por las celdas 96 y 97, las cuales presentaron un valor de significancia mayor al 90% (Figura 19).

Los hotspots para especies de anfibios en riesgo de extinción, se sustentan por 6 celdas, reconocidos a su vez como sitios de importancia para su conservación (significancia > 90%). Los hotspots de riesgo están sustentados por las celdas 26, 34, 35, 43 y 44, las cuales, a su vez, se ubican al suroeste de la sierra, junto con la celda 101 como único sitio de importancia ubicado en dirección a la costa noroeste de la sierra, colindando con el Archipiélago Madreño (Figura 20).

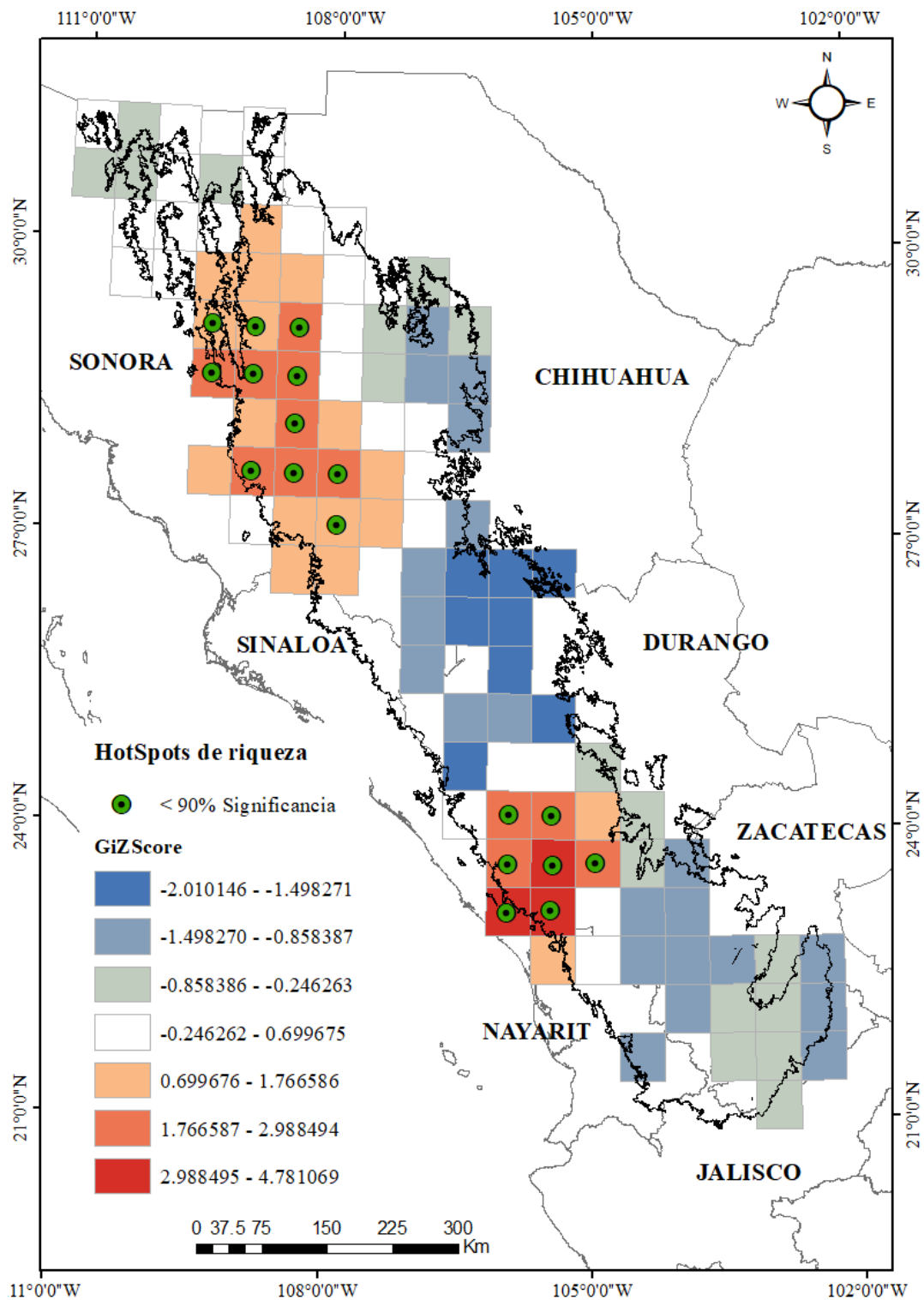


Figura 18. Hotspots de riqueza de anfibios en la Sierra Madre Occidental. Los círculos verdes representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%.

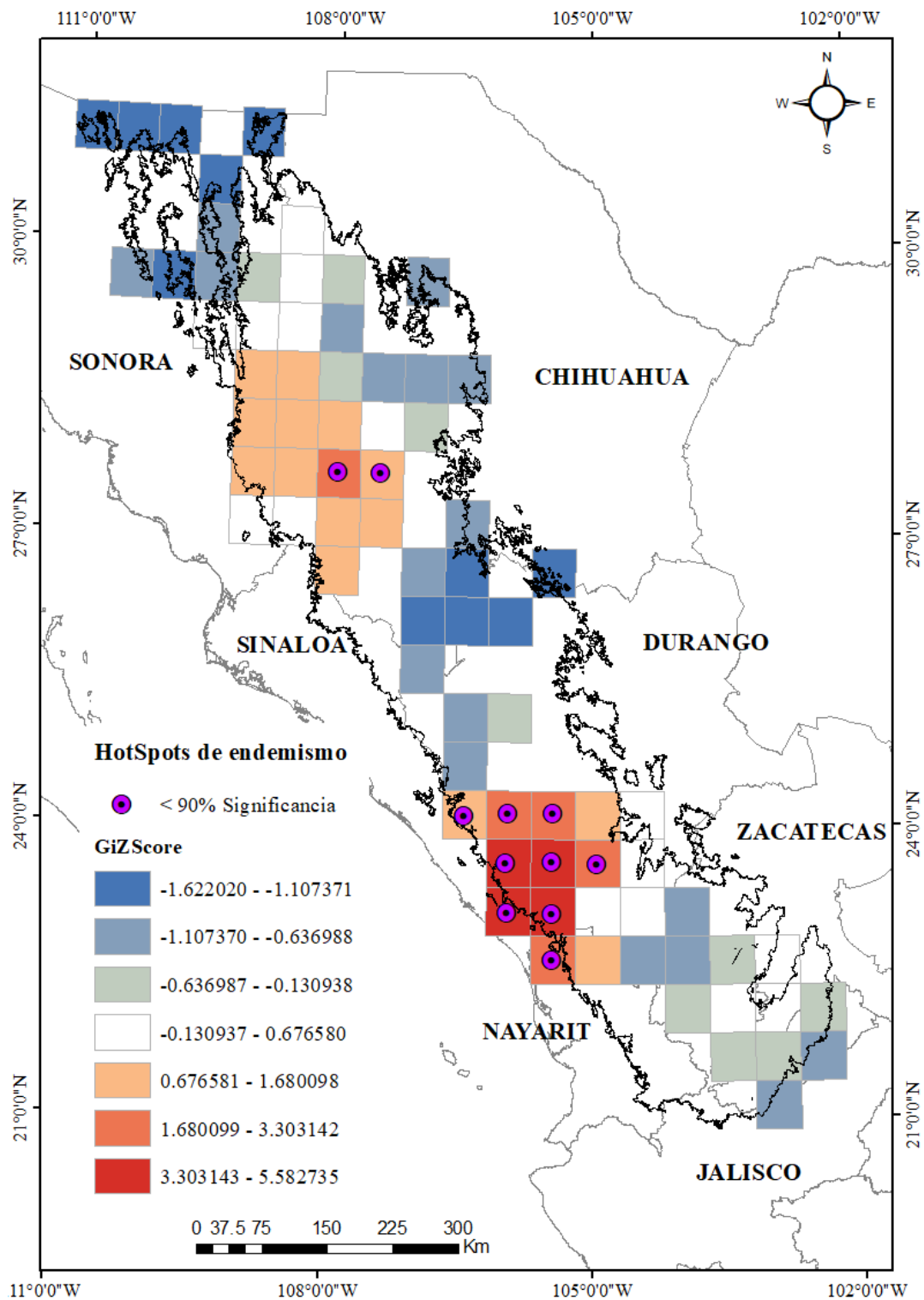


Figura 19. Hotspots de anfibios endémicos en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%.

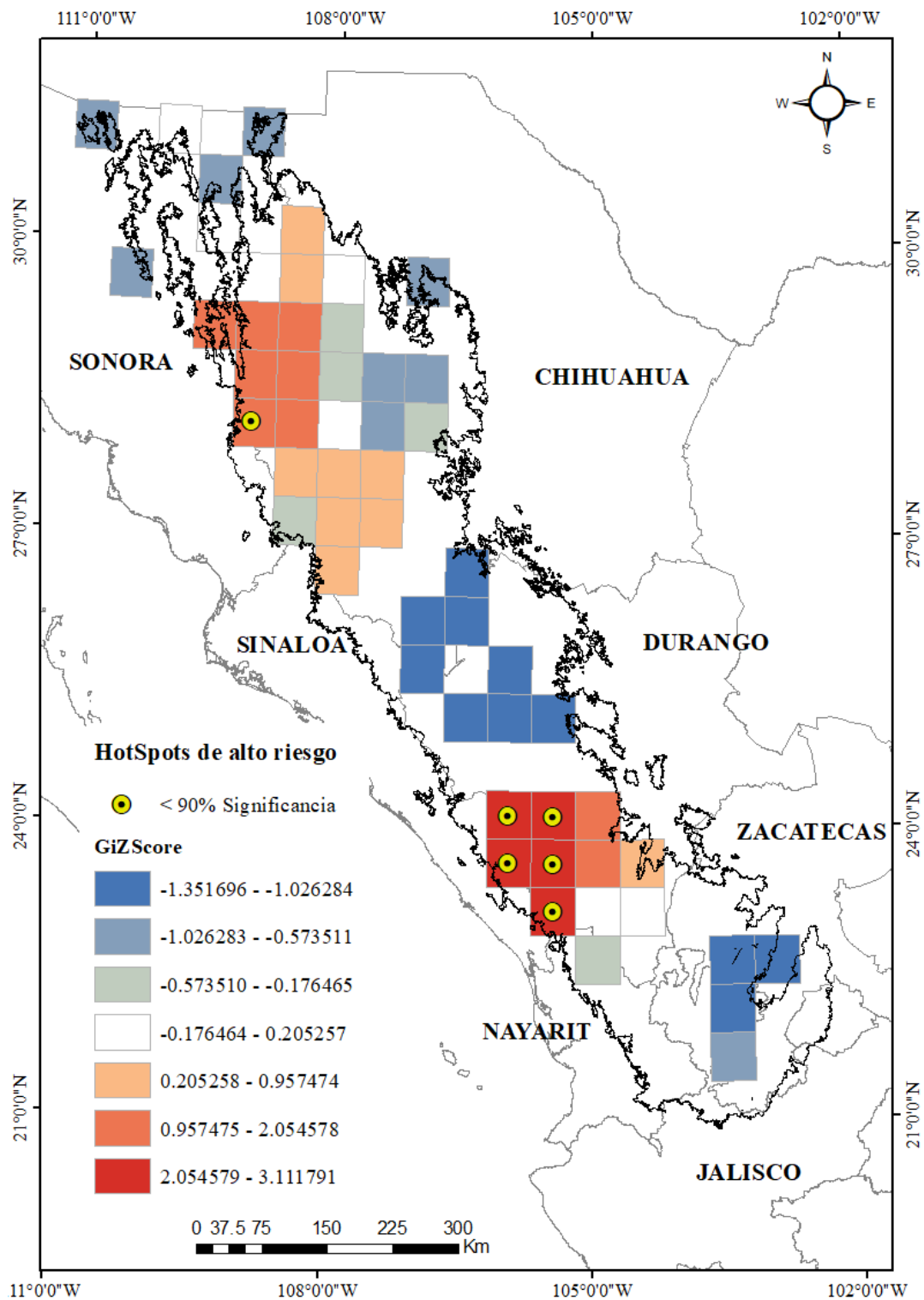


Figura 20. Hotspots de anfibios en alto riesgo de extinción presentes en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%.

Reptiles

Se encontraron diferencias significativas al comparar estadísticamente los hotspots de riqueza, endemismo y riesgo de extinción de los reptiles ($\chi^2= 103.8$, $P<0.0001$; Cuadro 1). Sin embargo, los hotspots de endemismos y riesgo de extinción fueron semejantes, es decir, se ubicaron en prácticamente los mismos sitios (Cuadro 1). Los sitios de importancia para la conservación resultantes del análisis de hotspots de riqueza de reptiles se ubicaron en 22 celdas de la SMO, celdas que a su vez, se ubican en la zona norte y sur de esta sierra (Figura 21). El hotspot ubicado al norte de esta sierra está sustentado por las celdas 25, 26, 27, 34, 35, 36, 43, 44 y 45, y la segunda agrupación, localizado al sur, está sustentado por las celdas 87, 88, 95, 96, 97 y 103. Los sitios considerados como hotspots para esta fauna tienen una significancia mayor al 90% (Figura 21). El análisis de hotspots de especies endémicas se ubicó sobre 19 celdas (significancia > 90%), los cuales se conforman en dos agrupaciones, una de ellas, localizada al noroeste de esta sierra constituida por las celdas 25, 26, 27, 28, 34, 35, 36, 37, 42, 43, 44, 45 y 46; y la segunda agrupación, localizada al suroeste, y sustentada por las celdas 87, 88, 95, 96, 97 y 103 (Figura 22). Por su parte, los hotspots identificados para especies en riesgo de extinción se componen por 16 celdas con una significancia mayor al 90% (Figura 23). Las dos agrupaciones de hotspots se localizan en la región centro-norte y suroeste de esta sierra. La primera sustentada por las celdas 25, 26, 27, 34, 35, 36, 43, 44, y 45, la segunda sustentada por las celdas 87, 88, 95, 96, 97, 103 y 104 (Figura 23).

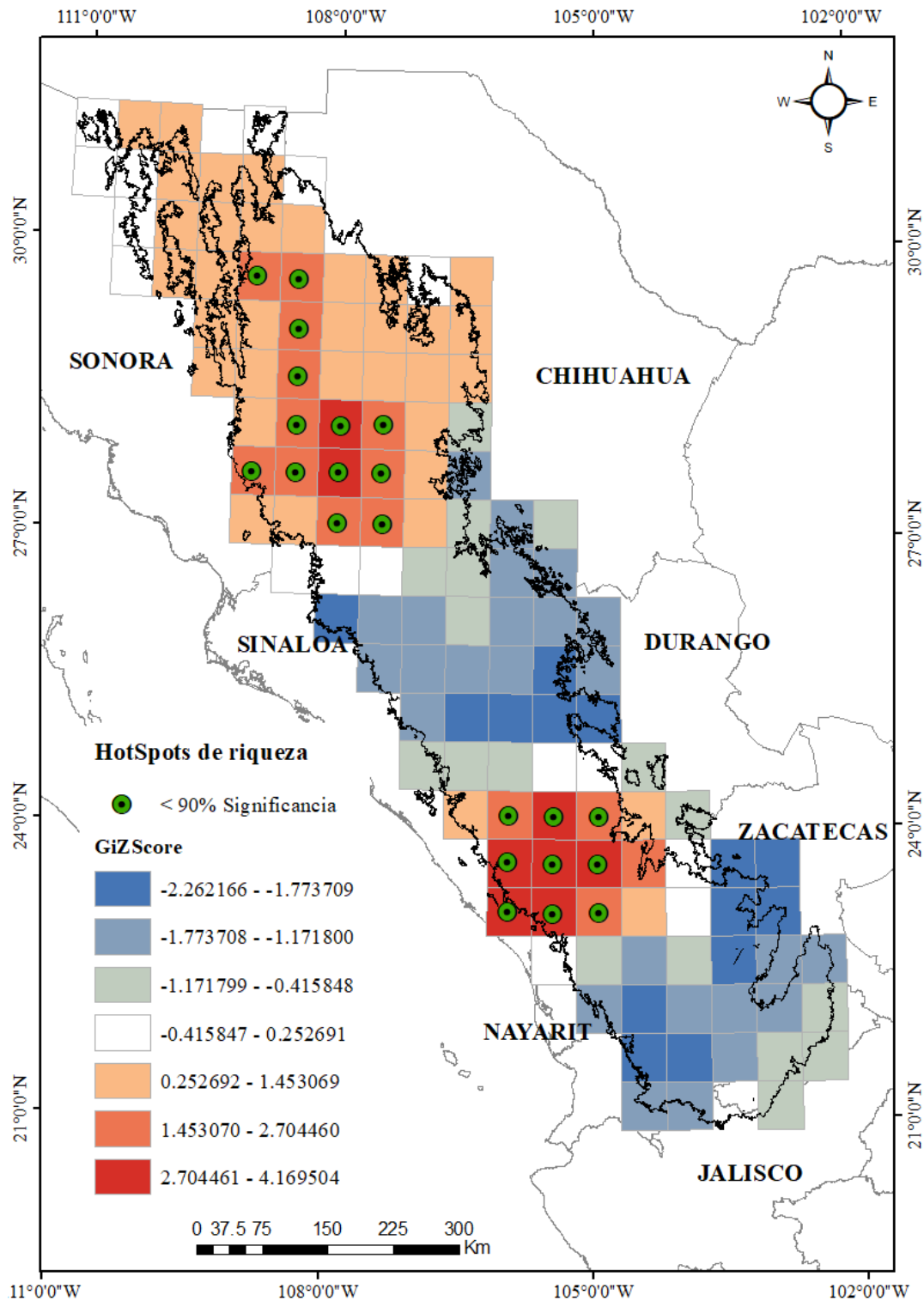


Figura 21. Hotspots de riqueza de reptiles en la Sierra Madre Occidental. Los círculos verdes representan los sitios de influencia con una significancia mayor a 90%.

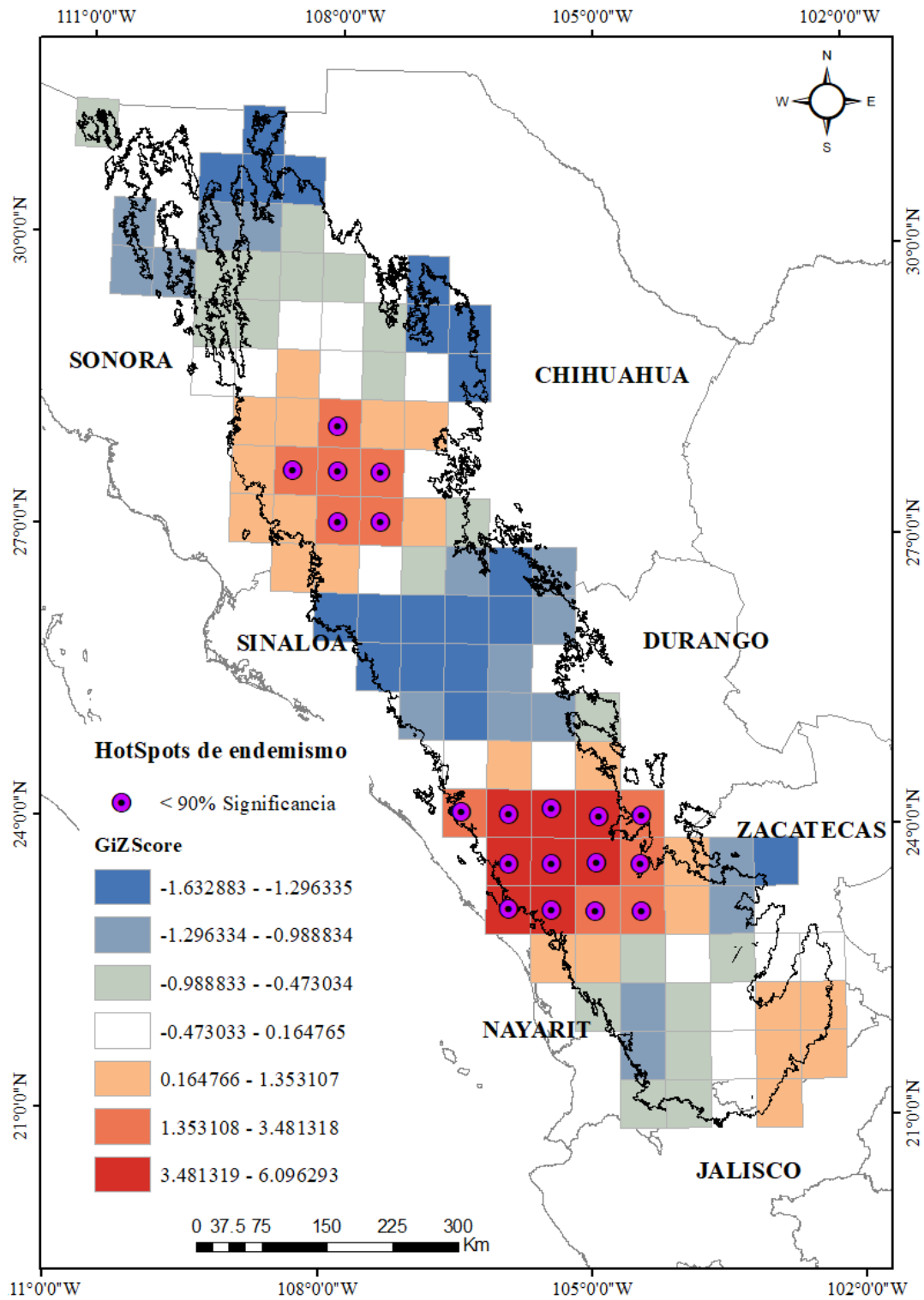


Figura 22. Hotspots de reptiles endémicos presentes en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%.

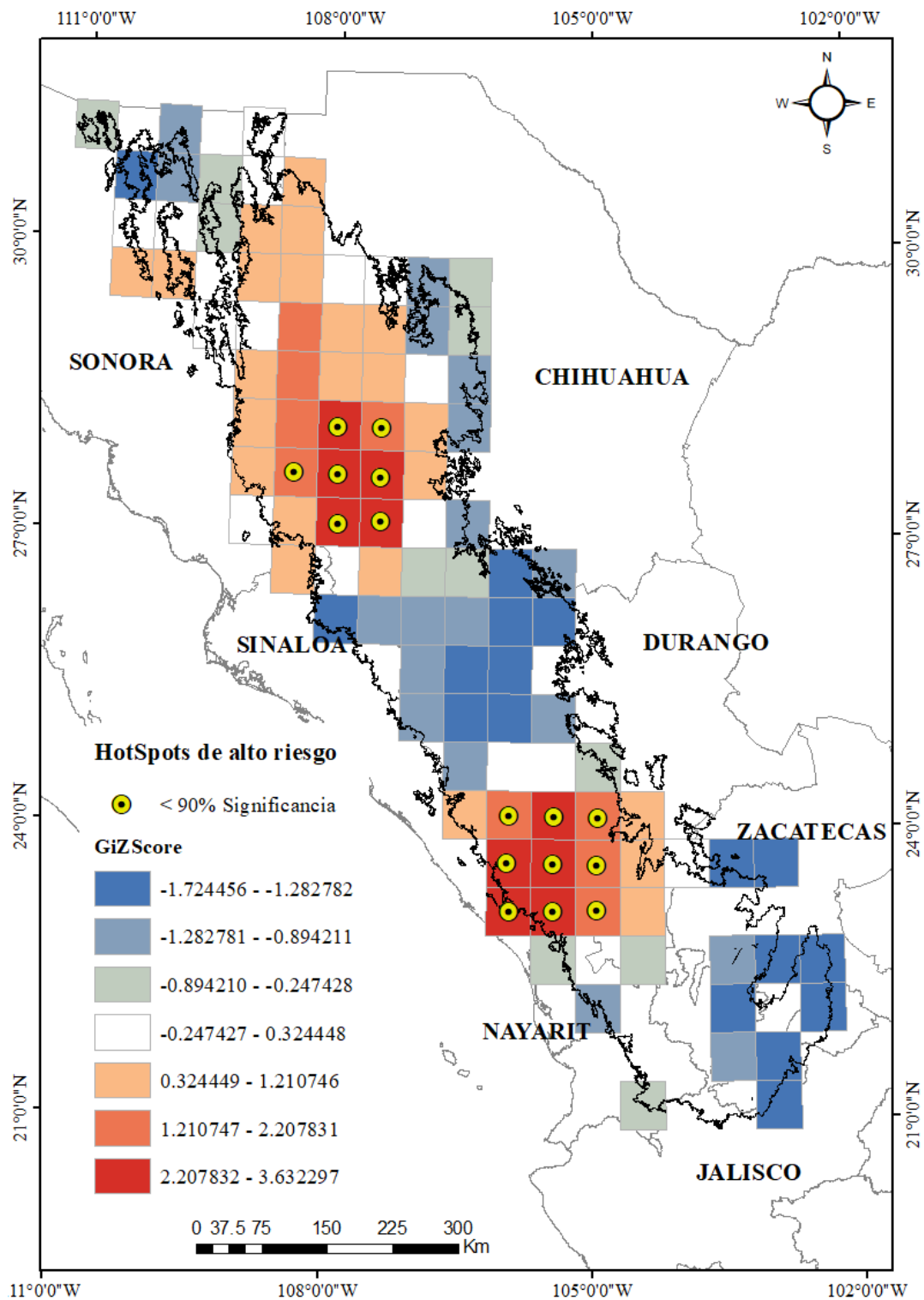


Figura 23. Hotspots de reptiles en alto riesgo de extinción presentes en la Sierra Madre Occidental. Los círculos morados representan los sitios de influencia con una significancia mayor al 90%.

Relación de los hotspots con Áreas Naturales Protegidas

La Sierra Madre Occidental cuenta con un total de 13 Áreas Naturales Protegidas (ANP) decretadas, de las cuales, algunas son parcialmente congruentes con los hotspots identificados bajo los tres criterios de análisis (riqueza, endemismo y riesgo de extinción), considerando a ambos grupos de estudio. El grupo de los reptiles tiene una mayor cantidad de sitios de importancia para su conservación, en comparación con los anfibios; sin embargo, los sitios de influencia tanto para anfibios como para reptiles se concentran en las mismas zonas. Un grupo de sitios de influencia convergen en la parte noroeste de la SMO, y otro en la parte suroeste de la región central (Figura 24).

Anfibios

Al sobreponer las ANP de la SMO sobre los sitios de importancia o hotspots (con significancia > 90%) para los anfibios, se logró identificar que las ANP con mayor porcentaje de cobertura dentro de los hotspots de riqueza son: Cascada de Bassaseachic (100%), Tutuaca (60.81%) y Campo Verde, las cuales se encuentran en el estado de Chihuahua (57.34%; Cuadro 2 y Figura 24). En cuanto a los hotspots de endemismo de anfibios, las ANP coincidentes con éstos fueron: Cascada de Bassaseachic (100%), Tutuaca (60.81%), y Papigochic (52.83%) en el estado de Chihuahua, y C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit en el estado de Nayarit (11.66%; Cuadro 2 y Figura 25). Respecto a los hotspots de especies de anfibios en riesgo de extinción, Campo verde con 100% de cobertura, Cascada de Bassaseachic con 90.72% y Tutuaca con 58.78% (Cuadro 2), ambas en Chihuahua, son las ANP que cuentan con mayor área involucrada (Figura 26). Es importante resaltar, que el área superficial que comprenden las ANP que coinciden con los sitios hotspots identificados para anfibios es de 26570.74 km², del cual solo aproximadamente el 22% de esta extensión se encuentra dentro de las áreas de importancia.

Cuadro 2. Área superficial de las ANP y área cubierta por las ANP respecto a los hotspots de riqueza, endemismo y alto riesgo de especies de anfibios en la SMO. Los valores de área fueron calculados en km².

Criterio	Nombre del ANP	Área total	Área cubierta	% de cobertura
Riqueza	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	18023.88	689.43	3.83
	Campo Verde	1082.18	620.48	57.34
	Cascada de Bassaseachic	58.11	58.11	100.00
	Papigochic	2227.64	1177.83	52.87
	Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui	305.54	175.12	57.31
	Tutuaca	4372.78	2659	60.81
	Bavispe	987.38	97.79	9.90
Endemismo	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	18023.88	2101.47	11.66
	Cascada de Bassaseachic	58.11	58.11	100.00
	Papigochic	2227.64	1177.84	52.87
	Tutuaca	4372.78	2659	60.81
Alto riesgo	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	18023.88	1701.18	9.44
	Campo Verde	1082.18	1082.18	100.00
	Cascada de Bassaseachic	58.11	52.72	90.72
	Janos	1857.71	286.69	15.43
	Papigochic	2227.64	76.23	3.42
	Tutuaca	4372.78	2570.11	58.78
	La Michilía	350	186.87	53.39

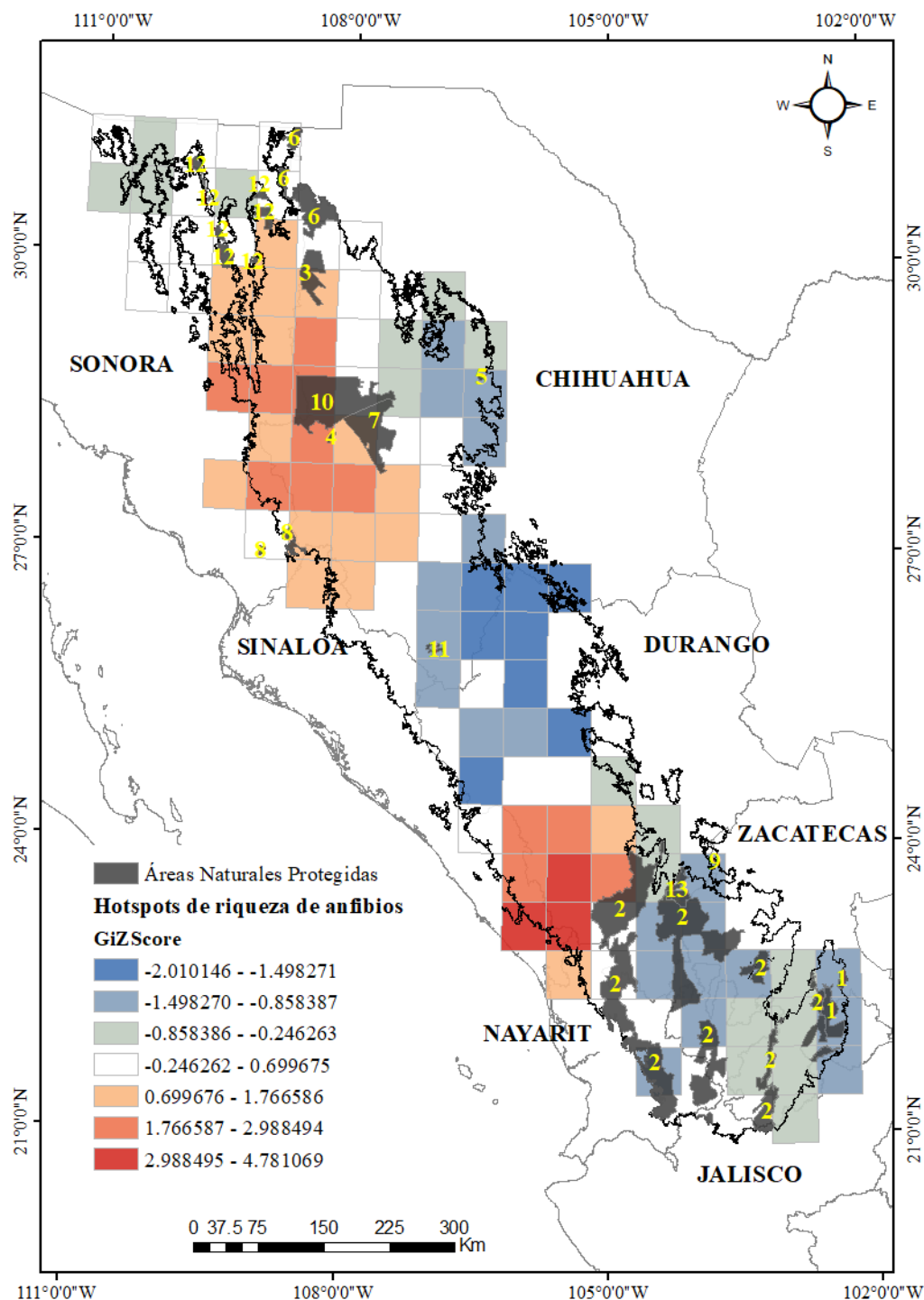


Figura 24. Hotspots de riqueza de anfibios relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).

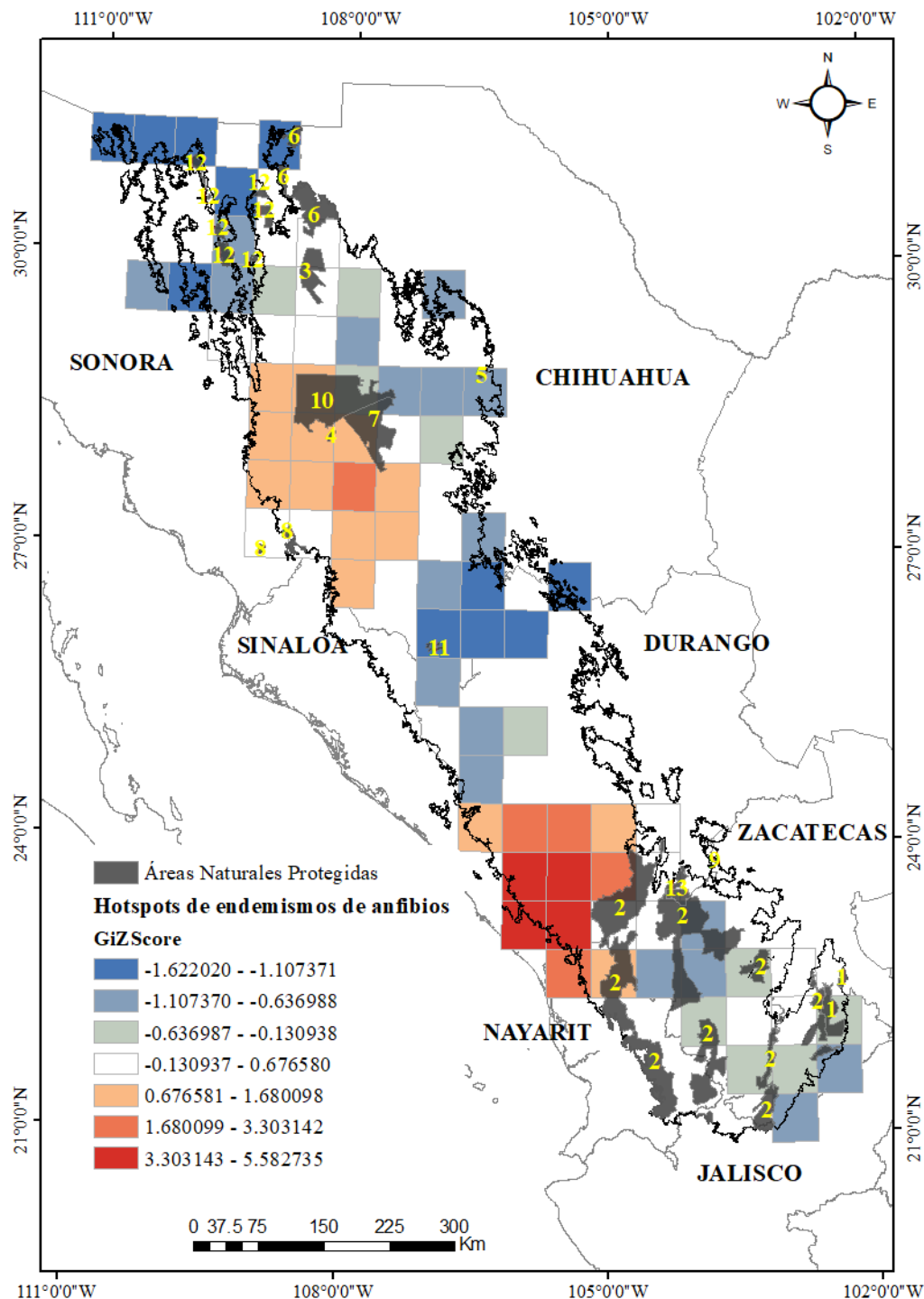


Figura 25. Hotspots de anfibios endémicos relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).

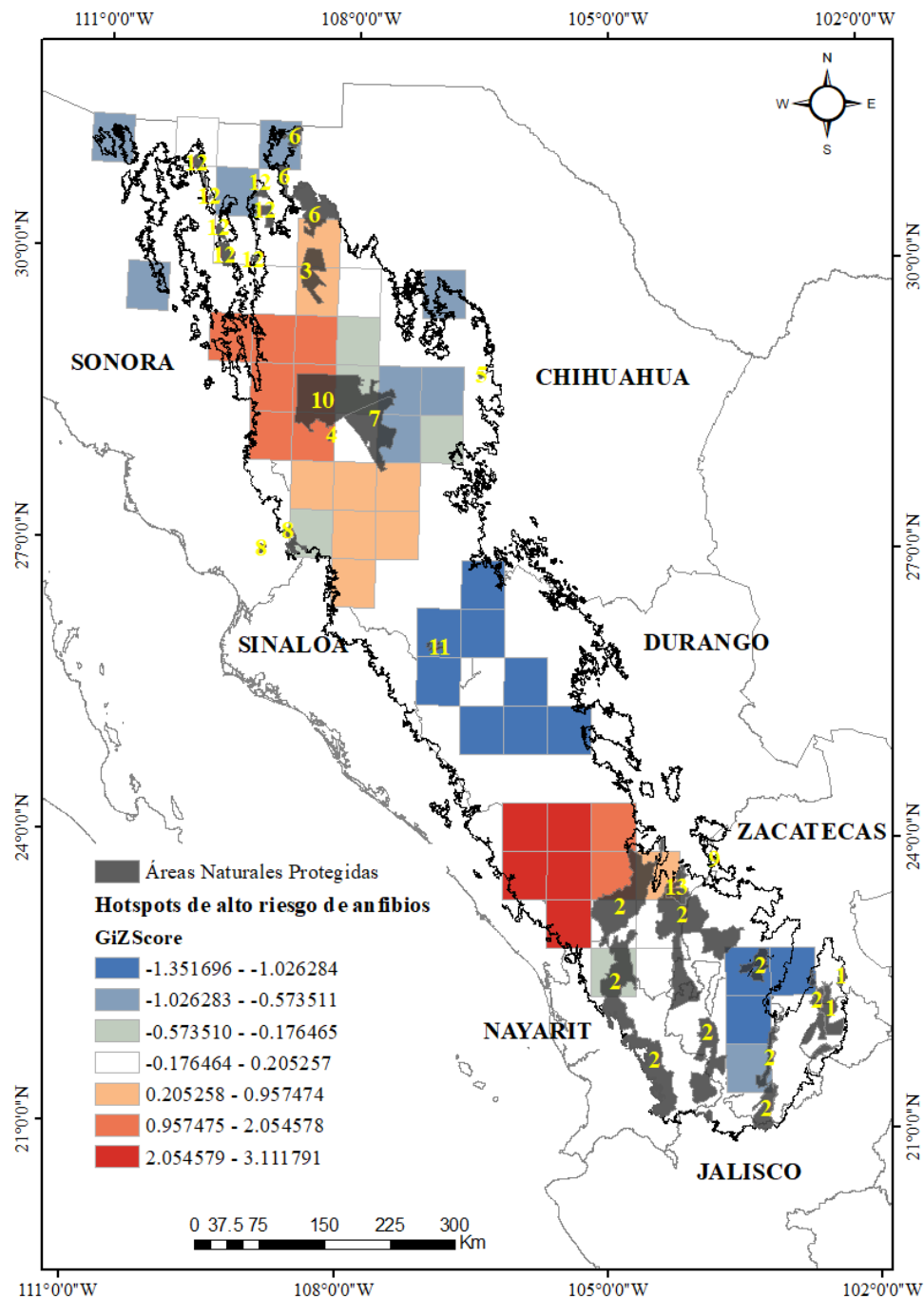


Figura 26. Hotspots de anfibios en riesgo de extinción relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).

Reptiles

Para el grupo de los reptiles, los análisis de hotspots de los tres criterios considerados mostraron mayor cantidad de sitios de influencia que en el caso de los anfibios, lo cual refleja tanto una co-ocurrencia con más ANP, y un mayor porcentaje de cobertura por parte de las ANP con respecto a los hotspots.

Las ANP con un 100% de coincidencia con los sitios de importancia para la conservación de los reptiles son Campo Verde, Cascada de Bassaseachic, Cumbres de Majalca, Papigochic, Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui, Tutuaca y Bavispe, ambas en el estado de Chihuahua, y C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit, en el estado de Nayarit, siendo esta última la de mayor extensión geográfica (27.41%), y que coincide dentro de los hotspots (Cuadro 3 y Figura 27). Respecto a los sitios de influencia con las especies endémicas, es posible observar cuatro ANP que representan el 100% de su área superficial dentro de los hotspots, éstas son: Cascada de Bassaseachic, Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui, en Chihuahua, y Sierra de Órganos y La Michilía en el estado de Durango (Cuadro 3 y Figura 28). No obstante, para este caso, la C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit tiene una coincidencia de cobertura de poco más del 50%. Por otro lado, en los hotspots de especies en riesgo de extinción (Figura 29), las ANP que convergen en su totalidad con estos sitios son: Campo Verde, Cascada de Bassaseachic, Papigochic y Tutuaca (Cuadro 3), y con un 8.59% de cobertura se encuentra Bavispe, todas en el estado de Chihuahua. Cabe mencionar, que las ANP en esta sierra, que se sobreponen con los hotspots de riqueza, endemismo y riesgo de extinción comprenden una superficie total de 28283.49 km², de los cuales, aproximadamente el 52% coincide con las zonas identificadas.

Cuadro 3. Área superficial de las ANP y área cubierta por las ANP con respecto a los hotspots de riqueza, endemismo y alto riesgo de especies de reptiles en la SMO. Los valores de área fueron calculados en km².

Criterio	Nombre del ANP	Área total	Área cubierta	% de cobertura
Riqueza	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	18023.88	4939.73	27.41
	Campo Verde	1082.18	1082.18	100.00
	Cascada de Bassaseachic	58.11	58.11	100.00
	Cumbres de Majalca	46.87	46.87	100.00
	Janos	1857.71	520.56	28.02
	Papigochic	2227.64	2227.64	100.00
	Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui	305.54	305.54	100.00
	Tutuaca	4372.78	4372.78	100.00
	Bavispe	987.38	987.38	100.00
	La Michilía	350	199.66	57.05
Endemismo	C.A.D.N.R. 001 Pabellón	923.96	695.69	75.29
	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	18023.88	9186.62	50.97
	Cascada de Bassaseachic	58.11	58.11	100.00
	Papigochic	2227.64	1765.78	79.27
	Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui	305.54	305.54	100.00
	Sierra de Órganos	11.25	11.25	100.00
	Tutuaca	4372.78	2659	60.81
	La Michilía	350	350	100.00
Alto riesgo	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	18023.88	4939.73	27.41
	Campo Verde	1082.18	1082.18	100.00
	Cascada de Bassaseachic	58.11	58.11	100.00
	Janos	1857.71	1384.66	74.54
	Papigochic	2227.64	2227.64	100.00
	Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui	305.54	175.12	57.31
	Tutuaca	4372.78	4372.78	100.00
	Bavispe	987.38	84.81	8.59
	La Michilía	350	199.66	57.05

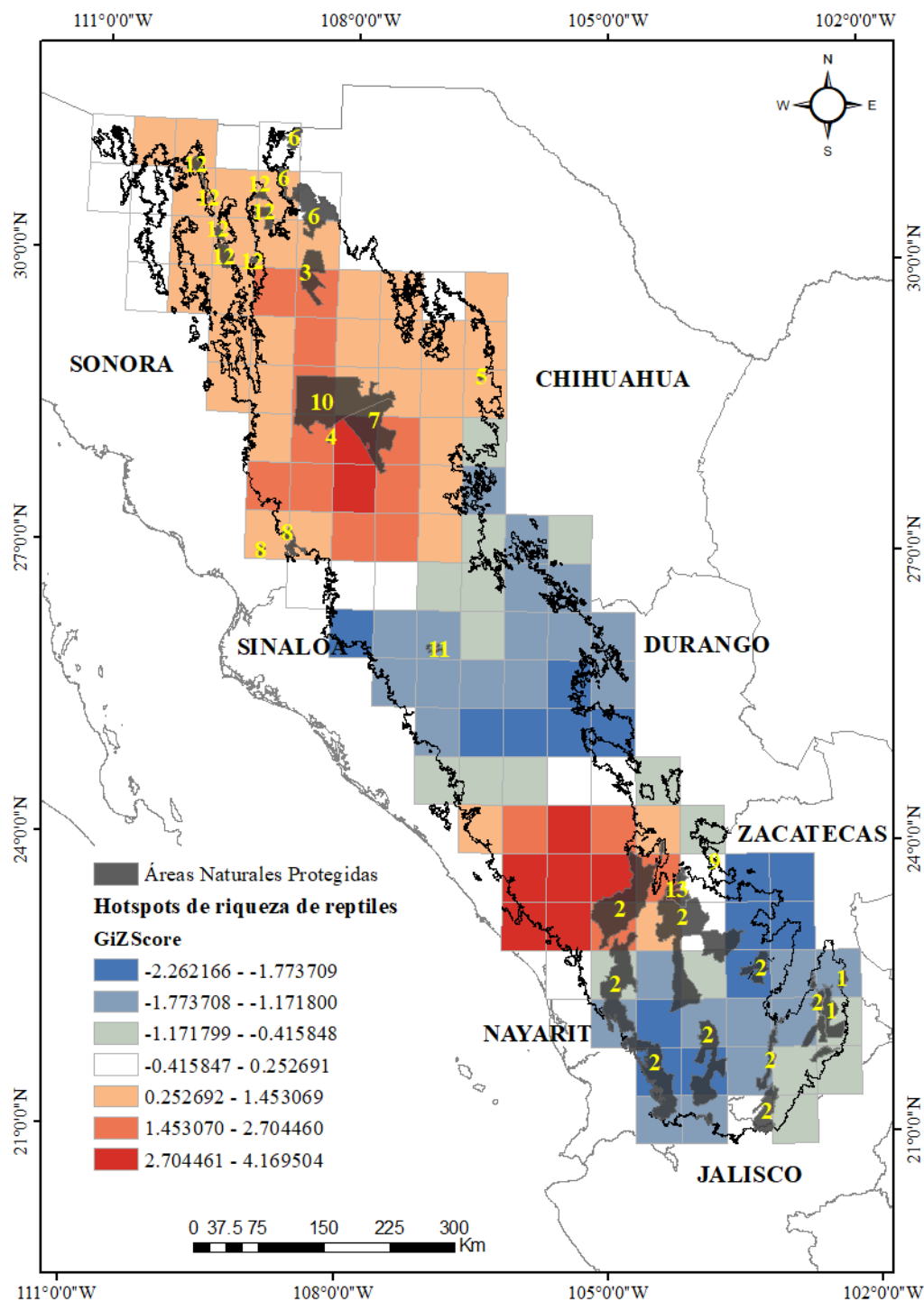


Figura 27. Hotspots de riqueza de reptiles relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).

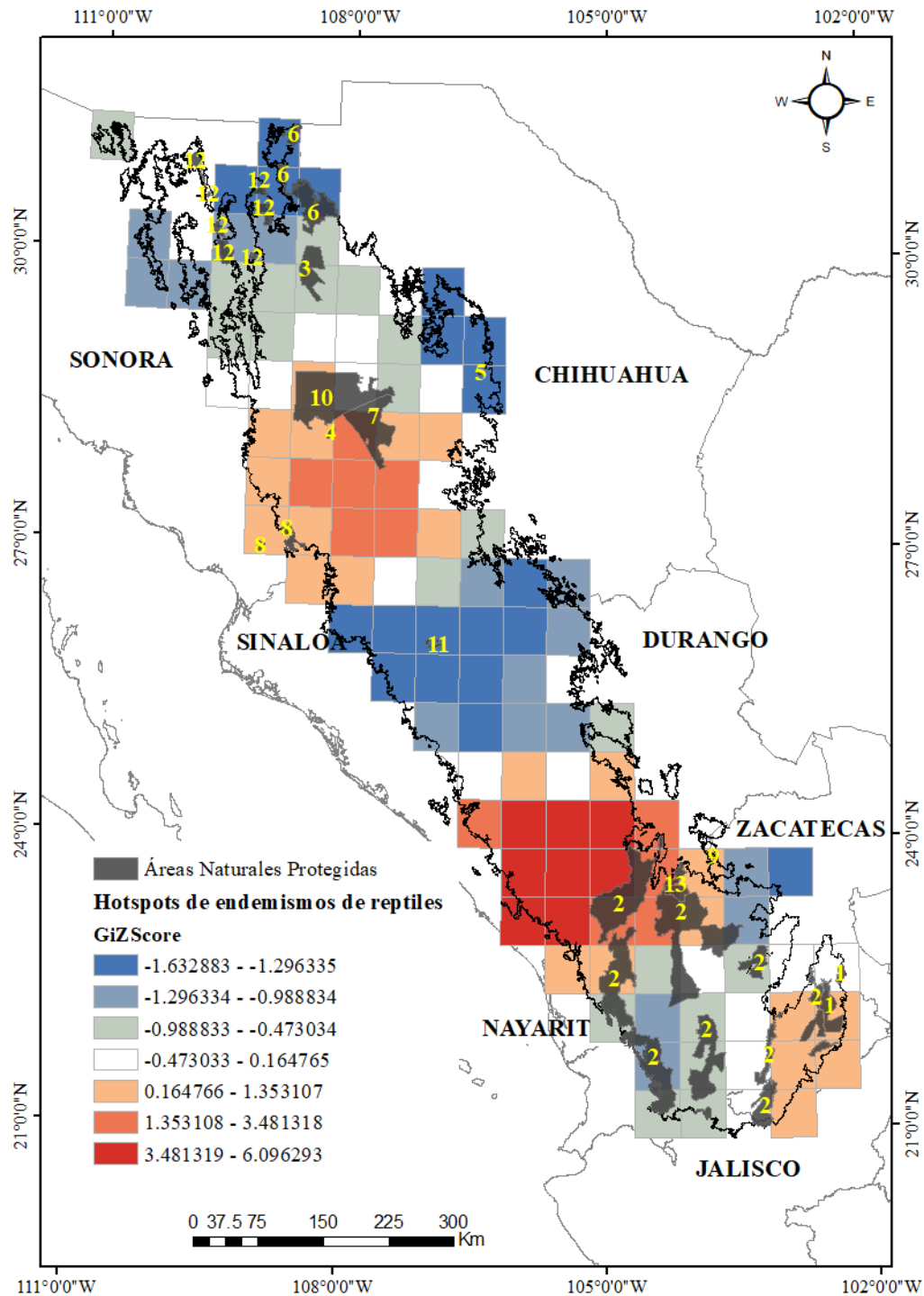


Figura 28. Hotspots de reptiles endémicos relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).

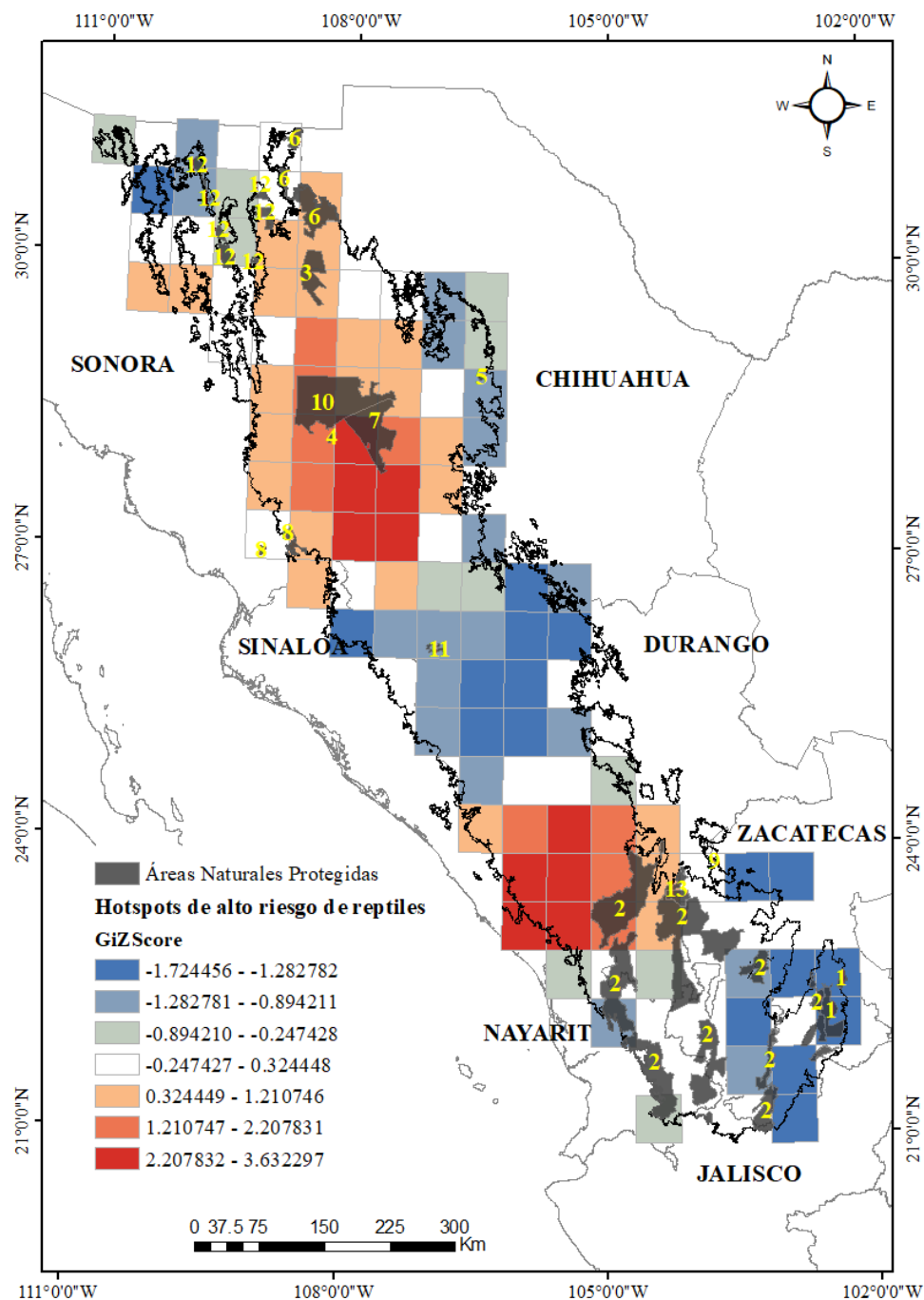


Figura 29. Hotspots de reptiles en riesgo de extinción relacionados con las ANP decretadas en la SMO. Las ANP son las siguientes: C.A.D.N.R. 001 Pabellón (1), C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (2), Campo Verde (3), Cascada de Bassaseachic (4), Cumbres de Majalca (5), Janos (6), Papigochic (7), Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui (8), Sierra de Órganos (9), Tutuaca (10), Cerro Mojinora (11), Bavispe (12) y La Michilía (13).

DISCUSIÓN

Patrones de distribución a través de los tipos de vegetación y ecorregiones

Los resultados muestran que la SMO es una región con una alta importancia ecológica, con gran variedad de tipos de vegetación que sustentan diferentes comunidades de plantas y animales, tal como los anfibios y reptiles. Ciertos tipos de vegetación de la SMO representan un bajo recambio de especies debido a su especialización o a pequeñas áreas de distribución, como el bosque mesófilo de montaña, matorral xerófilo y bosque xerófilo-espinoso, tal como se ve en los análisis de recambio de especies entre tipos de vegetación y ecorregiones. Estos resultados sugieren que estos hábitats albergan especies adaptadas a las condiciones particulares de aridez o altitud, además los valores de bajo recambio de especies se podrían explicar debido a que estos tipos de vegetación son más vulnerables a diversos cambios ambientales como temperaturas o humedad (Morales-Castilla y García-Valdés, 2014). En cambio, los bosques de pino-encino y encino de la región occidental de esta sierra destacan por un alto recambio de especies, lo que se atribuye a la mayor disponibilidad de recursos de esta zona, junto a sus características climáticas óptimas para el establecimiento de diversos grupos de vertebrados como los anfibios y reptiles (González-Elizondo et al., 2012). Estos patrones revelan la importancia de priorizar un estudio dirigido a la conservación de ecosistemas con condiciones específicas como los señalados arriba, ya que su disminución en un contexto geográfico podría resultar en la pérdida de riqueza y diversidad de especies que requieren de tales condiciones climáticas para sobrevivir.

Bajo una visión general de la distribución biogeográfica de la herpetofauna de la SMO, es posible observar que más de la mitad de las especies de ambos grupos (65% = 148 especies) tienen afinidad neártica, ya que mantienen una distribución desde ecosistemas templados hasta ecosistemas áridos, aspecto que ha sido previamente observado en insectos y mamíferos (Escalante et al., 2003; Halffter, 2003), el resto de las especies se distribuyen en ecosistemas tropicales (35% = 77 especies), reflejando la afinidad neotropical de estos organismos (Lemos-Espinal y Smith, 2007a). Dichas distribuciones (neártica y neotropical) presentes en la

herpetofauna de esta sierra resaltan las variaciones climáticas observadas entre los diferentes tipos de vegetación y ecorregiones de esta sierra.

Por ejemplo, el análisis a nivel de ecorregiones reveló que las regiones con influencia neotropical y neártica como la Madreense Tropical y el Archipiélago Madreense presentan una mayor riqueza y un alto recambio de especies. Esta alta riqueza de especies podría estar vinculada a una alta diversidad de microhábitats que han sido explotados por las 202 especies de ambos grupos registradas en ambas ecorregiones (51 especies de anfibios y 151 de reptiles) con ambos tipos de afinidades. Enderson et al. (2014) describieron que la herpetofauna de la región norte de la Madreense Tropical es un elemento complejo en historias evolutivas, constituido por 20 especies de anfibios y 73 de reptiles, las cuales en su mayoría son de origen neártico con una alta relación con las especies distribuidas en el Archipiélago Madreense. Por otro lado, los resultados del presente estudio demuestran que la región Subtropical Xerófila caracterizada por condiciones relativamente áridas, representa la menor riqueza de especies con distribución neártica. Es posible que este resultado este dado por el poco trabajo de campo que se ha desarrollado en esa ecorregión, debido principalmente por el difícil acceso, y por conflictos entre grupos armados que se han desarrollado en esta zona por más de 30 años, disminuyendo la posibilidad de conocer la biodiversidad de estas áreas (Meza et al., 2014; Del Castillo, 2021; CONAPO, 2023). No obstante, la riqueza de especies de dichas ecorregiones representa un posible gradiente de riqueza de especies que va de los climas semisecos y secos de la Subtropical Xerófila y Madreense Xerófila a los climas templados de la Madreense y Archipiélago Madreense, cuya dirección en términos de elevación va de media a alta. Este patrón también ha sido observado en el grupo de las plantas del género *Bursera* en el estado de Guerrero (Ávila-Sánchez et al., 2018) y en mariposas en el Cerro Bufa El Diente en Tamaulipas (Meléndez-Jaramillo et al., 2019).

Relación de la riqueza de especies con variables ambientales

Aunque no se encontró una relación significativa entre la riqueza de especies de ambos grupos de estudio con las variables ambientales analizadas, fue posible identificar algunas tendencias que resultan importantes de describir. Por ejemplo, se

observó una relación positiva entre la riqueza de especies con la latitud, esta relación podría implicar una conexión con otros factores ambientales indirectos como la disponibilidad de agua o la estacionalidad climática, es decir, algunos factores ambientales como el alimento o la humedad, los cuales, juegan un papel muy importante a nivel de latitud ya que son los factores que se relacionan con la riqueza de especies, no con la latitud propiamente dicho (Wiens et al., 2013; Morales-Castilla y García-Valdés, 2014). Algunos autores han señalado que esta relación puede estar determinada por el origen histórico de las especies (Morales-Castilla et al., 2011, 2012; Rodríguez-Gutiérrez, 2023), es decir, una vez que las especies se han diversificado por razones vicariantes comienzan a especializarse y a explotar los recursos que tienen a su alcance independientemente de la zona latitudinal en la que se encuentren. Por su parte, Stephens y Wiens (2003), establecieron la hipótesis de que las tortugas del género Emydidae siguen un gradiente latitudinal inverso debido a su historia evolutiva, ya que estos animales tienen su origen en las costas orientales de Norteamérica. Por otro lado, existen otros grupos de especies como las aves, las cuales están bien representados hacia altas latitudes, esto principalmente por la disponibilidad de hábitat y por adaptaciones evolutivas tales como un corazón con cuatro cámaras (dos aurículas y dos ventrículos), lo que les permite una separación eficiente de la sangre oxigenada y desoxigenada, garantizando así un suministro óptimo de oxígeno a los músculos durante el vuelo independientemente de la elevación o rango latitudinal (Cook, 1969; Morales-Castilla et al., 2013).

En cuanto a la relación de la riqueza de anfibios con la elevación, se reconoce que los tipos de vegetación ubicados a mayores elevaciones presentan menor riqueza de especies (Smith et al., 2007; Kozak y Wiens, 2010; Meléndez-Jaramillo et al., 2019). En particular, los bosques espinosos xerófilos y los bosques de galería se caracterizan por su mínima diversidad de especies, lo que indica que la altitud desempeña un papel crucial en la configuración de la riqueza de especies de anfibios de la SMO. Por otro lado, con el grupo de los reptiles, es posible observar un patrón ligeramente positivo, es decir, a mayor elevación existe un ligero aumento de la riqueza de especies, lo cual puede indicar una adaptación de estos organismos debido a la presión ambiental ejercida por la disponibilidad de hábitat y alimento generada a partir del

desplazamiento de otras especies. Urbina et al. (2003) sugieren que puede existir un desplazamiento de diversos grupos de anfibios y reptiles por competencia, de manera que se dejan disponibles diversos fragmentos de su nicho, los cuales, pueden ser usados por otros grupos de anfibios o reptiles, o bien por otros grupos de animales. Este patrón de desplazamiento puede generar que los organismos desarrollen adaptaciones de tolerancia en sitios con poca disponibilidad de alimento (Maciel-Mata et al., 2015). En la actualidad enfrentamos una crisis ambiental caracterizada por el aumento de la temperatura, lo que ha repercutido en la localización de las especies (Sinervo et al., 2010), obligando a los organismos como lagartijas y culebras a desplazarse a espacios con condiciones ambientales más adecuadas que les permitan alcanzar un mayor éxito reproductivo y perpetuar su especie (Huey, 1982).

En general, en la zona norte de esta sierra es posible distinguir una mayor distribución tanto de anfibios como de reptiles en áreas con medianas y altas elevaciones (regiones Madrense y Madrense Xerófila), confirmando el comportamiento de estos organismos ante presiones y adaptaciones ambientales (Smith et al., 2007; Kozak y Wiens, 2010; Wiens et al., 2013). Este patrón representa un resultado dirigido a la variación climática en estas ecorregiones por el Desierto Sonorense y el Desierto de Chihuahua. Estos resultados destacan la compleja relación entre especies y su entorno, y sugieren la necesidad de incluir en futuros análisis más variables como pendiente o humedad relativa, o centrar futuros muestreos en las zonas de la SMO que han sido pobremente explorados, con el objetivo de reconocer patrones de distribución más claros. Los muestreos dirigidos sobre carreteras como la Durango – Mazatlán o Hermosillo – Chihuahua, y sitios como la cuenca del Río Mayo, constituyen claros patrones de actividad científica, los cuales ayudan a entender cómo fueron dirigidos diversos muestreos faunísticos y florísticos a mediados y finales del siglo pasado. Estos sesgos de muestreo deben ser considerados una base de conocimiento para futuras investigaciones biogeográficas y de conservación en esta sierra, de forma que se pueda ampliar el conocimiento sobre los anfibios y reptiles y sus relaciones ecológicas y biogeográficas con esta sierra, con el propósito de reconocer su importancia biológica y de conservación.

Diversidad taxonómica

A través de este análisis, se identificó que los anfibios presentaron el valor más alto de diversidad taxonómica ($\Delta+ = 58.7$) en la SMO en comparación con los reptiles ($\Delta+ = 37.3$). Este resultado se debe a que los anfibios registrados en cada tipo de vegetación están representados por diferentes géneros y familias (Clarke y Warwick, 1998). Algunos autores como García de Jesús et al. (2016), usando como grupo de estudio a los escarabajos de la familia Melolonthidae, reconocieron que sitios con una amplia riqueza de especies no necesariamente representan altos valores de diversidad taxonómica, patrón que es consistente con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Por otro lado, algunos tipos de vegetación como los bosques de pino, pino-encino, encino occidental, tropical caducifolio y el pastizal, son reconocidos por albergar una alta riqueza y diversidad de especies de plantas y animales con afinidades neotropicales (Rodríguez et al., 2013; Hernández-Salinas et al., 2023), esto debido principalmente por una serie de factores ambientales (temperatura, humedad, fotoperiodo, recurso alimento) que son altamente necesarios para su supervivencia (González-Elizondo et al., 2012). Por lo tanto, una alta riqueza de anfibios y reptiles en dichos tipos de vegetación no es casual, debido a que estos tipos de vegetación tienen climas que resultan favorables para organismos tan sensibles como ambos grupos de esta sierra. La baja riqueza de especies en el bosque mixto de coníferas, mesófilo de montaña, matorral xerófilo y claros en bosque, puede ser un reflejo del escaso trabajo de campo que se ha dirigido en esos ecosistemas, debido principalmente por el difícil acceso, por los conflictos internos entre grupos indígenas y por la inseguridad que se ha tenido en esas áreas, ya que se ubican en la región de las quebradas consideradas áreas de vegetación que han sido pobremente muestreadas (González-Elizondo et al., 2012; García de Jesús et al., 2016; Del Castillo, 2021; CONAPO, 2023).

Finalmente, el bosque mixto de coníferas presentó una alta diversidad taxonómica de anfibios, mientras que, el matorral xerófilo presentó una alta diversidad taxonómica de reptiles. Este resultado demuestra que ambos tipos de vegetación representan zonas importantes desde el punto de vista de la historia evolutiva de ambos grupos, resaltando la necesidad de proponer a ambos ecosistemas como

prioritarios para su conservación, no solo por la cantidad de especies que albergan, sino también por su contribución a la diversidad evolutiva y funcional, asegurando así la resiliencia de estos hábitats frente a posibles perturbaciones (incendios, sobre explotación de los recursos; Cruz-Elizalde et al., 2022; Hernández-Salinas et al., 2023; Amaral et al., 2024).

Hotspots

Las amenazas contra la biodiversidad se han mantenido presentes desde el siglo pasado, generando alteraciones en las funciones y servicios ecosistémicos, provocando la extinción de especies de diversos grupos biológicos (FAO, 2010). Ante esta crisis ambiental, los esfuerzos por conservar y proteger los diferentes ecosistemas se han potenciado, y entre las respuestas se encuentran la implementación de áreas prioritarias para la conservación, las cuales no deben ser señaladas por decisiones políticas, sino por cumplir una función estratégica de resguardar el germoplasma de especies de plantas y animales (Stattersfield et al., 1998; Rodríguez et al., 2004). Los resultados de este estudio aportan una primera aproximación de la complejidad climática que representa la SMO para la distribución de los anfibios y reptiles de esta sierra. Esta primera aproximación constituye una iniciativa de conservación basada en un análisis de *hotspots*, sugiriendo sitios potenciales para la conservación de esta fauna en la SMO.

Los hotspots identificados para anfibios y reptiles muestran distribuciones geográficas distintas pero complementarias. Al considerar las áreas de influencia de cada uno de los criterios en ambos grupos, se obtuvieron áreas potenciales para su protección. Por ejemplo, para los anfibios, la información representativa que permitió el reconocimiento de los sitios de influencia refleja un menor número de áreas en comparación con los reptiles, por lo tanto, los hotspots arrojados por el análisis son menos. Una prueba de U Mann-Whitney reveló que, particularmente, los hotspots de alto riesgo, endemismo y riqueza de anfibios no coinciden en la misma ubicación geográfica, lo que permite observar diferentes sitios sugeridos como hotspots de acuerdo con cada criterio, demostrando una convergencia de traslape con las ANP decretadas en esta sierra de solo el 22%. Para el caso de los reptiles, los hotspots

presentaron un mayor porcentaje de coincidencia con ANP existentes (52.37%), debido a que hay más información sobre la distribución de este grupo, no obstante, es necesario optimizar la gestión de las áreas prioritarias de conservación y expandir la cobertura de protección en regiones clave, como el norte y suroeste de la SMO.

En cuanto a la diferenciación de posición entre los hotspots de los tres criterios (alto riesgo, endemismo y riqueza) para los reptiles, la misma prueba estadística mostró que los sitios de influencia en función de endemismo y alto riesgo no son significativamente diferentes entre sí, lo que significa que, de acuerdo con este estudio, la conservación de las especies en alto riesgo de extinción se relaciona con las especies de reptiles endémicas. Estos resultados permiten resaltar la importancia de crear y establecer planes de conservación regionales que combinen esfuerzos públicos y privados para maximizar el impacto positivo de protección (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995). Estos resultados coinciden con lo sugerido por Ochoa-Ochoa y Flores-Villela (2006), quienes describieron diversas áreas de endemismo sugeridas como zonas hotspots. Estos autores identificaron sitios de importancia para la conservación en función del origen y distribución de estos grupos, resaltaron la poca coincidencia de estos sitios con las ANP y RTP (Regiones Terrestres Prioritarias) localizadas en todo México; y concluyen que es necesario mejorar la planificación de reservas en este país. Por otro lado, Erdelen (2012) remarca la importancia de realizar investigación relacionada a la historia natural e historia de vida de las especies de anfibios y reptiles y de otros grupos con el objetivo de medir los impactos humanos en los ecosistemas naturales, de esta manera se contempla la formulación e integración de estos resultados con los resultados de hotspot. En conjunto, se espera tener resultados integrales de conservación para los grupos más vulnerables y con historias de vida complejas, las cuales están bajo un alto grado de desaparecer si el deterioro del ambiente continúa, caso particular los Pletodontidos (salamandras y ajolotes), Anolinos, Sceloporinos, y prácticamente todos los Hylidos.

En general, la “baja” coincidencia encontrada entre los hotspots de este estudio y las ANP de la SMO evidencia la limitada eficiencia con que se manejan estas áreas, partiendo del hecho de que su establecimiento y evaluación no han permitido la elaboración de un plan de manejo concreto que logre describir la conservación de la

flora y fauna a mediano y largo plazo (Gómez-Pompa y Dirzo, 1995). Si bien, no se rechaza que las áreas protegidas son un punto de partida para la conservación de la biodiversidad, es necesario que se reevalúen de acuerdo con otros grupos biológicos y su condición medio ambiental.

Los anfibios y reptiles son dos grupos biológicos considerados bioindicadores de la calidad del ambiente (Sánchez, 1999; Carvajal-Cogollo y Urbina-Cardona, 2008; Carbajal-Domínguez, 2012), por tal motivo, se considera que los sitios hotspots localizados en este trabajo de investigación representan una base importante al momento de evaluar áreas como futuros centros de conservación. Como se mencionó en el apartado anterior, junto a esto se reconoce el sesgo de muestreo en la información distribucional analizada, ya que las áreas donde se ubica la mayor riqueza de anfibios y reptiles refieren a zonas que han sido comúnmente muestreadas a lo largo de casi 60 años, sitios tales como el trayecto Hermosillo – Chihuahua, Durango – Mazatlán y la cuenca del Río Mayo. No obstante, hay factores sociales y biológicos que han determinado dichas colectas y muestreos, por ejemplo, el limitado acceso a diferentes áreas causado por la geomorfología tan compleja de la misma sierra (Ferrari et al., 2005) y los diversos grupos delictivos que controlan ciertas regiones de esta sierra, tales como las zonas altas y tropicales (Meza et al., 2014; Carpio-Domínguez, 2021). Sin embargo, con base en estos resultados, es necesario resaltar la necesidad de profundizar en investigaciones y colectas para comprender los patrones de distribución y mecanismos que impulsan la riqueza y diversidad de la herpetofauna. Lo que podría implicar el estudio a mediano y largo plazo de los efectos del cambio climático, la fragmentación del hábitat y las actividades antropogénicas sobre la distribución de los anfibios y reptiles de esta sierra.

CONCLUSIONES

La Sierra Madre Occidental es un sistema montañoso de gran importancia ecológica debido a su alta biodiversidad, que sustentan comunidades únicas de anfibios y reptiles. Hábitats como el bosque mesófilo de montaña y los matorrales xerófilos presentaron bajo recambio de especies, lo que refleja su especialización y

vulnerabilidad a cambios ambientales. En contraste, los bosques de pino-encino mostraron un alto recambio, asociado a condiciones climáticas óptimas para ambos grupos de estudio. Por otro lado, las ecorregiones tropicales y templadas, como la Madreña Tropical, albergan la mayor riqueza de especies con orígenes neotropicales y neárticas, mientras que la región Subtropical Xerófila, presentó la menor diversidad tanto de anfibios como de reptiles, esto debido muy posiblemente a la escasa información sobre estos grupos en la zona. Estos hallazgos subrayan la necesidad de priorizar la conservación de ecosistemas con condiciones específicas para preservar su biodiversidad. Aunque no se encontró una relación significativa entre la riqueza de especies con variables como la latitud o elevación, fue posible identificar tendencias relevantes. Por ejemplo, la riqueza de anfibios disminuye con la altitud, mientras que la de reptiles muestra un patrón opuesto, posiblemente debido a adaptaciones evolutivas, es decir, que las especies de reptiles toleran más los ambientes fríos. La influencia indirecta de factores como humedad y disponibilidad de recursos sugiere que la distribución de especies está moldeada por condiciones ambientales complejas. Futuros estudios deberían incorporar variables adicionales (pendiente, humedad relativa) enfocados en áreas poco exploradas para comprender mejor estos patrones.

En el caso de la diversidad taxonómica, los anfibios presentaron valores más altos que los reptiles, lo que refleja una amplia representación de géneros y familias, resaltando algunos tipos de vegetación como bosques de pino-encino y pastizales que albergan una alta riqueza de especies, mientras que otros, como el bosque mesófilo de montaña, muestran baja diversidad debido a limitaciones en el muestreo. Destaca el bosque mixto de coníferas para anfibios y el matorral xerófilo para reptiles como ecosistemas clave por su contribución a la diversidad evolutiva, es decir, tienen un alto aporte de familias y géneros. Estos resultados destacan la importancia de conservar sitios no solo por su riqueza de especies, sino también por su diversidad funcional y evolutiva.

Respecto a los hotspots identificados para anfibios y reptiles, la baja coincidencia con las ANP existentes en la SMO permite sugerir nuevas áreas y por lo tanto, expandir las estrategias de conservación en esta sierra, integrando criterios como endemismo y riesgo de extinción. Sin embargo, es posible reconocer que la

influencia de factores sociales (inseguridad, riesgo de acceso), la fisiografía tan accidentada de esta sierra y los sesgos de muestreo han limitado el conocimiento de la distribución de estos grupos de vertebrados. No obstante, es imperativo impulsar investigaciones adicionales y planes de conservación regionales que combinen esfuerzos públicos y privados para proteger estos organismos y sus ecosistemas ante los cambios ambientales y presiones antropogénicas. Es necesario señalar que los resultados de este trabajo de investigación sugieren que las especies de anfibios y reptiles necesitan ser considerados como un grupo clave para diseñar y establecer oportunas estrategias de conservación y protección en áreas diversas de la Sierra Madre Occidental, asegurando la permanencia de una de las faunas más emblemáticas y con mayor porcentaje de endemismos en México y en el mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Miguel, X., Casas Andreu, G., Cárdenas Ramos, P., & Cantellano de Rosas, E. (2009). Análisis espacial y conservación de los anfibios y reptiles del Estado de México. *CIENCIA Ergo-Sum* 16(2): 171-180.
- Ahmed, H., Tamminen, L.M., & Emanuelson, U. (2022). Temperature, productivity, and heat tolerance: Evidence from Swedish dairy production. *Climatic Change* 175: 10. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03461-5>
- Amaral, D.C., de Fátima Bomfim, F., & Lansac-Tôha, F.A. (2024). Drivers of zooplankton functional and taxonomic β -diversity in two neotropical floodplains: implications for conservation. *Biodiversity and Conservation* 33: 3905–3922. <https://doi.org/10.1007/s10531-024-02935-5>
- Ávila-Sánchez, P., Sánchez-González, A., Catalán-Heverástico, C., Almazán-Núñez, R. C., & Jiménez-Hernández, J. (2018). Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*, 45: 101-113. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.45.8>
- Belmaker, J., & Jetz, W. (2011). Cross-scale variation in species richness-environment associations. *Global Ecology and Biogeography* 20: 464-474. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00615.x>
- Berduc, A., Lorenzón, R. E., & Beltzer, A. H. (2015). Patrones de diversidad de aves a lo largo de un gradiente latitudinal de bosques ribereños del río Paraná medio, Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86(2): 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.003>
- Bezy, R. L., & Flores-Villela, O. (1999). A New Species of Xantusia (Squamata: Xantusiidae) from Zacatecas, Mexico. *Herpetologica* 55(2): 174–184. <http://www.jstor.org/stable/3893077>
- Bishop, T. R., Robertson, M. P., van Rensburg, B. J., & Parr, C. L. (2014). Elevation-diversity patterns through space and time: Ant communities of the Maloti-

- Drakensberg Mountains of southern Africa. *Journal of Biogeography* 41(12): 2256–2268. <https://doi.org/10.1111/gcb.14622>
- Bradshaw, W. E., & Holzapfel, C. M. (2007). Evolution of animal photoperiodism. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38(1): 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.1101>
- Briggs, J.S., Wall, S. B. V., & Jenkins, S. H. (2009). Forest rodents provide directed dispersal of Jeffrey pine seeds. *Ecology* 90: 675-687. <https://doi.org/10.1890/07-0542.1>
- Brower, J. A., & Zar, J. H. (1977). *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. William C. Brown Company, Dubuque. Pp 194.
- Brown, J. H., & Lomolino, M. V. (1998). *Biogeography*. 2nd ed. Sunderland, Massachusetts. Pp 691.
- Bruner, A. G., Gullison, R. E., Rice, R. E., & da Fonseca, G. A. B. (2001). Effectiveness of Parks in Protecting Tropical Biodiversity. *Science* 291: 125-128. <https://doi.org/10.1126/science.291.5501.125>
- Cadotte, M. W., Davies, T. J., Regetz, J., Kembel, S. W., Cleveland, E., & Oakley, T. (2010). Rarest of the rare: advances in combining evolutionary distinctiveness and scarcity to inform conservation at biogeographical scales. *Diversity and Distributions* 16(3): 376-385. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00650.x>
- Cadotte, M.W., Carscadden, K., & Mirotnick, N. (2011). Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology* 48: 1079-1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>
- Canseco-Márquez, L., Mendoza-Quijano, F., & Gutiérrez-Mayen, M. G. (2004). Análisis de la distribución de la herpetofauna. En Luna, I., Morrone, J. J., & Espinosa, D. (eds). *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D. F., Pp 417-437.

- Carbajal-Domínguez, A. (2012). Anfibios y reptiles como indicadores del estado de conservación de los bosques de la reserva de la biósfera de la mariposa monarca, Estado de México y Michoacán [tesis de licenciatura]. México (MX): Universidad Nacional Autónoma de México, México. Pp 117.
- Carpio-Domínguez, José Luis. (2021). Crimen organizado (narcotráfico) y conservación ambiental: el tema pendiente de la seguridad pública en México. *CS*, 33: 237-274. <https://doi.org/10.18046/recs.i33.4076>
- Carvalho-Rocha, V., Peres, C. A., & Neckel-Oliveira, S. (2023). Seasonal variation in patterns of anuran diversity along a subtropical elevational gradient. *Journal of Biogeography* 50: 1866–1878. <https://doi.org/10.1111/jbi.14695>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Raven, P. H. (2020). Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(24): 13596–13602. <https://doi.org/10.1073/pnas.1922686117>
- Chejanovski, Z.A. & Wiens, J.J. (2014). Climatic niche breadth and species richness in temperate treefrogs. *Journal of Biogeography* 41: 1936-1946. <https://doi.org/10.1111/jbi.12345>
- Chettri, B., & Acharya, B. K. (2020). Distribution of amphibians along an elevation gradient in the Eastern Himalaya, India. *Basic and Applied Ecology* 47: 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.07.001>.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1998). A Taxonomic Distinctness Index and its Statistical Properties. *Journal of Applied Ecology* 35(4): 523–531. <http://www.jstor.org/stable/2405167>
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1999). The taxonomic distinctness measure of biodiversity: Weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series* 184: 21-29. <https://www.jstor.org/stable/24853226>
- Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2001). *PRIMERv5: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth, UK.

- Colwell, R. K., & Coddington, J. A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, Series B*, 345: 101-118. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0293>
- Colwell, R. K., & Rangel, T. F. (2010). A stochastic, evolutionary model for range shifts and richness on tropical elevational gradients under Quaternary glacial cycles. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 3695–3707. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0293>
- Colwell, R. K. (2013). *Estimates: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Versión 9. User's Guide and Application.* <http://purl.oclc.org/estimates>
- CONAPO. (2021). La situación del desplazamiento forzado interno en la región centro-occidente de México. <https://www.gob.mx/conapo/articulos/la-situacion-del-desplazamiento-forzado-interno-en-la-region-centro-occidente-de-mexico-345025?idiom=es>
- Contreras-Medina, R., Morrone, J. J., & Luna-Veja, I. (2003). Uso de herramientas biogeográficas para el reconocimiento de “hotspots”: un ejemplo de aplicación con briofitas y gimnospermas. *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones.* Facultad de Ciencias, UNAM, México. Pp 155-157.
- Cook, R.E. (1969). Variation in species density of North American birds. *Systematic Zoology* 18:63-84. <https://doi.org/10.2307/2412411>.
- Córdova-Tapia, F., & Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. *Ecosistemas* 24(3): 78-87. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2015.24-3.10>
- Cox, C. B., & Moore, P. D. (1993). *Biogeography: an ecological and evolutionary approach.* 5th ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. Pp 326.

- Croizat, L. (1958). Panbiogeography or an introductory synthesis of zoogeography, phytogeography, and geology, with notes on evolution, systematics, ecology, anthropology. Publicado por el autor, Caracas. Pp. 1731.
- Cruz-Elizalde, R., Ochoa-Ochoa, L. M., Flores-Villela, O. A., & Velasco, J. A. (2022). Taxonomic distinctiveness and phylogenetic variability of amphibians and reptiles in the cloud forest of Mexico. *Community Ecology* 23: 87–102. <https://doi.org/10.1007/s42974-022-00075-w>
- Cruz-Sáenz, D., Muñoz-Nolasco, F. J., Mata-Silva, V., Johnson, J. D., García-Padilla, E., & Wilson, L. D. (2017). The herpetofauna of Jalisco, Mexico: composition, distribution, and conservation status. *Measoamerican Herpetology* 4(1): 23-116.
- Del Castillo, A. (2021). Las comunidades de la sierra Madre Occidental, rehenes de la guerra entre carteles. *EL PAÍS*. https://elpais.com/mexico/2021-04-02/las-comunidades-de-la-sierra-madre-occidental-rehenes-de-la-guerra-entre-carteles.html#?prm=copy_link
- Dice, L. R. (1943). The biotic provinces of North America. University of Michigan Press, Chicago. Pp. 78.
- Duellman, W. E., & Trueb, L. (1994). Biology of amphibians. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, The United States. Pp. 670.
- Erdelen, W. R. (2012). Conservation of biodiversity in a hotspot: Sri Lanka's amphibians and reptiles. *Amphibian & Reptile Conservation* 5(2): 33–51. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/125359>
- Escalante, T., Espinosa, D., & Morrone, J. J. (2003). Using Parsimony analysis of endemism to analyze the distribution of Mexican land mammals. *Southwestern Naturalist* 48: 563-578.
- Escalante, T., Rodríguez, G., & Morrone, J. J. (2005). Las provincias biogeográficas del Componente Mexicano de Montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista mexicana de biodiversidad* 76(2): 199-205.

- Escalante, T. (2009). Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista mexicana de biodiversidad* 80(2): 551-560.
- Espinosa-Organista, D., Morrone, J. J., Llorente-Bousquets, J., & Flores-Villela, O. (2005). Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica. *Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México*. Pp. 133.
- Espinosa-Organista, D., Ocegueda-Cruz, S., Aguilar-Zúñiga, C., Flores-Villela, O., & Llorente-Bousquets, J. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. *Capital Natural de México* 1: 33-65.
- FAO, (2010). *Global Forest Resources Assessment 2010: Main Report*. Food and Agriculture Organization, Rome- Italy.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., & Bryan, S. (2005). Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de norteamérica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 57(3): 343-378. <https://doi.org/10.18268/bsgm200557n3a5>
- Figuroa-de León, A., & Chediack, S. E. (2018). Patrones de riqueza y distribución latitudinal de roedores caviomorfos. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89: 173-182. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.1.1880>
- Flores-Villela, O., & Goyenechea, I. (2003). Patrones de distribución de anfibios y reptiles en México. *Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía*. Morrone, J. J. y Llorente, J. bousquets (eds.). *Las Prensas de ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM*. Pp 289-286.
- Flores-Villela, O., & Canseco-Márquez, L. (2007). Riqueza de la herpetofauna. En Luna, I., Morrone, J. J., & Espinosa, D. (eds). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. *Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D. F.* Pp 407-420.
- Flores-Villela, O., & J. M. Rodríguez Caso. (2009). Alfred Russel Wallace: El último gran intelectual de la época victoriana. En J. J. Morrone, & P. Magaña. *Evolución biológica: Una versión actualizada desde la revista Ciencias*. *Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F.* Pp 25-41.

- Gaston, K. J., & Williams, P. H. (1996). Spatial patterns in taxonomic diversity. *Biodiversity: A Biology of Numbers and Differences* (ed. K. J. Gaston). Blackwell Science, Oxford. Pp 202-229.
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24: 189-206. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x>
- Goldman, E. A., & Moore, R. T. (1945). The biotic provinces of Mexico. *Journal of Mammalogy* 26: 347-360. <http://dx.doi.org/10.2307/1375154>
- Gómez-Pompa, A. & Dirzo, R. (1995). Reservas de la biosfera y otras áreas naturales protegidas de México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (Edición digital: Conabio 2006). Pp 158.
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., & López-Enriquez, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botanica Mexicana* 100: 351-403. <https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40>
- González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Ruacho-González, L., López-Enriquez, I. L., Retana-Rentería, F. I., & Tena-Flores, J. A. (2013). Ecosystems and diversity of the Sierra Madre Occidental. *USDA Forest Service* 67: 204-211.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4: 379-391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>
- Goyenechea, I. (2009). Darwin y la Biogeografía. *Herreriana Revista de Divulgación de la Ciencia* 6 (3): 10-11.
- Halffter, G. (2003). Biogeografía de la entomofauna de montaña de México y América Central. En: Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía, Morrone, J. J. & Llorente, J. (eds.). Las Prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. Pp 87-97.

- Halffter, G. & Morrone, J. J. (2017). An analytical review of Halffter's Mexican transition zone, and its relevance for evolutionary biogeography, ecology, and biogeographical regionalization. *Zootaxa* 4226 (1): 1-46.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological statistic software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1): 1–9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Wilson, L. D., Berriozabal-Islas, C., Johnson, J. D., & Mata-Silva, V. (2023). Taxonomic and functional diversity of the amphibian and reptile communities of state of Durango, Mexico. *Community Ecology* 24: 229-242. <https://doi.org/10.1007/s42974-023-00145-7>
- Hortal, J., & Lobo, J. M. (2002). Una metodología para predecir la distribución espacial de la diversidad biológica. *Ecología* 16: 405-432.
- Hsieh, T.C., Ma, K.H. & Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution* 7: 1451-1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Huey, R. B. (1982). Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. En C. Gans & F. H. Pough (Eds.), *Biology of reptilian*. London: Academic Press. Pp 25-91.
- Johnson, J., Wilson, L., Mata-Silva, V., García-Padilla, E., & DeSantis, D. (2017). The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology* 4: 544-620.
- Kobelkowsky-Vidrio, T., Ríos-Muñoz, C.A., & Navarro-Sigüenza, A.G. (2014). Biodiversity and biogeography of the avifauna of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 23: 2087-2105. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0706-6>
- Koleff, P., & Moreno, E. (2006). Áreas protegidas en México: Regionalización y representación de la riqueza. En: Llorente, B., & Morrone, J. J (eds).

Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines. CONABIO, UNAM. Pp 351-373.

Kozak, K.H., & Wiens, J.J. (2010). Accelerated rates of climatic niche evolution underlie rapid species diversification. *Ecology Letters* 13(11): 1378-1389. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01530.x>

Lemos-Espinal, J. A., & Smith, H. M. (2007a). Amphibians and Reptiles of the State of Chihuahua, Mexico. CONABIO, México. Pp 628.

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Woolrich-Piña, G. A., & Cruz, A. (2017). Amphibians and reptiles of the state of Chihuahua, Mexico, with comparisons with adjoining states. *ZooKeys* 658: 105-130. <https://doi.org/10.3897/zookeys.658.10665>

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., & Rorabaugh, J. C. (2019). A conservation checklist of the amphibians and reptiles of Sonora, Mexico, with updated species list. *ZooKeys* 829: 131-160. <https://doi.org/10.3897/zookeys.829.32146>

Lemos-Espinal, J. A., Smith, G. R., Pierce, L. J. S., Painter, C. W. (2020). The amphibians and reptiles of Colima, Mexico, with a summary of their conservation status. *ZooKeys* 927: 99-125. <https://doi.org/10.3897/zookeys.927.50064>

Lemos-Espinal, J. A., & Smith, G. R. (2020). A conservation checklist of the amphibians and reptiles of the State of Mexico, Mexico with comparisons with adjoining states. *ZooKeys* 953 : 137–159. <https://doi.org/10.3897/zookeys.953.508811>

León-González, D., & Pérez-Pérez, R. E. (2020). Líquenes epífitos en *Juniperus flaccida* Schlttd. (*Cupressaceae*) - componente importante de los bosques templados de Oaxaca, México. *Acta Biológica Colombiana*, 25(2): 235-245. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n2.77238>

Link, H., Piepenburg, D., & Archambault, P. (2013). Are hotspots always hotspots? The relationship between diversity, resource and ecosystem functions in the Arctic. *PloS one* 8(9): e74077. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074077>

- López-González, C., Sandoval, S., & Escobar-Flores, J. G. (2023). An ecoregionalization of the Sierra Madre Occidental, México, based on non-volant, small mammal distributions. *Écoscience* 30(1): 65:81. <https://doi.org/10.1080/11956860.2023.2207947>
- López-González, C., & García-Mendoza, D. (2024). Mammals (Tetrapoda: Mammalia) of the Sierra Madre Occidental, Mexico: megadiversity in an area of high environmental complexity. *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)* 40(1): 1–35. <https://doi.org/10.21829/azm.2024.4012585>
- López-Luna, M. A., Vogt, R. C., & De La Torre-Loranca, M. A. (1999). A New Species of Montane Pitviper from Veracruz, México. *Herpetologica* 55(3): 382–389. <http://www.jstor.org/stable/3893232>
- López-Ramos, E. (1980). *Geología de México. Tomo H. Tercera Edición. Edición Escolar. Impreso en Tesis Reséndiz. México. Pp. 212-316.*
- Ludwig, J. A., & Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology: a primer in methods and computing. Wiley-Interscience publication. New York, United States. Pp 352.*
- Lugo Hubp, J. (2009). Contribuciones Geológicas de Charles Darwin en El origen de las especies. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 61(3): 485-490.
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria* 25(2): 03-19. <https://doi.org/10.15174/au.2015.690>
- Magurran, A. E., & McGill, B. J. (2011). *Biological Diversity: frontiers in measurement and assessment. Oxford University Press, United States. Pp 345.*
- Mateo, R. G., Felicísimo, A. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural* 84(2): 217-240. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>

- Medina-Romero, Margarita & Goyenechea, Irene & Castillo, Jesús. (2016). Riqueza herpetofaunística potencial y específica en la provincia biogeográfica de la Sierra Madre Oriental. Sociedad Herpetológica Mexicana A. C. Pp 26.
- Meléndez-Jaramillo, E., Cantú-Ayala, C., Sánchez-Reyes, U. J., Sandoval-Becerra, F. M., & Herrera-Fernández, B. (2019). Altitudinal and seasonal distribution of butterflies (*Lepidoptera, Papilionoidea*) in Cerro Bufa El Diente, Tamaulipas, Mexico. *ZooKeys* 900: 31–68. <https://doi.org/10.3897/zookeys.900.36978>
- Meza, S., Cuamea, F., & Brito, L. (2014). Desplazados de la Sierra Madre: Los nuevos dueños de la tierra. *Noroestes.com*. <https://www.connectas.org/wp-content/uploads/2015/02/SilberMeza-Desplazados2.pdf>
- Morales-Castilla, I., Olalla-Tarraga, M.A., Bini, L.M., De Marco, P., Hawkins, B.A., & Rodríguez, M.A. (2011). Niche conservatism and species richness patterns of squamate reptiles in eastern and southern Africa. *Austral Ecology* 36: 550-558.
- Morales-Castilla, I., Olalla-Tarraga, M.A., Purvis, A., Hawkins, B.A., & Rodríguez, M.A. (2012). The imprint of Cenozoic migrations and evolutionary history on the biogeographic gradient of body size in New World mammals. *The American Naturalist* 180:246-256.
- Morales-Castilla, I., Rodríguez, M.A., Kaur, R., & Hawkins, B.A. (2013). Range size patterns of New World oscine passerines (Aves): insights from differences among migratory and sedentary clades. *Journal of Biogeography* 40: 2261-2273. <https://doi.org/10.1111/jbi.12159>
- Morales-Castilla, I., & García-Valdés, R. (2014). Gradientes latitudinales de diversidad inversos, ¿excepciones que prueban la regla? *Ecosistemas* 23(1): 4-12. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-1.02>
- Morelli, F., Benedetti, Y., Perna, P., & Santolini, R. (2018). Associations among taxonomic diversity, functional diversity and evolutionary distinctiveness vary among environments. *Ecological Indicators* 88: 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.022>

- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA (1). Zaragoza. Pp 84.
- Morrison, C., & Hero, J. M. (2003), Geographic variation in life-history characteristics of amphibians: a review. *Journal of Animal Ecology* 72: 270-279. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00696.x>
- Morrone, J. J. (2000). Entre el escarnio y el encomio: León Croizat y la panbiogeografía. *Interciencia* 25(1): 41-47.
- Morrone, J. J., & Márquez, J. (2001). Halffter's Mexican Transition Zone, Beetle Generalized Tracks, and Geographical Homology. *Journal of Biogeography* 8(5): 635–650. <http://www.jstor.org/stable/8275162>
- Morrone, J. J. (2004a). La zona de transición sudamericana: caracterización y relevancia evolutiva. *Acta Entomológica Chilena* 28:41-50.
- Morrone, J. J. (2004b). Homología biogeográfica: las coordenadas espaciales de la vida. *Cuadernos del Instituto de Biología, Instituto de Biología, UNAM, México* 37: 11-199.
- Morrone, J. J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76:207-252.
- Munguía, M., Rahbek, C., Rangel, T. F., Diniz-Filho, J. A. F., & Araújo, M. B. (2012). Equilibrium of Global Amphibian Species Distributions with Climate. *Plos One* 7(4): e34420. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034420>
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Ochoa-Ochoa, L. M., & Flores-Villela, O. (2006). Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. *Las Prensa de Ciencias, UNAM, México, D.F.* Pp 211.
- Ochoa-Ochoa, L. M., Mejía-Domínguez, N. R., Velasco, J. A., Marske, K. A., & Rahbek, C. (2019). Amphibian functional diversity is related to high annual precipitation and

- low precipitation seasonality in the New World. *Global Ecology and Biogeography* 28(9): 1219-1229. <https://doi.org/10.1111/geb.12926>
- Ochoa-Ochoa, L. M., Mejía-Domínguez, N. R., Velasco, J. A., Dimitrov, D., & Marske, K. A. (2020). Dimensions of amphibian alpha diversity in the new world. *Journal of Biogeography* 47(11): 2293-2302.
- Pérez-Hernández, C. X. (2019). Distintividad taxonómica: Evaluación de la diversidad en la estructura taxonómica en los ensamblajes. En: Moreno, C. E. (ed). *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/LiberMex, Ciudad de México. Pp 285-306.
- Perillo, L. N., Castro, F. S. D., Solar, R., & Neves, F. D. S. (2021). Disentangling the effects of latitudinal and elevational gradients on bee, wasp, and ant diversity in an ancient neotropical mountain range. *Journal of Biogeography* 48(7): 1564-1578. <https://doi.org/10.1111/jbi.14095>
- Pyron, R. A., & Wiens, J. J. (2013). Large-scale phylogenetic analyses reveal the causes of high tropical amphibian diversity. *Proceedings Biological Sciences* 280(1770): 20131622. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.1622>
- Ramírez-Bautista, A., Torres-Hernández, L. A., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Hernández-Salinas, U., Wilson, L. D., Johnson, J. D., Porras, L. W., Balderas-Valdivia, C. J., González-Hernández, A. J. X., & Mata-Silva, V. (2023). An updated list of the Mexican herpetofauna: with a summary of historical and contemporary studies. *ZooKeys* 1166: 287–306. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1166.86986>
- Roberts, C. M., McClean, C. J., Veron, J. E., Hawkins, J. P., Allen, G. R., McAllister, D. E., Mittermeier, C. G., Schueler, F. W., Spalding, M., Wells, F., Vynne, C., & Werner, T. B. (2002). Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science* 295(5558): 1280–1284. <https://doi.org/10.1126/science.1067728>

- Rodrigues, A.S.L., Akçakaya, H.R., Andelman, S.J., Bakarr, M.I., Boitani, L., Brooks, T.M., Chanson, J.S., Fishpool, L.D.C., Da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R.L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S.N., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J., & Yan, X. (2004). Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. *Bioscience* 54 (12): 1092–1100. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[1092:GGAPRF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[1092:GGAPRF]2.0.CO;2)
- Rodríguez, Y., Aragón, A., & Morón, M. A. (2013). Región del Popocatepetl. Tochimilco. En M. A. Morón, A. Aragón-García, y H. Carrillo-Ruiz (Eds.), *Fauna de escarabajos del estado de Puebla*. Coatepec, Veracruz, México: Escarabajos Mesoamericanos A.C. Pp 95-119.
- Rodríguez-Gutiérrez, M. F. (2023). Análisis panbiogeográfico de los saurios de la Sierra Madre Occidental [tesis de maestría]. México (MX): CIIDIR Durango, Instituto Politécnico Nacional. Google Académico. Pp 168.
- Rodríguez-Ruiz, R., Juárez-Agis, A., García-Sánchez, S., Oliver-Salome, B., & Reza-Galicia, V. H. (2022). Evaluation of the distribution pattern on a Neotropical microcarnivora. *Therya* 13(2): 245-252. <https://doi.org/10.12933/therya-22-2103>
- Sánchez, Ó. (1999). Conservación y manejo de anfibios y reptiles: métodos y técnicas. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/dgoece/diplomado/download/sanchez2>.
- Sandoval, S., Escobar-Flores, J. G., & Sánchez-Ortiz, E. (2020). Inventario de cuerpos de agua de la Sierra Madre Occidental (México) usando SIG y percepción remota. *Investigaciones Geográficas* (102). <https://doi.org/10.14350/rig.59975>
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., Halffter, G., González, R., March, I., Mohar, A., Anta, S., & de la Maza, J. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO, México. Pp 100.

- Sax, D. F. (2001). Latitudinal gradients and geographic ranges of exotic species: implications for biogeography. *Journal of Biogeography* 28(1): 139-150. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00536.x>
- SEMARNAT. (2010). Biodiversidad. Atlas Biodiversidad. https://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador/enlace/atlas2010/atlas_biodiversidad.pdf
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3-4): 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sinervo, B., Mendez-De-La-Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Villagrán-Santa Cruz, M., Lara-Resendiz, R., Martínez-Méndez, N., Calderón-Espinosa, M. L., Meza-Lázaro, R. N., Gadsden, H., Avila, L. J., Morando, M., De La Riva, I. J., Sepulveda, P. V., Duarte Rocha, C. F., Iburgüengoytía, N., Aguilar Puntriano, C., Massot, M., Lepetz, V., Oksanen, T. A., Chapple, D. G., Bauer, A. M., Branch, W. R., Clobert, J., & Sites Jr, J. W. (2010). Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* 328(5980): 894-899. <https://doi.org/10.1126/science.1184695>
- Smith, H. M. (1941). Las provincias bióticas de México, según la distribución geográfica de las lagartijas del género *Sceloporus*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 2: 103-110.
- Smith, S. A., De Oca, A. N. M., Reeder, T. W., & Wiens, J.J. (2007). A phylogenetic perspective on elevational species richness patterns in Middle American treefrogs: why so few species in lowland tropical rainforests? *Evolution* 61(5): 1188-1207. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00085.x>
- Sneath, P. H. A., & Sokal, R. R. (1973). *Numerical taxonomy*. San Francisco, W. H. Freeman and Co. Pp 573.
- StatSoft Inc. (2004) *STATISTICA (Data Analysis Software System)*, Version 7.

- Stattersfield, A.J., Crosby, M.J., Long, A.J., & Wege, D.C. (1998). Endemic bird areas of the world. Priorities for biodiversity conservation. BirdLife Conservation Series No.7, Bird Life International, Cambridge, UK. Pp 846.
- Stephens, P.R., & Wiens, J.J. (2003). Explaining species richness from continents to communities: the time-for-speciation effect in Emydid turtles. *The American Naturalist* 161(1): 112-128.
- Stevens, G. C. (1989). "Integrating the Supply Chain", *International Journal of Physical Distribution & Materials Management* 19(8): 3-8. <https://doi.org/10.1108/EUM00000000000329>
- Stuart, L. C. (1964). Fauna of Middle America. In *Handbook of Middle American Indians*, R. C. West (ed.). University of Texas Press 1: 316-366
- Soberón, J. M. (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography* 33: 159-167. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x>
- Soberón, J., & Llorente, J. (1993). The use of species accumulation functions for the predictions of species richness. *Conservation Biology* 7(3): 480-488. <https://www.jstor.org/stable/2386676>
- Tuomisto, H. (2010). A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 2. Quantifying beta diversity and related phenomena. *Ecography* 33: 23-45. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06148.x>
- Uetz, P. (2023). Species Numbers. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org/>
- University of California, Berkeley. (2023). Amphibian Species By The Numbers. Amphibiaweb. <https://amphibiaweb.org>
- Urbina-Cardona, N., & Londoño-Murcia, M. (2003). Distribución de la comunidad de herpetofauna asociada a cuatro áreas con diferente grado de perturbación en la

- Isla Gorgona, Pacífico colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 27(102): 105-113. [https://doi.org/10.18257/raccefyn.27\(102\).2003.2054](https://doi.org/10.18257/raccefyn.27(102).2003.2054)
- Valdez-Lares, R., Martín-Muñoz, A., Muñoz-Martínez, R., & Santos-Barrera, G. (2013). New Distributional Records for Amphibians from Durango, Mexico. *Herpetological Review* 44(4): 646-649.
- Vidan, E., Novosolov, M., Bauer, A. M., Castro-Herrera, F., Chirio, L., de Campos-Nogueira, C., Tiffany M., Doan, T. M., Lewin, A., Meirte, D., Nagy, Z. T., Pincheira-Donoso, D., Tallowin, O. J. S., Torres-Carvajal, O., Uetz, P., Wagner, P., Wang, Y., Belmaker, J., & Meiri, S. (2019). The global biogeography of lizard functional groups. *Journal of Biogeography* 46(10): 2147-2158. <https://doi.org/10.1111/jbi.13667>
- Viramontes-Pereida, O. (2004). Los recursos hidráulicos en el centro norte de México: perspectiva histórica. *La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada. México*. Pp 33-42.
- Wallace, A. R. (1876). *The geographical distribution of animals, with a study of the relations of living and extinct faunas as elucidating the past changes of the earth's surface.* Macmillan and Co. Pp 502. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/30227970>
- Wang, C. C., Yeh, T. Y., Chang, C. S., Li, M. S., Tsuboki, K., & Liu, C. H. (2023). A modeling study of an extreme rainfall event along the northern coast of Taiwan on 2 June 2017. *Atmospheric Chemistry and Physics* 23(1): 501-521. <https://doi.org/10.5194/acp-23-501-2023>
- Warwick, R. M., & Clarke, K. R. (1995). New “biodiversity” measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series* 129(1/3): 301–305. <http://www.jstor.org/stable/24855596>
- Warwick, R. M., & Clarke, K. R. (1998), Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology* 35: 532-543. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.3540532.x>

- Wells, K. D. (2007). *The ecology and behavior of amphibians*. University of Chicago Press. The United States. Pp 1148.
- Whittaker, K. A., & Marzluff, J. M. (2009). Species-Specific Survival and Relative Habitat Use in an Urban Landscape During the Postfledging Period, *The Auk* 126(2): 288–299. <https://doi.org/10.1525/auk.2009.07136>
- Wiens, J.J., Kozak, K.H., & Silva, N. (2013). Diversity and niche evolution along aridity gradients in north american lizards (*phrynosomatidae*). *Evolution* 67:1715-1728.
- Wilson, L. D., Mata-Silva, V., & Johnson, J. D. (2013a). A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 7: 97–127.
- Wilson, L. D., Mata-Silva, V., & Johnson, J. D. (2013b). A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 7: 1–47.
- Woolrich-Piña, G. A., Ponce-Campos, P., Loc-Barragán, J., Ramírez-Silva, J. P., Mata-Silva, V., Johnson, J. D., García-Padilla, E., & Wilson, L. D. (2016). The herpetofauna of Nayarit, Mexico: composition, distribution, and conservation. *Mesoamerican Herpetology* 3: 376-448.
- Yáñez-Ordóñez, O., Trujano-Ortega, M., & Llorente-Bousquets, J. (2008). Patrones de distribución de las especies de la tribu meliponini (*hymenoptera: apoidea: apidae*) en México. *Interciencia* 33(1): 41-45.
- Zabala-Forero, F., & Urbina-Cardona, N. (2021). Respuestas de la diversidad taxonómica y funcional a la transformación del paisaje: relación de los ensamblajes de anfibios con cambios en el uso y cobertura del suelo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92: 1-22. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3443>
- Zunino, M., & Zullini, A. (2016). *Biogeografía: La dimensión espacial de la evolución*. Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México. Pp 359.

ANEXOS

Anexo 1. Lista de especies de anfibios y reptiles para la Sierra Madre Occidental.

Clase	Orden	Familia	Género	Especie	Afinidad biogeográfica
Amphibia	Anura	Bufonidae	Anaxyrus	<i>Anaxyrus cognatus</i> (Say, 1822)	Neártica
				<i>Anaxyrus compactilis</i> * (Wiegmann, 1833)	Neártica
				<i>Anaxyrus debilis</i> (Girard, 1854)	Neártica
				<i>Anaxyrus kelloggi</i> * (Taylor, 1938)	Neártica
				<i>Anaxyrus mexicanus</i> * (Brocchi, 1879)	Neártica
				<i>Anaxyrus punctatus</i> (Baird & Girard, 1852)	Neártica
				<i>Anaxyrus speciosus</i> (Girard, 1854)	Neártica
				<i>Anaxyrus woodhousii</i> (Girard, 1854)	Neártica
			Incilius	<i>Incilius alvarius</i> (Girard, 1859)	Neártica
				<i>Incilius marmoreus</i> * (Wiegmann, 1833)	Neártica
				<i>Incilius mazatlanensis</i> * (Taylor, 1940)	Neotropical
				<i>Incilius mccooyii</i> * Santos-Barrera & Flores-Villela, 2011	Neártica
				<i>Incilius occidentalis</i> * (Camerano, 1879)	Neotropical
				<i>Rhinella</i>	<i>Rhinella horribilis</i> (Wiegmann, 1833)
		Craugastoridae	Craugastor	<i>Craugastor augusti</i> (Dugès, 1879)	Neotropical
				<i>Craugastor hobartsmithi</i> * (Taylor, 1937)	Neotropical
				<i>Craugastor occidentalis</i> * (Taylor, 1941)	Neotropical
				<i>Craugastor tarahumaraensis</i> * (Taylor, 1940)	Neártica
				<i>Craugastor vocalis</i> * (Taylor, 1940)	Neotropical
		Eleutherodactylidae	Eleutherodactylus	<i>Eleutherodactylus interorbitalis</i> * (Langebartel & Shannon, 1956)	Neotropical
<i>Eleutherodactylus nitidus</i> * (Peters, 1870)	Neotropical				

			<i>Eleutherodactylus pallidus</i> * (Duellman, 1958)	Neotropical
			<i>Eleutherodactylus saxatilis</i> * (Webb, 1962)	Neártica
			<i>Eleutherodactylus teretistes</i> * (Duellman, 1958)	Neotropical
	Hylidae	Dryophytes	<i>Dryophytes arenicolor</i> (Cope, 1866)	Neártica
			<i>Dryophytes eximius</i> * (Baird, 1854)	Neártica
			<i>Dryophytes wrightorum</i> (Taylor, 1939)	Neártica
		Exerodonta	<i>Exerodonta smaragdina</i> * (Taylor, 1940)	Neotropical
		Sarcohyla	<i>Sarcohyla bistincta</i> * (Cope, 1877)	Neotropical
		Smilisca	<i>Smilisca baudinii</i> (Duméril & Bibron, 1841)	Neotropical
			<i>Smilisca fodiens</i> (Boulenger, 1882)	Neártica
	Tlalocohyla	<i>Tlalocohyla smithii</i> * (Boulenger, 1902)	Neotropical	
	Leptodactylidae	Leptodactylus	<i>Leptodactylus melanonotus</i> (Hallowell, 1861)	Neotropical
	Microhylidae	Gastrophryne	<i>Gastrophryne mazatlanensis</i> (Taylor, 1943)	Neártica
			<i>Gastrophryne olivacea</i> (Hallowell, 1856)	Neártica
		Hypopachus	<i>Hypopachus variolosus</i> (Cope, 1866)	Neotropical
	Phyllomedusidae	Agalychnis	<i>Agalychnis dacnicolor</i> * (Cope, 1864)	Neotropical
	Ranidae	Lithobates	<i>Lithobates berlandieri</i> (Baird, 1859)	Neotropical
			<i>Lithobates catesbeianus</i> (Shaw, 1802)	Neártica
			<i>Lithobates chiricahuensis</i> (Platz & Mecham, 1979)	Neártica
			<i>Lithobates forreri</i> (Boulenger, 1883)	Neotropical
			<i>Lithobates lemosespinali</i> * (Smith & Chiszar, 2003)	Neotropical
			<i>Lithobates magnaocularis</i> * (Frost & Bagnara, 1974)	Neotropical
			<i>Lithobates montezumae</i> * (Baird, 1854)	Neártica

				<i>Lithobates pustulosus</i> * (Boulenger, 1883)	Neotropical		
				<i>Lithobates tarahumarae</i> (Boulenger, 1917)	Neártica		
				<i>Lithobates yavapaiensis</i> (Platz & Frost, 1984)	Neártica		
		Scaphiopodidae	Scaphiopus		<i>Scaphiopus couchii</i> Baird, 1854	Neártica	
					<i>Spea bombifrons</i> (Cope, 1863)	Neártica	
			Spea		<i>Spea hammondi</i> (Baird, 1859)	Neártica	
					<i>Spea multiplicata</i> (Cope, 1863)	Neártica	
		Caudata	Ambystomatidae	Ambystoma	<i>Ambystoma rosaceum</i> * Taylor, 1941	Neártica	
					<i>Ambystoma silvense</i> * Webb, 2004	Neártica	
					<i>Ambystoma velasci</i> * Dugès, 1888	Neotropical	
			Plethodontidae	Isthmura	<i>Isthmura bellii</i> * (Gray, 1850)	Neotropical	
					<i>Isthmura sierraoccidentalis</i> * (Lowe, Jones & Wright, 1968)	Neotropical	
		Reptilia	Squamata	Anguidae	Barisia	<i>Barisia ciliaris</i> * (Smith, 1942)	Neártica
						<i>Barisia imbricata</i> * (Wiegmann, 1828)	Neártica
						<i>Barisia levicollis</i> * Stejneger, 1890	Neártica
Elgaria	<i>Elgaria kingii</i> Gray, 1838				Neártica		
Gerrhonotus	<i>Gerrhonotus liocephalus</i> Wiegmann, 1828				Neártica		
Anolidae	Anolis			<i>Anolis nebulosus</i> * (Wiegmann, 1834)	Neártica		
Crotaphytidae	Crotaphytus			<i>Crotaphytus collaris</i> (Say, 1822)	Neártica		
				<i>Crotaphytus nebrius</i> Axtell & Montanucci, 1977	Neártica		
	Gambelia			<i>Gambelia wislizenii</i> (Baird & Girard, 1852)	Neotropical		
Eublepharidae	Coleonyx			<i>Coleonyx fasciatus</i> * (Boulenger, 1885)	Neotropical		
				<i>Coleonyx variegatus</i> (Baird, 1858)	Neotropical		
Helodermatidae	Heloderma			<i>Heloderma exasperatum</i> * Bogert & Martin Del Campo, 1956	Neotropical		
				<i>Heloderma horridum</i> * (Wiegmann, 1829)	Neotropical		

			<i>Heloderma suspectum</i> Cope, 1869	Neártica
	Iguanidae	Ctenosaura	<i>Ctenosaura hemilopha</i> * (Cope, 1863)	Neártica
			<i>Ctenosaura macrolopha</i> * Smith, 1972	Neotropical
			<i>Ctenosaura pectinata</i> * (Wiegmann, 1834)	Neotropical
			<i>Callisaurus draconoides</i> Blainville, 1835	Neártica
	Cophosaurus	Cophosaurus	<i>Cophosaurus texanus</i> Troschel, 1852	Neártica
			Holbrookia	<i>Holbrookia approximans</i> * Baird, 1859
	<i>Holbrookia elegans</i> Bocourt, 1874	Neártica		
	<i>Holbrookia maculata</i> Girard, 1851	Neártica		
	Phrynosoma	Phrynosoma	<i>Phrynosoma cornutum</i> (Harlan, 1825)	Neártica
			<i>Phrynosoma ditmarsii</i> Stejneger, 1906	Neártica
			<i>Phrynosoma hernandesi</i> Girard, 1858	Neártica
			<i>Phrynosoma orbiculare</i> * (Linnaeus, 1758)	Neártica
			<i>Phrynosoma solare</i> Gray, 1845	Neártica
	Phrynosomatidae	Sceloporus	<i>Sceloporus albiventris</i> * Smith, 1939	Neártica
			<i>Sceloporus bulleri</i> * Boulenger, 1895	Neotropical
			<i>Sceloporus clarkii</i> Baird & Girard, 1852	Neártica
			<i>Sceloporus cowlesi</i> Lowe & Norris, 1956	Neártica
			<i>Sceloporus dugesii</i> * Bocourt, 1874	Neotropical
			<i>Sceloporus grammicus</i> Wiegmann, 1828	Neártica
			<i>Sceloporus heterolepis</i> * Boulenger, 1895	Neotropical
			<i>Sceloporus horridus</i> * Wiegmann, 1834	Neotropical
			<i>Sceloporus jarrovi</i> Cope, 1875	Neotropical
			<i>Sceloporus lemosespinali</i> * Lara-Góngora, 2004	Neártica
			<i>Sceloporus magister</i> Hallowell, 1854	Neártica
			<i>Sceloporus melanorhinus</i> Bocourt, 1876	Neotropical
			<i>Sceloporus nelsoni</i> * Cochran, 1923	Neotropical
			<i>Sceloporus poinsettii</i> Baird & Girard, 1852	Neártica

				<i>Sceloporus scalaris</i> * Wiegmann, 1828	Neártica	
				<i>Sceloporus shannonorum</i> * Langebartel, 1959	Neártica	
				<i>Sceloporus slevini</i> Smith, 1937	Neártica	
				<i>Sceloporus spinosus</i> * Wiegmann, 1828	Neártica	
				<i>Sceloporus torquatus</i> * Wiegmann, 1828	Neártica	
				<i>Sceloporus undulatus</i> (Bosc & Daudin, 1801)	Neártica	
				<i>Sceloporus utiformis</i> * Cope, 1864	Neotropical	
				<i>Sceloporus virgatus</i> Smith, 1938	Neártica	
				Urosaurus	<i>Urosaurus bicarinatus</i> * (Duméril, 1856)	Neotropical
					<i>Urosaurus ornatus</i> (Baird & Girard, 1852)	Neártica
		Uta	<i>Uta stansburiana</i> Baird & Girard, 1852	Neártica		
		Phyllodactylidae	Phyllodactylus	<i>Phyllodactylus homolepidurus</i> * Smith, 1935	Neártica	
				<i>Phyllodactylus lanei</i> * Smith, 1935	Neotropical	
		Scincidae	Plestiodon	<i>Plestiodon bilineatus</i> * (Tanner, 1958)	Neártica	
				<i>Plestiodon brevirostris</i> * (Günther, 1860)	Neártica	
				<i>Plestiodon callicephalus</i> (Bocourt, 1879)	Neártica	
				<i>Plestiodon lynxe</i> * (Wiegmann, 1834)	Neártica	
				<i>Plestiodon multilineatus</i> * (Tanner, 1957)	Neártica	
				<i>Plestiodon obsoletus</i> Baird & Girard, 1852	Neártica	
				<i>Plestiodon parviauriculatus</i> * (Taylor, 1933)	Neártica	
				<i>Plestiodon parvulus</i> * (Taylor, 1933)	Neotropical	
			<i>Plestiodon tetragrammus</i> Baird, 1858	Neotropical		
		Teiidae	Aspidoscelis	<i>Aspidoscelis burti</i> (Taylor, 1938)	Neártica	
				<i>Aspidoscelis costata</i> * (Cope, 1878)	Neotropical	
				<i>Aspidoscelis exsanguis</i> (Lowe, 1956)	Neártica	
				<i>Aspidoscelis gularis</i> (Baird & Girard, 1852)	Neotropical	
				<i>Aspidoscelis inornata</i> (Baird, 1859)	Neártica	

			<i>Aspidoscelis marmorata</i> (Baird & Girard, 1852)	Neártica
			<i>Aspidoscelis opatae</i> * (Wright, 1967)	Neártica
			<i>Aspidoscelis sonora</i> (Lowe & Wright, 1964)	Neártica
			<i>Aspidoscelis stictogramma</i> (Burger, 1950)	Neártica
			<i>Aspidoscelis tigris</i> (Baird & Girard, 1852)	Neártica
			<i>Aspidoscelis uniparens</i> (Wright & Lowe, 1965)	Neártica
	Boidae	Boa	<i>Boa constrictor</i> Linnaeus, 1758	Neotropical
			<i>Boa sigma</i> * (Smith, 1943)	Neotropical
		Arizona	<i>Arizona elegans</i> Kennicott, 1859	Neártica
		Conopsis	<i>Conopsis nasus</i> * (Günther, 1858)	Neártica
		Drymarchon	<i>Drymarchon melanurus</i> (Dumeril, Bibron & Dumeril, 1854)	Neotropical
		Drymobius	<i>Drymobius margaritiferus</i> (Schlegel, 1837)	Neotropical
		Gyalopion	<i>Gyalopion quadrangulare</i> (Günther, 1893)	Neártica
		Lampropeltis	<i>Lampropeltis alterna</i> (Brown, 1901)	Neártica
			<i>Lampropeltis getula</i> Linnaeus, 1758	Neártica
			<i>Lampropeltis knoblochi</i> Taylor, 1840	Neártica
			<i>Lampropeltis mexicana</i> * (Garman, 1884)	Neártica
			<i>Lampropeltis polyzona</i> Cope, 1860	Neotropical
			<i>Lampropeltis pyromelana</i> (Cope, 1866)	Neártica
			<i>Lampropeltis splendida</i> (Baird & Girard, 1853)	Neártica
			<i>Lampropeltis triangulum</i> (Lacépède, 1789)	Neártica
			<i>Lampropeltis webbi</i> * Brison, Dixon & Lazcano, 2005	Neártica
		Leptophis	<i>Leptophis diplotropis</i> * (Günther, 1872)	Neotropical
		Loxocemus	<i>Loxocemus bicolor</i> Cope, 1861	Neotropical

			Masticophis	<i>Masticophis bilineatus</i> Jan, 1863	Neotropical
				<i>Masticophis flagellum</i> (Shaw, 1802)	Neártica
				<i>Masticophis mentovarius</i> (Dumeril, Bibron & Dumeril, 1854)	Neotropical
				<i>Masticophis taeniatus</i> (Hallowell, 1852)	Neártica
			Mastigodryas	<i>Mastigodryas cliffoni</i> * (Hardy, 1964)	Neotropical
			Oxybelis	<i>Oxybelis aeneus</i> (Wagler, 1824)	Neotropical
			Pantherophis	<i>Pantherophis emoryi</i> (Baird & Girard, 1853)	Neotropical
			Phyllorhynchus	<i>Phyllorhynchus browni</i> Stejneger, 1890	Neártica
			Pituophis	<i>Pituophis catenifer</i> (Blainville, 1835)	Neártica
				<i>Pituophis deppei</i> * (Duméril, 1853)	Neártica
				<i>Pituophis melanoleucus</i> (Daudin, 1803)	Neártica
			Pseudoficimia	<i>Pseudoficimia frontalis</i> * (Cope, 1864)	Neotropical
			Rhinocheilus	<i>Rhinocheilus lecontei</i> Baird & Girard, 1853	Neártica
			Salvadora	<i>Salvadora bairdi</i> * Jan, 1860	Neártica
				<i>Salvadora deserticola</i> Schmidt, 1940	Neártica
				<i>Salvadora grahamiae</i> Baird & Girard, 1853	Neártica
				<i>Salvadora hexalepis</i> (Cope, 1867)	Neártica
			Senticolis	<i>Senticolis triaspis</i> (Cope, 1866)	Neotropical
			Sonora	<i>Sonora aemula</i> * (Cope, 1879)	Neártica
				<i>Sonora semiannulata</i> Baird & Girard, 1853	Neártica
			Sympholis	<i>Sympholis lippiens</i> * Cope, 1862	Neártica
			Tantilla	<i>Tantilla atriceps</i> (Günther, 1895)	Neártica
				<i>Tantilla bocourti</i> * (Günther, 1895)	Neotropical
				<i>Tantilla hobartsmithi</i> Taylor, 1937	Neártica
				<i>Tantilla wilcoxi</i> Stejneger, 1902	Neártica
				<i>Tantilla yaquia</i> Smith, 1942	Neártica
			Trimorphodon	<i>Trimorphodon biscutatus</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)	Neotropical

			<i>Trimorphodon tau</i> * Cope, 1870	Neotropical
	Dipsadidae	Diadophis	<i>Diadophis punctatus</i> (Linnaeus, 1766)	Neártica
		Geophis	<i>Geophis dugesii</i> * Bocourt, 1883	Neártica
		Heterodon	<i>Heterodon kennerlyi</i> Kennicott, 1860	Neártica
		Hypsiglena	<i>Hypsiglena chlorophaea</i> Cope, 1860	Neártica
			<i>Hypsiglena jani</i> (Dugès, 1865)	Neártica
			<i>Hypsiglena torquata</i> * (Günther, 1860)	Neotropical
		Imantodes	<i>Imantodes gemmistratus</i> (Cope, 1861)	Neotropical
		Leptodeira	<i>Leptodeira maculata</i> (Hallowell, 1861)	Neotropical
			<i>Leptodeira punctata</i> * (Peters, 1866)	Neotropical
			<i>Leptodeira splendida</i> * Günther, 1895	Neotropical
		Rhadinaea	<i>Rhadinaea hesperia</i> * Bailey, 1940	Neártica
			<i>Rhadinaea laureata</i> * (Günther, 1868)	Neártica
		Tropidodipsas	<i>Tropidodipsas annulifera</i> Boulenger, 1894	Neotropical
			<i>Tropidodipsas repleta</i> * Smith, Lemos-Espinal, Hartman & Chiszar, 2005	Neártica
	Elapidae	Micruroides	<i>Micruroides euryxanthus</i> (Kennicott, 1860)	Neártica
		Micrurus	<i>Micrurus distans</i> * Kennicott, 1860	Neártica
		Indotyphlops	<i>Indotyphlops braminus</i> (Daudin, 1803)	Neotropical
	Leptotyphlopidae	Rena	<i>Rena dugesii</i> * Bocourt, 1881	Neotropical
		Adelophis	<i>Adelophis foxi</i> Rossman & Blaney, 1968	Neártica
	Natricidae	Nerodia	<i>Nerodia erythrogaster</i> (Forster, 1771)	Neártica
		Storeria	<i>Storeria storerioides</i> * (Cope, 1866)	Neártica
		Thamnophis	<i>Thamnophis cyrtopsis</i> (Kennicott, 1860)	Neotropical
			<i>Thamnophis elegans</i> (Baird & Girard, 1853)	Neártica
			<i>Thamnophis eques</i> (Reuss, 1834)	Neártica
	<i>Thamnophis errans</i> * Smith, 1942		Neártica	
		<i>Thamnophis marcianus</i> (Baird & Girard, 1853)	Neártica	

	Viperidae	Agkistrodon	<i>Thamnophis melanogaster</i> * (Peters, 1864)	Neártica
			<i>Thamnophis nigroneuchalis</i> * Thompson, 1957	Neártica
			<i>Thamnophis pulchrilatus</i> * (Cope, 1885)	Neártica
			<i>Thamnophis rufipunctatus</i> (Cope, 1875)	Neártica
			<i>Thamnophis unilabialis</i> * Tanner, 1985	Neártica
			<i>Thamnophis validus</i> * (Kennicott, 1860)	Neotropical
		Crotalus	<i>Agkistrodon bilineatus</i> Günther, 1863	Neotropical
			<i>Crotalus aquilus</i> * Klauber, 1952	Neártica
			<i>Crotalus atrox</i> Baird & Girard, 1853	Neártica
			<i>Crotalus basiliscus</i> * (Cope, 1864)	Neártica
			<i>Crotalus lepidus</i> (Kennicott, 1861)	Neártica
			<i>Crotalus molossus</i> Baird & Girard, 1853	Neártica
			<i>Crotalus ornatus</i> Hallowell, 1854	Neártica
	<i>Crotalus polystictus</i> * (Cope, 1865)		Neotropical	
	<i>Crotalus pricei</i> Van Denburgh, 1895		Neártica	
	<i>Crotalus scutulatus</i> (Kennicott, 1861)		Neártica	
	<i>Crotalus stejnegeri</i> * Dunn, 1919	Neártica		
	<i>Crotalus tigris</i> Kennicott, 1859	Neártica		
	<i>Crotalus viridis</i> (Rafinesque, 1818)	Neártica		
	<i>Crotalus willardi</i> Meek, 1905	Neártica		
Testudines	Emydidae	Trachemys	<i>Trachemys scripta</i> (Thunberg, 1792)	Neotropical
	Geoemydidae	Rhinoclemmys	<i>Rhinoclemmys pulcherrima</i> (Gray, 1855)	Neotropical
	Kinosternidae	Kinosternon	<i>Kinosternon durangoense</i> * Iverson, 1979	Neártica
			<i>Kinosternon hirtipes</i> (Wagler, 1830)	Neártica
			<i>Kinosternon integrum</i> * Le Conte, 1854	Neotropical
<i>Kinosternon sonoriense</i> Le Conte, 1854	Neotropical			

Anexo 2. Especies de anfibios presentes en los tipos de vegetación de la Sierra Madre Occidental. Tipos de vegetación: Bosque bajo abierto (BBA), Bosque de encino occidental (BEOc), Bosque de encino oriental (BEOr), Bosque de galería (BG), Bosque de pino (BP), Bosque de pino-encino (BPE), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Bosque mixto de coníferas (BMC), Bosque tropical caducifolio (BTC), Bosque tropical subcaducifolio (BTS), Bosque xerófilo espinoso (BXE), Claros de bosque (CB), Matorral subtropical (MST), Matorral xerófilo (MX) y Pastizal (PZ).

Nombre científico	BBA	BEOc	BEOr	BG	BP	BPE	BMM	BMC	BTC	BTS	BXE	CB	MST	MX	PZ
AMPHIBIA															
Orden Anura															
Familia Bufonidae															
<i>Anaxyrus cognatus</i>	X	X	X			X								X	X
<i>Anaxyrus compactilis</i>	X				X	X						X			
<i>Anaxyrus debilis</i>	X				X										
<i>Anaxyrus kelloggi</i>													X		X
<i>Anaxyrus mexicanus</i>	X	X	X		X	X		X	X			X			X
<i>Anaxyrus punctatus</i>	X	X			X	X			X	X			X		X
<i>Anaxyrus speciosus</i>															X
<i>Anaxyrus woodhousii</i>			X	X	X										X
<i>Incilius alvarius</i>	X	X		X		X			X				X		X
<i>Incilius marmoratus</i>		X								X					
<i>Incilius mazatlanensis</i>		X	X			X			X		X		X		X
<i>Incilius mccooyii</i>	X	X			X	X			X	X			X		X
<i>Incilius occidentalis</i>	X	X	X		X	X	X		X				X		X
<i>Rhinella horribilis</i>		X							X	X					X
Familia Craugastoridae															
<i>Craugastor augusti</i>	X	X	X		X	X			X	X			X		
<i>Craugastor hobartsmithi</i>					X										
<i>Craugastor occidentalis</i>		X				X			X	X					

<i>Craugastor tarahumaraensis</i>		X		X	X					X
<i>Craugastor vocalis</i>		X		X	X		X	X		X
Familia Eleutherodactylidae										
<i>Eleutherodactylus interorbitalis</i>										X
<i>Eleutherodactylus nitidus</i>	X	X			X					
<i>Eleutherodactylus pallidus</i>									X	
<i>Eleutherodactylus saxatilis</i>		X			X					
<i>Eleutherodactylus teretistes</i>				X						
Familia Hylidae										
<i>Dryophytes arenicolor</i>	X	X	X	X	X		X		X	X
<i>Dryophytes eximius</i>				X	X				X	X
<i>Dryophytes wrightorum</i>		X		X	X					X
<i>Exerodonta smaragdina</i>				X			X	X		
<i>Sarcohylla bistincta</i>							X	X		
<i>Smilisca baudinii</i>		X		X	X		X	X		X
<i>Smilisca fodiens</i>	X	X			X				X	X
<i>Tlalocohyla smithii</i>							X	X	X	
Familia Leptodactylidae										
<i>Leptodactylus melanonotus</i>		X		X	X		X	X		
Familia Microhylidae										
<i>Gastrophryne mazatlanensis</i>	X	X		X	X		X		X	X
<i>Gastrophryne olivacea</i>	X	X	X		X		X		X	
<i>Hypopachus variolosus</i>									X	
Familia Phyllomedusidae										
<i>Agalychnis dacnicolor</i>		X			X		X	X	X	X
Familia Ranidae										
<i>Lithobates berlandieri</i>				X	X		X		X	
<i>Lithobates catesbeianus</i>		X	X	X	X					X
<i>Lithobates chiricahuensis</i>	X	X		X	X		X		X	X

<i>Lithobates forreri</i>		X			X					X	
<i>Lithobates lemosespinali</i>					X						
<i>Lithobates magnaocularis</i>	X	X			X	X				X	X
<i>Lithobates montezumae</i>	X									X	
<i>Lithobates pustulosus</i>		X			X	X				X	X
<i>Lithobates tarahumarae</i>		X			X	X				X	X
<i>Lithobates yavapaiensis</i>	X	X			X	X				X	X
Familia Scaphiopodidae											
<i>Scaphiopus couchii</i>	X	X								X	
<i>Spea bombifrons</i>										X	
<i>Spea hammondii</i>										X	
<i>Spea multiplicata</i>	X	X	X		X	X			X	X	X
Orden Caudata											
Familia Ambystomatidae											
<i>Ambystoma rosaceum</i>	X	X	X		X	X				X	X
<i>Ambystoma silvense</i>					X	X				X	
<i>Ambystoma velasci</i>		X				X				X	
Familia Plethodontidae											
<i>Isthmura bellii</i>										X	
<i>Isthmura sierraoccidentalis</i>						X					

Anexo 3. Especies de reptiles presentes en los tipos de vegetación de la Sierra Madre Occidental. Tipos de vegetación: Bosque bajo abierto (BBA), Bosque de encino occidental (BEOc), Bosque de encino oriental (BEOr), Bosque de galería (BG), Bosque de pino (BP), Bosque de pino-encino (BPE), Bosque mesófilo de montaña (BMM), Bosque mixto de coníferas (BMC), Bosque tropical caducifolio (BTC), Bosque tropical subcaducifolio (BTS), Bosque xerófilo espinoso (BXE), Claros de bosque (CB), Matorral perennifolio (MP), Matorral subtropical (MST), Matorral xerófilo (MX) y Pastizal (PZ).

Nombre científico	BBA	BEOc	BEOr	BG	BP	BPE	BMM	BMC	BTC	BTS	BXE	CB	MP	MST	MX	PZ
REPTILIA																
Orden Squamata																
Familia Anguidae																
<i>Barisia ciliaris</i>					X	X						X				
<i>Barisia imbricata</i>	X				X	X						X				X
<i>Barisia levicollis</i>		X			X	X			X	X				X		X
<i>Elgaria kingii</i>	X	X			X	X			X	X				X		X
<i>Gerrhonotus liocephalus</i>					X	X			X			X				
Familia Anolidae																
<i>Anolis nebulosus</i>	X	X			X	X			X	X		X		X		X
Familia Crotaphytidae																
<i>Crotaphytus collaris</i>															X	
<i>Crotaphytus nebrius</i>														X		X
<i>Gambelia wislizenii</i>			X													
Familia Eublepharidae																
<i>Coleonyx fasciatus</i>									X							X
<i>Coleonyx variegatus</i>		X														
Familia Helodermatidae																
<i>Heloderma exasperatum</i>		X														
<i>Heloderma horridum</i>		X				X			X	X				X		
<i>Heloderma suspectum</i>	X	X							X					X		

Familia Iguanidae

<i>Ctenosaura hemilopha</i>		X											
<i>Ctenosaura macrolopha</i>		X						X			X		X
<i>Ctenosaura pectinata</i>		X			X			X	X		X		X

Familia Phrynosomatidae

<i>Callisaurus draconoides</i>	X	X						X					
<i>Cophosaurus texanus</i>	X		X		X	X							X
<i>Holbrookia approximans</i>		X				X		X					X
<i>Holbrookia elegans</i>	X	X			X	X		X			X		X
<i>Holbrookia maculata</i>	X	X	X		X	X							X
<i>Phrynosoma cornutum</i>	X		X			X						X	
<i>Phrynosoma ditmarsii</i>	X												
<i>Phrynosoma hernandesi</i>	X	X	X		X	X							X
<i>Phrynosoma orbiculare</i>	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Phrynosoma solare</i>		X				X		X			X		X
<i>Sceloporus albiventris</i>		X			X	X		X	X		X		X
<i>Sceloporus bulleri</i>		X			X	X		X	X	X			
<i>Sceloporus clarkii</i>	X	X	X		X	X		X	X	X		X	X
<i>Sceloporus cowlesi</i>	X	X	X		X	X			X				X
<i>Sceloporus dugesii</i>												X	X
<i>Sceloporus grammicus</i>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Sceloporus heterolepis</i>		X				X		X		X			
<i>Sceloporus horridus</i>	X	X			X	X		X			X		
<i>Sceloporus jarrovii</i>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Sceloporus lemosespinali</i>	X	X	X		X	X		X			X		X
<i>Sceloporus magister</i>		X											
<i>Sceloporus melanorhinus</i>		X						X					
<i>Sceloporus nelsoni</i>		X	X		X	X		X	X		X		X
<i>Sceloporus poinsettii</i>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X

<i>Sceloporus scalaris</i>	x			x	x			x	x		x	x		
<i>Sceloporus shannonorum</i>		x												
<i>Sceloporus slevini</i>	x			x	x			x				x		x
<i>Sceloporus spinosus</i>	x				x		x			x				x
<i>Sceloporus torquatus</i>	x			x	x							x		x
<i>Sceloporus undulatus</i>	x			x	x									
<i>Sceloporus utiformis</i>								x	x			x		
<i>Sceloporus virgatus</i>	x	x		x	x			x			x	x		x
<i>Urosaurus bicarinatus</i>		x		x	x			x	x			x		x
<i>Urosaurus ornatus</i>	x	x		x	x			x				x		x
<i>Uta stansburiana</i>	x	x	x	x										
Familia Phyllodactylidae														
<i>Phyllodactylus homolepidurus</i>								x						
<i>Phyllodactylus lanei</i>								x						
Familia Scincidae														
<i>Plestiodon bilineatus</i>				x	x	x		x			x			
<i>Plestiodon brevirostris</i>			x	x	x			x			x			
<i>Plestiodon callicephalus</i>	x	x		x	x			x	x			x		x
<i>Plestiodon lynxe</i>	x			x	x							x		x
<i>Plestiodon multilineatus</i>				x										x
<i>Plestiodon obsoletus</i>	x	x										x		x
<i>Plestiodon parviauriculatus</i>		x			x			x	x					x
<i>Plestiodon parvulus</i>				x	x									
<i>Plestiodon tetragrammus</i>	x				x				x					x
Familia Teiidae														
<i>Aspidoscelis burti</i>		x												x
<i>Aspidoscelis costata</i>	x	x		x	x			x	x			x		x
<i>Aspidoscelis exsanguis</i>	x	x	x	x	x				x			x		x
<i>Aspidoscelis gularis</i>	x	x	x	x	x		x	x			x	x	x	x

<i>Masticophis mentovarius</i>		X		X	X			X		X
<i>Masticophis taeniatus</i>	X				X			X		
<i>Mastigodryas cliffoni</i>		X		X				X		
<i>Oxybelis aeneus</i>	X	X			X			X		X
<i>Pantherophis emoryi</i>										X
<i>Phyllorhynchus browni</i>								X		
<i>Pituophis catenifer</i>	X	X		X	X			X		X
<i>Pituophis deppei</i>	X	X		X	X				X	X
<i>Pituophis melanoleucus</i>	X	X	X		X			X		X
<i>Pseudoficimia frontalis</i>			X		X			X		
<i>Rhinocheilus lecontei</i>		X							X	
<i>Salvadora bairdi</i>	X	X			X			X		X
<i>Salvadora deserticola</i>	X	X		X	X			X		
<i>Salvadora grahamiae</i>	X			X	X				X	X
<i>Salvadora hexalepis</i>		X							X	
<i>Senticolis triaspis</i>	X	X			X					
<i>Sonora aemula</i>		X		X				X		X
<i>Sonora semiannulata</i>	X									
<i>Sympholis lippiens</i>		X						X		
<i>Tantilla atriceps</i>					X					
<i>Tantilla bocourti</i>	X				X					X
<i>Tantilla hobartsmithi</i>	X	X								
<i>Tantilla wilcoxi</i>	X	X		X	X					X
<i>Tantilla yaquia</i>		X								
<i>Trimorphodon biscutatus</i>		X			X		X	X		X
<i>Trimorphodon tau</i>	X	X			X			X		X
Familia Dipsadidae										
<i>Diadophis punctatus</i>		X	X	X	X					X
<i>Geophis dugesii</i>	X	X		X	X			X	X	

<i>Thamnophis pulchrilatus</i>				X	X				X				
<i>Thamnophis rufipunctatus</i>		X		X	X		X		X				X
<i>Thamnophis unilabialis</i>			X	X	X								X
<i>Thamnophis validus</i>		X						X					
Familia Viperidae													
<i>Agkistrodon bilineatus</i>		X											
<i>Crotalus aquilus</i>	X												
<i>Crotalus atrox</i>													X
<i>Crotalus basiliscus</i>		X		X	X			X					
<i>Crotalus lepidus</i>	X	X		X	X		X	X		X			X
<i>Crotalus molossus</i>	X	X		X	X					X	X		X
<i>Crotalus ornatus</i>					X								
<i>Crotalus polystictus</i>	X												X
<i>Crotalus pricei</i>		X		X	X	X	X			X			X
<i>Crotalus scutulatus</i>	X		X		X								X
<i>Crotalus stejnegeri</i>				X	X			X					
<i>Crotalus tigris</i>		X											X
<i>Crotalus viridis</i>													X
<i>Crotalus willardi</i>	X	X		X	X		X	X		X			X
Orden Testudines													
Familia Emydidae													
<i>Trachemys scripta</i>								X					
Familia Geoemydidae													
<i>Rhinoclemmys pulcherrima</i>				X									
Familia Kinosternidae													
<i>Kinosternon durangoense</i>													X
<i>Kinosternon hirtipes</i>	X	X		X	X			X			X		X
<i>Kinosternon integrum</i>	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X
<i>Kinosternon sonoriense</i>					X								

Anexo 4. Especies de anfibios presentes en las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental.

Nombre científico	Archipiélago madrense	Madrense	Madrense tropical	Madrense xerófila	Subtropical xerófila	Tropical
AMPHIBIA						
Orden Anura						
Familia Bufonidae						
<i>Anaxyrus cognatus</i>	X	X		X		
<i>Anaxyrus compactilis</i>		X	X	X		
<i>Anaxyrus debilis</i>		X		X		
<i>Anaxyrus kelloggi</i>				X		X
<i>Anaxyrus mexicanus</i>		X	X	X		X
<i>Anaxyrus punctatus</i>	X		X	X		X
<i>Anaxyrus speciosus</i>				X		
<i>Anaxyrus woodhousii</i>	X	X		X		
<i>Incilius alvarius</i>	X		X	X		X
<i>Incilius marmoreus</i>						X
<i>Incilius mazatlanensis</i>	X	X	X	X		X
<i>Incilius mccoyii</i>		X	X	X		X
<i>Incilius occidentalis</i>		X	X	X	X	X
<i>Rhinella horribilis</i>			X		X	X
Familia Craugastoridae						
<i>Craugastor augusti</i>	X	X	X	X		X
<i>Craugastor hobartsmithi</i>						X
<i>Craugastor occidentalis</i>				X		X
<i>Craugastor tarahumaraensis</i>	X	X	X	X		X
<i>Craugastor vocalis</i>						X
Familia Eleutherodactylidae						
<i>Eleutherodactylus interorbitalis</i>			X			

<i>Eleutherodactylus nitidus</i>		X	X			
<i>Eleutherodactylus pallidus</i>						X
<i>Eleutherodactylus saxatilis</i>		X	X			X
<i>Eleutherodactylus teretistes</i>						X
Familia Hylidae						
<i>Dryophytes arenicolor</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Dryophytes eximius</i>		X	X	X		X
<i>Dryophytes wrightorum</i>		X	X	X		X
<i>Exerodonta smaragdina</i>						X
<i>Sarcohyla bistrincta</i>						X
<i>Smilisca baudinii</i>		X	X			X
<i>Smilisca fodiens</i>	X		X	X		X
<i>Tlalocohyla smithii</i>						X
Familia Leptodactylidae						
<i>Leptodactylus melanonotus</i>			X			X
Familia Microhylidae						
<i>Gastrophryne mazatlanensis</i>	X		X	X		X
<i>Gastrophryne olivacea</i>		X	X	X		
<i>Hypopachus variolosus</i>				X		X
Familia Phyllomedusidae						
<i>Agalychnis dacnicolor</i>			X			X
Familia Ranidae						
<i>Lithobates berlandieri</i>		X	X	X		
<i>Lithobates catesbeianus</i>		X	X	X		
<i>Lithobates chiricahuensis</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Lithobates forreri</i>		X	X			X
<i>Lithobates lemosespinali</i>		X				
<i>Lithobates magnaocularis</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Lithobates montezumae</i>				X		X

<i>Lithobates pustulosus</i>		X	X	X	X
<i>Lithobates tarahumarae</i>	X	X	X	X	X
<i>Lithobates yavapaiensis</i>	X		X	X	X
Familia Scaphiopodidae					
<i>Scaphiopus couchii</i>	X		X	X	X
<i>Spea bombifrons</i>		X		X	
<i>Spea hammondii</i>		X			
<i>Spea multiplicata</i>	X	X	X	X	X
Orden Caudata					
Familia Ambystomatidae					
<i>Ambystoma rosaceum</i>	X	X	X	X	X
<i>Ambystoma silvense</i>		X		X	
<i>Ambystoma velasci</i>		X		X	X
Familia Plethodontidae					
<i>Isthmura bellii</i>					X
<i>Isthmura sierraoccidentalis</i>			X	X	

Anexo 5. Especies de reptiles presentes en las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental.

Nombre científico	Archipiélago madrense	Madrense	Madrense tropical	Madrense xerófila	Subtropical xerófila	Tropical
REPTILIA						
Orden Squamata						
Familia Anguidae						
<i>Barisia ciliaris</i>		X	X	X		X
<i>Barisia imbricata</i>		X	X	X		
<i>Barisia levicollis</i>	X	X	X	X		X
<i>Elgaria kingii</i>	X	X	X	X		X
<i>Gerrhonotus liocephalus</i>		X	X			X
Familia Anolidae						
<i>Anolis nebulosus</i>		X	X	X	X	X
Familia Crotaphytidae						
<i>Crotaphytus collaris</i>				X		
<i>Crotaphytus nebrius</i>	X			X		
<i>Gambelia wislizenii</i>				X		
Familia Eublepharidae						
<i>Coleonyx fasciatus</i>	X					X
<i>Coleonyx variegatus</i>						X
Familia Helodermatidae						
<i>Heloderma exasperatum</i>						X
<i>Heloderma horridum</i>			X			X
<i>Heloderma suspectum</i>	X			X		X
Familia Iguanidae						
<i>Ctenosaura hemilopha</i>	X					
<i>Ctenosaura macrolopha</i>		X	X	X		X
<i>Ctenosaura pectinata</i>		X		X	X	X

Familia Phrynosomatidae

<i>Callisaurus draconoides</i>	X					X
<i>Cophosaurus texanus</i>		X		X		
<i>Holbrookia approximans</i>			X	X		X
<i>Holbrookia elegans</i>	X		X	X		X
<i>Holbrookia maculata</i>		X	X	X		X
<i>Phrynosoma cornutum</i>		X		X		
<i>Phrynosoma ditmarsii</i>	X					
<i>Phrynosoma hernandesi</i>	X	X	X	X		
<i>Phrynosoma orbiculare</i>		X	X	X		X
<i>Phrynosoma solare</i>	X			X		X
<i>Sceloporus albiventris</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Sceloporus bulleri</i>		X	X			X
<i>Sceloporus clarkii</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Sceloporus cowlesi</i>	X	X	X	X		X
<i>Sceloporus dugesii</i>		X		X		X
<i>Sceloporus grammicus</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Sceloporus heterolepis</i>		X	X			X
<i>Sceloporus horridus</i>		X	X	X	X	X
<i>Sceloporus jarrovii</i>	X	X	X	X		X
<i>Sceloporus lemosespinali</i>	X	X	X	X		X
<i>Sceloporus magister</i>						X
<i>Sceloporus melanorhinus</i>						X
<i>Sceloporus nelsoni</i>		X	X	X	X	X
<i>Sceloporus poinsettii</i>		X	X	X	X	X
<i>Sceloporus scalaris</i>		X	X	X	X	X
<i>Sceloporus shannonorum</i>			X			X
<i>Sceloporus slevini</i>	X	X	X	X		X
<i>Sceloporus spinosus</i>				X		

<i>Sceloporus torquatus</i>		X		X		X
<i>Sceloporus undulatus</i>		X	X	X		
<i>Sceloporus utiformis</i>			X			X
<i>Sceloporus virgatus</i>	X	X	X	X		X
<i>Urosaurus bicarinatus</i>		X	X		X	X
<i>Urosaurus ornatus</i>	X	X	X	X		X
<i>Uta stansburiana</i>	X	X		X		
Familia Phyllodactylidae						
<i>Phyllodactylus homolepidurus</i>						X
<i>Phyllodactylus lanei</i>						X
Familia Scincidae						
<i>Plestiodon bilineatus</i>		X	X	X		X
<i>Plestiodon brevirostris</i>		X	X	X		X
<i>Plestiodon callicephalus</i>	X	X	X	X		X
<i>Plestiodon lynxe</i>		X	X	X		
<i>Plestiodon multilineatus</i>		X		X		
<i>Plestiodon obsoletus</i>	X			X		
<i>Plestiodon parviauriculatus</i>			X	X		X
<i>Plestiodon parvulus</i>		X				X
<i>Plestiodon tetragrammus</i>		X	X	X		X
Familia Teiidae						
<i>Aspidoscelis burti</i>	X			X		
<i>Aspidoscelis costata</i>		X	X	X	X	X
<i>Aspidoscelis exsanguis</i>	X	X		X		X
<i>Aspidoscelis gularis</i>		X		X	X	X
<i>Aspidoscelis inornata</i>		X		X		X
<i>Aspidoscelis marmorata</i>				X		
<i>Aspidoscelis opatae</i>	X			X		
<i>Aspidoscelis sonora</i>	X			X		

<i>Aspidoscelis stictogramma</i>	X					
<i>Aspidoscelis tigris</i>	X	X	X	X		X
<i>Aspidoscelis uniparens</i>	X	X	X	X		
Familia Boidae						
<i>Boa constrictor</i>						X
<i>Boa sigma</i>	X			X		X
Familia Colubridae						
<i>Arizona elegans</i>				X		X
<i>Conopsis nasus</i>		X	X	X		X
<i>Drymarchon melanurus</i>		X	X			X
<i>Drymobius margaritiferus</i>			X			X
<i>Gyalopion quadrangulare</i>	X		X			X
<i>Lampropeltis alterna</i>		X		X		
<i>Lampropeltis getula</i>	X			X		
<i>Lampropeltis knoblochi</i>		X		X		
<i>Lampropeltis mexicana</i>		X		X		
<i>Lampropeltis polyzona</i>			X			
<i>Lampropeltis pyromelana</i>	X	X	X	X		
<i>Lampropeltis splendida</i>				X		
<i>Lampropeltis triangulum</i>			X			X
<i>Lampropeltis webbi</i>						X
<i>Leptophis diplotropis</i>			X			X
<i>Loxocemus bicolor</i>						X
<i>Masticophis bilineatus</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Masticophis flagellum</i>	X		X	X		
<i>Masticophis mentovarius</i>	X	X	X			X
<i>Masticophis taeniatus</i>		X		X		X
<i>Mastigodryas clifftoni</i>			X			X
<i>Oxybelis aeneus</i>	X		X	X		X

<i>Pantherophis emoryi</i>				X		
<i>Phyllorhynchus browni</i>						X
<i>Pituophis catenifer</i>	X	X		X		X
<i>Pituophis deppei</i>		X	X	X		X
<i>Pituophis melanoleucus</i>		X	X	X		
<i>Pseudoficimia frontalis</i>				X	X	X
<i>Rhinocheilus lecontei</i>	X			X		
<i>Salvadora bairdi</i>	X		X	X		X
<i>Salvadora deserticola</i>	X		X	X		X
<i>Salvadora grahamiae</i>	X	X	X	X		
<i>Salvadora hexalepis</i>				X		X
<i>Senticolis triaspis</i>	X		X	X		X
<i>Sonora aemula</i>			X			X
<i>Sonora semiannulata</i>				X		
<i>Sympholis lippiens</i>			X			X
<i>Tantilla atriceps</i>			X			
<i>Tantilla bocourti</i>		X		X		
<i>Tantilla hobartsmithi</i>	X					
<i>Tantilla wilcoxi</i>	X	X		X		
<i>Tantilla yaquia</i>	X		X	X		X
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	X			X		X
<i>Trimorphodon tau</i>	X		X	X	X	X
Familia Dipsadidae						
<i>Diadophis punctatus</i>	X	X	X	X		
<i>Geophis dugesii</i>		X	X	X		X
<i>Heterodon kennerlyi</i>		X		X		
<i>Hypsiglena chlorophaea</i>	X		X	X		
<i>Hypsiglena jani</i>				X		
<i>Hypsiglena torquata</i>		X	X	X		X

<i>Imantodes gemmistratus</i>						X
<i>Leptodeira maculata</i>						X
<i>Leptodeira punctata</i>						X
<i>Leptodeira splendida</i>						X
<i>Rhadinaea hesperia</i>			X			X
<i>Rhadinaea laureata</i>		X	X			
<i>Tropidodipsas annulifera</i>						X
<i>Tropidodipsas repleta</i>			X			
Familia Elapidae						
<i>Micruroides euryxanthus</i>	X		X	X		
<i>Micrurus distans</i>			X	X		X
<i>Indotyphlops braminus</i>						X
Familia Leptotyphlopidae						
<i>Rena dugesii</i>		X	X			
<i>Adelophis foxi</i>		X				
Familia Natricidae						
<i>Nerodia erythrogaster</i>						X
<i>Storeria storerioides</i>		X	X	X		X
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Thamnophis elegans</i>		X	X	X		
<i>Thamnophis eques</i>	X	X	X	X		
<i>Thamnophis errans</i>		X	X	X		X
<i>Thamnophis marcianus</i>		X	X	X		
<i>Thamnophis melanogaster</i>		X	X	X	X	X
<i>Thamnophis nigronuchalis</i>		X	X	X		
<i>Thamnophis pulchrilatus</i>		X				
<i>Thamnophis rufipunctatus</i>		X	X	X		
<i>Thamnophis unilabialis</i>		X	X	X		
<i>Thamnophis validus</i>						X

Familia Viperidae

<i>Agkistrodon bilineatus</i>						X
<i>Crotalus aquilus</i>				X		
<i>Crotalus atrox</i>				X		
<i>Crotalus basiliscus</i>		X	X	X		X
<i>Crotalus lepidus</i>	X	X	X	X		X
<i>Crotalus molossus</i>	X	X	X	X		X
<i>Crotalus ornatus</i>		X				
<i>Crotalus polystictus</i>				X		
<i>Crotalus pricei</i>	X	X	X	X		X
<i>Crotalus scutulatus</i>				X		
<i>Crotalus stejnegeri</i>		X				X
<i>Crotalus tigris</i>	X					
<i>Crotalus viridis</i>				X		
<i>Crotalus willardi</i>	X	X	X	X		

Orden Testudines**Familia Emydidae**

<i>Trachemys scripta</i>						X
--------------------------	--	--	--	--	--	---

Familia Geoemydidae

<i>Rhinoclemmys pulcherrima</i>						X
---------------------------------	--	--	--	--	--	---

Familia Kinosternidae

<i>Kinosternon durangoense</i>				X		
<i>Kinosternon hirtipes</i>		X		X	X	
<i>Kinosternon integrum</i>		X	X	X		X
<i>Kinosternon sonoriense</i>	X					

Anexo 6. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de anfibios entre tipos de vegetación presentes en la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia.

	BBA	BEOc	BEOr	BG	BP	BPE	BMM	BMC	BTC	BTS	BXE	CB	MST	MX	PZ
BBA	0	0.3455	0.5	0.8333	0.4902	0.3333	0.9091	0.84	0.4348	0.7436	0.9130	0.6129	0.3617	0.8462	0.4043
BEOc	0.3455	0	0.5556	0.8919	0.375	0.1143	0.9429	0.8947	0.2542	0.4231	0.8889	0.7273	0.3333	0.8462	0.3
BEOr	0.5	0.5556	0	0.8571	0.6098	0.5745	0.8333	0.7333	0.6111	0.9310	0.6923	0.6191	0.6216	0.75	0.5676
BG	0.8333	0.8919	0.8571	0	0.9394	0.8974	1	1	0.8571	1	1	1	0.8621	1	0.7931
BP	0.4902	0.375	0.6098	0.9394	0	0.3030	0.9355	0.8235	0.4182	0.5417	0.9375	0.55	0.4643	0.9429	0.4286
BPE	0.3333	0.1143	0.5745	0.8974	0.3030	0	0.9460	0.85	0.3115	0.5556	0.8947	0.5652	0.3226	0.8537	0.3226
BMM	0.9091	0.9429	0.8333	1	0.9355	0.9460	0	1	0.9231	1	1	1	0.9259	1	0.9259
BMC	0.84	0.8947	0.7333	1	0.8235	0.85	1	0	0.8621	1	1	0.5714	0.9333	1	0.8667
BTC	0.4348	0.2542	0.6111	0.8571	0.4182	0.3115	0.9231	0.8621	0	0.3023	0.9259	0.7714	0.2549	1	0.3726
BTS	0.7436	0.4231	0.9310	1	0.5417	0.5556	1	1	0.3023	0	1	1	0.5455	0.9130	0.6818
BXE	0.9130	0.8889	0.6923	1	0.9375	0.8947	1	1	0.9259	1	0	0.8333	0.8571	1	0.8571
CB	0.6129	0.7273	0.6191	1	0.55	0.5652	1	0.5714	0.7714	1	0.8333	0	0.7222	1	0.6667
MST	0.3617	0.3333	0.6216	0.8621	0.4643	0.3226	0.9259	0.9333	0.2549	0.5455	0.8571	0.7222	0	1	0.3077
MX	0.8462	0.8462	0.75	1	0.9429	0.8537	1	1	1	0.9130	1	1	1	0	0.9355
PZ	0.4043	0.3	0.5676	0.7931	0.4286	0.3226	0.9259	0.8667	0.3726	0.6818	0.8571	0.6667	0.3077	0.9355	0

Anexo 7. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de reptiles entre tipos de vegetación presentes en la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia.

	BBA	BEOc	BEOr	BG	BP	BPE	BMM	BMC	BTC	BTS	BXE	CB	MP	MST	MX	PZ
BBA	0	0.4237	0.6238	0.9737	0.3974	0.3405	0.9494	0.7907	0.5294	0.6832	0.9481	0.6793	0.8519	0.4923	0.8795	0.3082
BEOc	0.4237	0	0.7188	0.9806	0.4208	0.3208	0.9434	0.8230	0.3556	0.6406	0.9808	0.7143	0.9074	0.4140	0.9273	0.4194
BEOr	0.6238	0.7188	0	0.9259	0.6449	0.6618	0.9333	0.7838	0.7885	0.6539	0.9286	0.7544	0.8125	0.7284	0.7647	0.6182
BG	0.9737	0.9806	0.9259	0	0.9756	0.9820	1	1	1	1	1	0.9375	1	1	1	0.9765
BP	0.3974	0.4208	0.6449	0.9756	0	0.2461	0.9059	0.8044	0.4591	0.6262	0.9759	0.4821	0.8851	0.4853	0.9326	0.3818
BPE	0.3405	0.3208	0.6618	0.9820	0.2461	0	0.9298	0.8182	0.3723	0.6324	0.9643	0.5887	0.9138	0.4667	0.9322	0.3196
BMM	0.9494	0.9434	0.9333	1	0.9059	0.9298	0	0.7333	0.9268	0.8667	1	0.7714	0.8	0.9322	1	0.9318
BMC	0.7907	0.8230	0.7838	1	0.8044	0.8182	0.7333	0	0.8427	0.7838	0.8462	0.6191	0.7647	0.8485	0.6842	0.7895

BTC	0.5294	0.3556	0.7885	1	0.4591	0.3723	0.9268	0.8427	0	0.5769	0.975	0.7064	0.9048	0.3835	0.9535	0.5062
BTS	0.6832	0.6406	0.6539	1	0.6262	0.6324	0.8667	0.7838	0.5769	0	0.9286	0.6842	0.875	0.4568	0.8824	0.6182
BXE	0.9481	0.9808	0.9286	1	0.9759	0.9643	1	0.8462	0.975	0.9286	0	1	1	0.9649	1	0.9535
CB	0.6793	0.7143	0.7544	0.9375	0.4821	0.5887	0.7714	0.6191	0.7064	0.6842	1	0	0.8919	0.7674	0.8974	0.6870
MP	0.8519	0.9074	0.8125	1	0.8851	0.9138	0.8	0.7647	0.9048	0.875	1	0.8919	0	0.8689	0.7143	0.8667
MST	0.4923	0.4140	0.7284	1	0.4853	0.4667	0.9322	0.8485	0.3835	0.4568	0.9649	0.7674	0.8689	0	0.8730	0.4389
MX	0.8795	0.9273	0.7647	1	0.9326	0.9322	1	0.6842	0.9535	0.8824	1	0.8974	0.7143	0.8730	0	0.9130
PZ	0.3082	0.4194	0.6182	0.9765	0.3818	0.3196	0.9318	0.7895	0.5062	0.6182	0.9535	0.6870	0.8667	0.4389	0.9130	0

Anexo 8. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de anfibios entre las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia.

	Archipiélago madrense	Madrense	Madrense tropical	Madrense xerófila	Subtropical xerófila	Tropical
Archipiélago madrense	0	0.5417	0.4118	0.3704	0.7273	0.4828
Madrense	0.5417	0	0.2923	0.2647	0.7778	0.4722
Madrense tropical	0.4118	0.2923	0	0.2676	0.7436	0.28
Madrense xerófila	0.3704	0.2647	0.2676	0	0.8095	0.3333
Subtropical xerófila	0.7273	0.7778	0.7436	0.8095	0	0.7826
Tropical	0.4828	0.4722	0.28	0.3333	0.7826	0

Anexo 9. Matriz de distancia que representan los resultados del recambio de especies de reptiles entre las ecorregiones de la Sierra Madre Occidental. Se utilizó el índice de recambio de Whittaker como medida de distancia.

	Archipiélago madrense	Madrense	Madrense tropical	Madrense xerófila	Subtropical xerófila	Tropical
Archipiélago madrense	0	0.5946	0.5099	0.4318	0.8462	0.5808
Madrense	0.5946	0	0.2849	0.2647	0.6981	0.4256
Madrense tropical	0.5099	0.2849	0	0.3333	0.7431	0.3232
Madrense xerófila	0.4318	0.2647	0.3333	0	0.7463	0.4170
Subtropical xerófila	0.8462	0.6981	0.7431	0.7463	0	0.728
Tropical	0.5808	0.4256	0.3232	0.4170	0.728	0