



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**LA DIVERSIDAD BETA DE LA HERPETOFAUNA EN CINCO ÁREAS
NATURALES PROTEGIDAS DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO**

Tesis

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA

JOSE FRANCISCO RIVERA MARTINEZ

DIRECTOR: Dr. AURELIO RAMÍREZ BAUTISTA

CODIRECTOR: Dr. RACIEL CRUZ ELIZALDE

COMITÉ:

Dra. ANA PAOLA MARTÍNEZ FALCÓN

Dr. ARTURO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 28 de julio de 2025

Número de control: ICBI-D/1288/2025
Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Biología **Jose Francisco Rivera Martínez**, quien presenta el trabajo de titulación "**La diversidad beta de la herpetofauna en cinco áreas naturales protegidas del estado de Hidalgo, México**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Arturo Sánchez González

Secretario: Dr. Raciél Cruz Elizalde

Vocal: Dr. Aurelio Ramírez Bautista

Suplente: Dra. Ana Paola Martínez Falcón

Art. Sánchez González
Raciél Cruz Elizalde
Aurelio Ramírez Bautista
Ana Paola Martínez Falcón

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI

GVR/YCC



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergarar@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



uaeh.edu.mx

Dedicatoria

A los dos principales pilares de este trabajo: el Doctor Aurelio Ramírez Bautista y el Doctor Raciél Cruz Elizalde quienes me aceptaron como su alumno y posteriormente me guiaron en el proceso de escribir la tesis. No es fácil encontrar a personas que reúnan amabilidad y sabiduría como lo hacen ellos.

Y a mi familia por dejarme estar aquí.

Agradecimientos

Agradezco al Doctor Aurelio Ramírez Bautista porque, a pesar de todo, sigue confiando en mí y confío en que la primera versión de este trabajo pudiera concretar en esta tesis.

Agradezco al Doctor Raciél Cruz Elizalde por todas las correcciones y consejos que aportó a este trabajo y principalmente por la paciencia y el tiempo dedicado.

A la Doctora Cinthya Mendoza Almeralla, quien fue la primera persona en acercarse y apoyarme durante este proceso y, aunque no continuamos trabajando juntos, agradezco que me compartiera sus conocimientos y sobre todo, por ofrecerme su amistad.

A Israel Moreno Lara por apoyarme durante el desarrollo de los resultados. Gracias a sus conocimientos fue más fácil interpretar y analizar los datos, además, siempre tuvo la disposición de brindarme su ayuda.

A César Díaz Marín y Lizzeth Torres Hernández, a quienes pude conocer durante una salida a campo, y agradezco por sus observaciones, apoyarme con literatura y proporcionar imágenes de los anfibios y reptiles que usé durante la presentación del cartel de este trabajo.

Índice general

Resumen.....	IV
1.- Introducción.....	1
2.- Antecedentes.....	5
2.1.- Herpetofauna.....	5
2.1.- Diversidad beta y taxonómica.....	6
3.- Justificación.....	9
4.- Hipótesis.....	10
5.- Objetivos.....	11
5.1.- Objetivo general.....	11
5.2.- Objetivos específicos.....	11
6.- Área de estudio.....	12
6.1.- Parque Nacional El Chico.....	13
6.2.- Parque Nacional Los Mármoles.....	14
6.3.- Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.....	16
6.4.- La Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa.....	17
6.5.- Parque Nacional Tula.....	19
7.- Materiales y métodos.....	21
7.1.- Recolección de datos.....	21
7.2.- Análisis de datos.....	21
8.- Resultados.....	24
8.1.- Lista de especies.....	24
8.2.- Diversidad beta.....	27
8.3.- Partición de la diversidad beta.....	28
8.4.- Diversidad Taxonómica.....	32
9.- Discusión.....	36
9.1.- Composición de especies.....	36
9.2.- Diversidad beta.....	37
9.3.- Componente de Recambio y anidamiento.....	40
9.4.-Diversidad taxonómica.....	41
10.- Conclusión.....	45
Literatura citada.....	46
Material suplementario.....	65

Índice de Figuras

- Figura 1. Mapa del estado de Hidalgo con la ubicación de las cinco Áreas Naturales Protegidas Federales. RBBM=Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, CHRN=Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNM=Parque Nacional Los Mármoles, PNC=Parque Nacional El Chico y PNT=Parque Nacional Tula... 12**
- Figura 2. Mapa del Parque Nacional El Chico donde se indica con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación y los usos de suelo presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO..... 13**
- Figura 3. Mapa del Parque Nacional Los Mármoles donde se indica con colores las áreas que ocupan los**

diferentes tipos de vegetación y los usos de suelo presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.....	14
Figura 4. Mapa de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán donde se indica con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación, los usos de suelo y cuerpos de agua presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.....	16
Figura 5. Mapa de la Reserva de la Cuenca Hidrográfica Río Necaxa donde se indican con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación, los usos de suelo y cuerpos de agua presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.....	17
Figura 6. Mapa del Parque Nacional Tula donde se indican con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación y los usos de suelo presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.....	19
Figura 7. Dendrograma que muestra la disimilitud entre las cinco ANPs en cuanto a las especies de anfibios. Mientras mayor sea la distancia entre áreas, mayor será la diversidad beta (baja similitud, i.e., alta diversidad beta). CHRN: Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNC: Parque Nacional El Chico, PNM: Parque Nacional Los Mármoles, PNT: Parque Nacional Tula, y RBBM: Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán. La línea punteada representa el nivel de corte.....	27
Figura 8. Dendrograma que muestra la disimilitud entre las cinco ANPs en cuanto a las especies de reptiles. Mientras mayor sea la distancia entre áreas, mayor será la diversidad beta (baja similitud, i.e., alta diversidad beta). CHRN: Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNC: Parque Nacional El Chico, PNM: Parque Nacional Los Mármoles, PNT: Parque Nacional Tula, y RBBM: La Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán. La línea punteada representa el nivel de corte.....	28
Figura 9. Las gráficas apiladas recopilan los datos de las matrices de componente de anidamiento y recambio, de esta forma se visualiza qué porción corresponde a cada uno de estos componentes al hacer comparaciones entre las cinco Áreas Naturales Protegidas, así se evidencia el nivel de anidamiento (representado en color gris) y el de recambio (representado con el color verde) para los anfibios (A) y reptiles (B). En el eje Y se encuentra el valor de disimilitud de Jaccard, donde mientras más se acercan los valores a 1 significa mayor diversidad beta.....	31
Figura 10. Gráficas de embudo que presentan los valores de las medidas de promedio de la diversidad taxonómica ($\Delta+ = A$) y variación de la diversidad taxonómica ($\Lambda+ = B$) de los ensamblajes de anfibios de las cinco ANPs. El intervalo de confianza está representado por las líneas negras que forman un embudo y la línea punteada es el promedio regional; las ANPs que superan el promedio son las que obtuvieron los valores más altos de Delta y Lambda.....	33
Figura 11. Gráficas de embudo que presentan los valores de las medidas de promedio de la diversidad taxonómica ($\Delta+ = A$) y variación de la diversidad taxonómica ($\Lambda+ = B$) de los ensamblajes de reptiles de las cinco ANPs. El intervalo de confianza está representado por las líneas negras que forman un embudo y la línea punteada es el promedio regional; las ANPs que superan el promedio son las que obtuvieron los valores más altos de Delta y Lambda.....	35

Índice de Tablas

Tabla 1. Diversidad de especies de anfibios y reptiles en cada ANP. En las columnas de Especies, Anfibios y Reptiles se muestra el número que presenta cada área natural protegida.....	24
Tabla 2. Cantidad de géneros registrados para las familias de anfibios y reptiles dentro de las cinco ANPs. En las columnas están las familias de anfibios y reptiles y aun lado el número de géneros registrados en las ANPs.....	25
Tabla 3. Diversidad beta general (β jac), componente de recambio (β jtu) y componente de anidamiento (β jne) de los anfibios de las cinco ANPs, medido como disimilitud de Jaccard.....	29
Tabla 4. Diversidad beta general (β jac), componente de recambio (β jtu) y componente de anidamiento (β jne) de los reptiles de las cinco ANPs, medido como disimilitud de Jaccard.....	30
Tabla 5. Riqueza de especies, diversidad taxonómica (Delta+) y variación de la diversidad taxonómica (Lambda+) de los anfibios de las cinco ANPs.....	32
Tabla 6. Riqueza de especies, diversidad taxonómica (Delta+) y variación de la diversidad taxonómica (Lambda+) de los reptiles de las cinco ANPs.....	34
Tabla Suplementaria 1. Lista de las especies de anfibios y reptiles de las cinco Áreas Naturales protegidas de carácter federal del estado de Hidalgo (RBBM=Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, CHRN=Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNM=Parque Nacional Los Mármoles, PNC=Parque Nacional El Chico y PNT=Parque Nacional Tula). Además, se observan las categorías establecidas por la IUCN (LC= Preocupación Menor, EN= En Peligro, VU= Vulnerable, CR= Peligro Crítico, DD=Datos Insuficientes y NS= No está evaluado) y por la SEMARNAT (A=Amenazada, PR=Sujeta a protección especial, NS=No enlistado).....	66

Resumen

Debido a la gran diversidad herpetofaunística de México, las Áreas Naturales Protegidas (ANPs) son de alta importancia en el contexto de la conservación. En el estado de Hidalgo se han establecido cinco ANPs federales: Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (CHRN), Parque Nacional El Chico (PNC), Parque Nacional Los Mármoles (PNM), Parque Nacional Tula (PNT), y La Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán (RBBM), que reúnen a más de la mitad de especies de la herpetofauna del estado. En este estudio se determinó la diversidad beta de las cinco áreas, en el que se utilizaron registros de bases de datos, listas de especies y fuentes publicadas. La diversidad beta se calculó con el índice de disimilitud de Jaccard y se generaron, tanto para anfibios como para reptiles, un dendrograma; en el caso de la partición de la diversidad beta, se obtuvo una matriz que muestra el nivel de recambio, anidamiento y beta total. Se identificaron 118 especies, repartidas en 34 de anfibios y 84 de reptiles de las cuales *Sceloporus grammicus* y *Dryophytes plicatus* estuvieron presentes en las cinco ANPs al contrario de 63 especies cuya distribución se limitó a una sola ANP. Los resultados evidenciaron que las ANPs presentan altos valores de disimilitud cuando se las compara entre sí, siendo la única excepción la asociación PNM-RBBM que obtuvo el valor más bajo de diversidad beta. Se pudo mostrar la existencia de un patrón de recambio entre las cinco ANPs y, aunque se presenta en menor medida, el componente de anidamiento muestra valores altos en asociaciones de comunidades de reptiles en RBBM-PNC y comunidades de anfibios en RBBM-PNT. La riqueza de especies de anfibios y reptiles y el elevado grado de disimilitud de especies entre comunidades, es un reflejo de la alta heterogeneidad ambiental y diversidad de tipos de vegetación de Hidalgo y de características específicas en cada ANP como la disponibilidad de microhábitats. Por último, la diversidad taxonómica fue obtenida con las medidas de promedio de diversidad taxonómica (Delta+) y de la variación de la diversidad taxonómica (Lambda+). Los valores más altos de diversidad taxonómica no siempre correspondieron a las ANPs con mayor riqueza de especies, siendo el caso del ensamble de reptiles de CHRN. La diversidad de géneros y familias puede estar relacionada con las interacciones ecológicas, historia evolutiva, impacto de actividades humanas y la capacidad innata de los ambientes para representar diferentes taxones.

1.- Introducción

Hace poco más de 150 años, en 1872 fue creada la primera Área Natural Protegida (ANP) a nivel mundial, el Parque Nacional Yellowstone de Estados Unidos (Leal et al., 2014). Siguiendo el ejemplo, varios países comenzaron a decretar ANPs en sus territorios, y para la década de los 70s e inicios de los 90s, las Áreas Naturales Protegidas ya habían ocupado el 6% de la superficie terrestre, y en la actualidad, las más de 100,000 ANPs existentes cubren un 12% del planeta (Leal et al., 2014). Progresivamente, las Áreas Naturales Protegidas a nivel global, han adoptado diversas categorías que definen sus objetivos y preocupaciones demostrando el por qué son consideradas, tanto a escala local, regional y mundial, como mecanismos importantes para la conservación y preservación de la biodiversidad frente a la degradación y transformación de los hábitats por las actividades humanas (Bahia-de Aguiar et al., 2013).

Al inicio, las primeras ANPs fueron decretadas para proteger la belleza escénica que contienen (paisaje); sin embargo, ahora el objetivo está centrado en la conservación de las especies de todos los ecosistemas (Galicia et al., 2018). De acuerdo con la definición de la IUCN de 1990, las ANPs, son todas las superficies, tanto terrestres, acuáticas y marinas que han sido establecidas para proteger y mantener la diversidad biológica, al igual que los recursos naturales y culturales, y según los objetivos que busquen cumplir, se integran en un sistema de categorías de manejo (Leal et al., 2014). Las seis categorías de manejo establecidas por la IUCN en 1994 comprenden Reserva Natural Estricta, Área Silvestre, Parque Nacional, Monumento Natural, Área de Manejo de Hábitat/Especies, Paisaje Terrestre/Marino Protegido y Área Protegida de Recursos Manejados (Andrade y Reyna, 2003; IUCN, 1994).

En México, las ANPs surgen a finales del Siglo XIX con el establecimiento del Desierto de los Leones como Parque Nacional, bajo este decreto se buscó proteger 14 manantiales que eran fuente de abastecimiento de agua (González-Ocampo et al., 2014). Años después, en el sexenio de Lázaro Cárdenas, se crea el Sistema Nacional de Reservas Forestales y de Parques Nacionales, administrado por la Sección de Reservas y Parques Nacionales del Departamento Autónomo Forestal de Caza y Pesca, más tarde se crea la SEDUE, e inicia un proceso donde se establecen más categorías de ANPs (González-Ocampo et al., 2014; Esparza-Hernández, 2012). Actualmente, la CONANP reporta que el país cuenta con 226 ANPs de carácter federal agrupadas en seis categorías restrictivas: 48 Reservas de la Biosfera, 78 Parques Nacionales, 54 Áreas de Protección de Flora y Fauna, 13 Áreas de Protección de Recursos Naturales, 5 Monumentos Naturales, y 28 Santuarios (CONANP 2023).

En el estado de Hidalgo, se han establecido cinco ANPs federales que abarcan una extensión de 122,031.42 ha (14% de la superficie potencial de protección), específicamente cuenta con tres parques nacionales: Los Mármoles, Tula y El Chico, una reserva, la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, y un área de protección de recursos naturales, la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (CONANP 2023; COEDE, 2004). Esto demuestra los esfuerzos de conservación del estado, cuyos inicios se remontan a 1898, con el decreto del Parque Nacional El Chico (PNC) como Bosque Nacional bajo la orden de Porfirio Díaz, siendo una iniciativa para detener la devastación de los bosques y recursos por la actividad minera (CONANP, 2005). A pesar de que el decreto de ANPs en México es antiguo, y se tiene un alto número de éstas, el PNC fue la primera ANP en funcionar dentro del país, incluso antes del Desierto de los Leones en 1917 (CONANP, 2005).

Las ANPs han sido sitios escasamente atendidos, por lo que es necesario que se realicen inventarios biológicos para conocer la diversidad que albergan y así mejorar su manejo. Los análisis de diversidad que permitan cuantificar la biodiversidad, son herramientas que respaldan la implementación de acciones de protección de los ecosistemas, por ejemplo, los estudios de diversidad alfa (riqueza de especies), son buenos métodos que a través de los resultados muestran los sitios de importancia para la conservación, así también los componentes gamma y beta, han proporcionado sostén para planes de manejo y conservación en escalas y atributos más complejos como en la diversidad de las comunidades de una región (Moreno et al., 2011). Esta tendencia de usar diferentes componentes de las comunidades para diseñar acciones de conservación continuó con el auge de la diversidad taxonómica, filogenética y funcional (Arriaga-Ramírez, 2023).

La diversidad alfa o diversidad dentro del hábitat es la riqueza de especies cuya unidad es el número de especies presentes dentro de una localidad, mientras que la diversidad beta o diversidad entre hábitats hace referencia al cambio de composición de especies entre comunidades y cuyos valores muestran tasas de similitud o de reemplazo, es decir que la diversidad beta mide las diferencias entre dos comunidades ubicadas en puntos diferentes; por ejemplo cuando dos comunidades comparten varias especies en sus lista de especies el valor de diversidad beta es bajo pero si el número de especies que comparten es poco o nulo la diversidad beta es alta (Alcolado, 1998; Baselga y Rodríguez, 2019; Halffter et al., 2005). Considerando lo anterior, la diversidad beta fue definida de acuerdo con Whittaker (1960) como la extensión del cambio en la composición de especies de la comunidad, o el grado de diferenciación de la comunidad, en relación con un gradiente ambiental complejo, o un conjunto de ambientes (dos o más). Sin embargo, el término ha sido ambiguo, por lo que, distintos

autores han generado diferentes conceptos y métodos para cuantificar la diversidad beta, entre ellos Baselga (2010), que en la década del 2010 contribuyó a la comprensión de la diversidad beta (Calderón-Patrón et al., 2012). Según Baselga y Rodríguez (2019), la diversidad beta es la relación entre alfa y gamma, por tanto, refleja el cambio en la composición de las comunidades biológicas. La partición de la diversidad beta indica de qué manera son diferentes las comunidades biológicas y, comprende el factor de recambio y anidamiento, siendo la suma de ambos igual a beta (Baselga, 2010). En comunidades biológicas, es el recambio que representa una sustitución de especies a causa de arreglos o restricciones espaciales e históricas, y anidamiento significa una pérdida de especies de unos sitios a otros, por lo tanto, hay sitios de comunidades menos diversas siendo subconjuntos de las más diversas sin que estos tengan especies únicas y se atribuye a la fragmentación del hábitat, tasas de extinción y colonización, aislamiento espacial y muestreo pasivo (Baselga y Rodríguez, 2019; Calderón-Patrón et al., 2012).

La diversidad taxonómica es definida como la media y la varianza del número de especies por género, y de especies por familia (Neeson, et al., 2013), en otras palabras hace referencia al número de categorías supra específicas (géneros, familias y órdenes) a los que pertenecen las especies que conforman una comunidad, por lo tanto, se le considera una medida que muestra el grado de relación de las especies de un ensamble siendo las comunidades con altos valores de diversidad taxonómica aquellas que presentan un gran número de géneros y estos a su vez pertenecen a un gran número de familias, caso contrario a las comunidades con relaciones taxonómicas cercanas ya que están conformadas por especies agrupadas en el mismo género y familia (García-de Jesús et al., 2016; Gonzáles y Aponte, 2022; Arriaga-Ramírez, 2023). Clarke y Warwick (1995, 1998) ayudaron en el desarrollo y comprensión de la diversidad o distintividad taxonómica, al generar medidas para calcular su valor: Delta y Lambda. El promedio de diversidad taxonómica ($\Delta+$) mide la distancia taxonómica promedio de las especies por lo que muestra bajas o altas relaciones taxonómicas, así que cuando arroja altos valores indica que hay un gran número de géneros y familias en un ensamble (Warwick y Clarke, 1995). La variación de la diversidad taxonómica ($\Lambda+$) que mide la desigualdad o uniformidad del árbol taxonómico de un ensamble, indica si existen taxones sub o sobre representados dentro de un comunidad (Clarke y Warwick, 1998).

El sistema actual de las ANPs en México es considerado insuficiente por algunos autores, debido a que no ha logrado conservar en niveles adecuados a varios grupos biológicos, principalmente porque un alto porcentaje de la biodiversidad queda fuera de los límites de las ANPs, lo que genera un

problema para las zonas donde el grado de diversidad beta es un componente significativo (Vázquez y Valenzuela-Galván, 2009; Halffter, 2011). Por lo tanto, es importante implementar estrategias integrales que incluyan diferentes aspectos de la diversidad biológica, como el componente beta y taxonómico que han demostrado tener relevancia en la conservación de ANPs (Rodríguez et al., 2003; Arriaga-Ramírez, 2023), sobre todo en países como México, donde la diversidad beta es alta (Halffter et al., 2005).

En la conservación, la diversidad beta y taxonómica proporcionan información básica para desarrollar estrategias de conservación y planes de manejo de los ecosistemas debido a que ayudan a comprender, cuantificar y valorar la biodiversidad, y a su vez, entender el funcionamiento de los ecosistemas (Cruz Oropeza, 2021; Calderón-Patrón et al., 2012; Arriaga-Ramírez, 2023). Por ejemplo, la partición de la diversidad beta ayuda a establecer el diseño de las ANPs, puesto que en sistemas naturales donde predomine el anidamiento se debe elegir una única área de gran tamaño que albergará el mayor número de especies posibles, mientras que donde hay patrones de reemplazamiento, se usa complementariedad es decir varias áreas de menor tamaño que estén conectadas ya que la riqueza local no es suficiente (Baselga y Rodríguez, 2019; Rodríguez et al., 2003; List et al., 2017). En el caso de la diversidad taxonómica se considera conservar aquellos sitios con el mayor número de taxones supra específicos y que no muestren sobre o subrepresentación (González y Aponte, 2022; Cruz-Elizalde, 2013).

Teniendo en cuenta la importancia de determinar el valor de diferentes componentes de la diversidad y su posterior aplicación en la conservación, este trabajo pretende determinar la riqueza de especies y evaluar la diversidad beta y taxonómica de los anfibios y reptiles de cinco ANPs federales de Hidalgo: Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (CHRN), Parque Nacional El Chico (PNC), Parque Nacional Los Mármoles (PNM), Parque Nacional Tula (PNT), y La Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán (RBBM).

2.- Antecedentes

2.1.- Herpetofauna

En México, Dugès publica en 1896 *Reptiles y batracios de los Estados Unidos Mexicanos*, siendo el primer listado de herpetofauna del país, en este trabajo se describen 182 reptiles y 37 anfibios (Hernández-Gómez, 2015). 50 años después, Smith y Taylor (1945, 1948, 1950) publicaron la segunda lista de herpetofauna del país, que incluía áreas de distribución, sinonimias y guías de identificación (Hernández-Gómez, 2015). Este trabajo fue dividido en tres volúmenes: anfibios, serpientes y reptiles (Smith y Taylor, 1950; Hernández-Gómez, 2015). A raíz de dichas publicaciones, el interés por estudiar la herpetofauna aumentó, lo que se vio reflejado en un incremento del 157% en la producción de literatura en comparación con lo registrado en décadas anteriores (Hernández-Gómez, 2015; Flores-Villela, 1993a).

Históricamente, los investigadores han creado listados y guías de especies para conocer la diversidad de anfibios y reptiles en México, entre ellos están los trabajos de Álvarez-del Toro (1960, 1974) que publicó la primera edición de *Los reptiles de Chiapas y Los Crocodylia de México*, después Smith y Smith (1976) publican un listado de herpetofauna de México: *Synopsis of the Herpetofauna of Mexico*, y Flores-Villela (1993b) publicó una lista de anfibios y reptiles de México, que incluye actualizaciones taxonómicas. Recientemente, Ramírez-Bautista et al. (2023) publicaron una base de datos con 1,421 especies de herpetozoos en México y Herpetología Mexicana mantiene actualizado el inventario de especies de México, en el cual se registran 1,420 especies, casi cinco veces más que lo registrado por primera vez por Smith y Taylor en 1950 ((Balderas-Valdivia, y González-Hernández, 2024).

En el estado de Hidalgo Ramírez-Bautista et al. (2010, 2014) han publicado listados que reúnen a todas las especies de herpetofauna dentro del estado, además, algunos autores han generado listas para determinadas localidades de Hidalgo (Badillo-Saldaña et al., 2015; Flores-Guzmán, 2010; Fernández-Badillo y Goyenechea-Mayer, 2010; Fernández-Badillo et al., 2016; Huitzil-Mendoza, 2007; Lemos-Espinal y Smith, 2015). Otros investigadores se han interesado en las ANPs para realizar inventarios de especies en Hidalgo, esto se puede comprobar en los trabajos de Camarillo-Rangel y Casas-Andreu (2001), Ramírez-Pérez (2008), Flores-Hernández (2019), Vite-Silva et al. (2010), Valdez-Rentería et al. (2018), Figueroa-Castillo (2016), y Tenorio-Mendoza et al. (2019).

2.1.- Diversidad beta y taxonómica

Las primeras investigaciones importantes sobre la diversidad beta de vertebrados en México fueron lideradas por los mastozoólogos durante los años 90s, donde los resultados revelaron que, la diversidad beta mostraba valores superiores a la diversidad alfa, y aunque la diversidad alfa y la diversidad beta no se pueden comparar, si es posible afirmar que la megadiversidad del país se atribuye más al recambio de especies entre sitios que a la riqueza de especies por localidades (Halffter et al., 2005; Rodríguez, 2009; Rodríguez et al., 2003); los principales ejemplos que muestran estas comparaciones, son los trabajos de Arita (1993), y Arita y León-Paniagua (1993).

Los mamíferos se han mantenido como un grupo de interés para diferentes tipos de investigaciones en varias partes del país con el fin de comprender el componente beta (Rodríguez et al., 2003; Briones-Salas et al., 2015; Monroy-García, 2009; Christen, 2008; Arroyo-Chacón et al., 2013; Cruz-Bazán et al., 2017; Ruiz-Gutiérrez et al., 2020; Del Río-García et al., 2014; Alfaro-Espinosa, 2006; Castaño y Corrales, 2010).

Del mismo modo, se han generado descripciones para otros grupos biológicos. Por ejemplo, Gutiérrez-Yurrita et al. (2013), estimó la diversidad beta en grupos de peces de subcuencas del río Moctezuma en el centro de México, Almazán-Núñez et al. (2020), analizaron la diversidad beta de la avifauna en bosques tropicales húmedos y subhúmedos ubicados en la sierra de Atoyac, un área de importancia para la conservación. De manera similar Rivera-Rivera et al. (2012), estudiaron el valor del recambio de aves rapaces nocturnas en la ANP Reserva de la Biosfera Selva El Ocote de Chiapas. Otras aportaciones destacadas son las de Halffter et al. (2003, 2008), quienes han definido la diversidad beta de escarabajos peloteros en bosques y pastizales ganaderos de Chiapas, así como también en paisajes tropicales de Veracruz con el fin de examinar la influencia del valor beta en la diversidad gamma (Arellano y Halffter, 2003; Navarrete y Halffter, 2008). Después de que Baselga (2010), plantea partir a la diversidad beta en dos componentes (de recambio y de anidamiento) para poder comprender mejor la diferencia entre comunidades, han surgido estudios en México que consideran estas ideas, como el de Ramírez-Hernández et al. (2022), quienes estudian a los escarabajos tigre de tres regiones y 14 provincias biogeográficas de México, y concluyen que la función del anidamiento es superior a la del recambio. Por otro lado, Gelviz-Gelvez y Pavón-Hernández (2013), también estudian la partición de la diversidad beta en especies arbustivas de ambientes áridos del centro de México, en este caso el recambio mostró mayor valor.

Para la herpetofauna, algunos autores han realizado estudios de diversidad de anfibios y reptiles en varios sitios con complejidad biogeográfica. En el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, Martín-Regalado et al. (2011), compararon los microhabitats y tipos de vegetación en el cerro Guiengola y obtuvieron disimilitudes altas, mientras que Rioja-Paradela et al. (2013), estudiaron la vegetación en una laguna durante diferentes temporadas, mostrando como resultado valores tanto altos como bajos. En otro sitio igual de complejo, la región biogeográfica Faja Volcánica Transmexicana en Michoacán, Torres-López et al. (2022), registraron una alta disimilitud como causa del elevado número de especies exclusivas en cada tipo de vegetación. Otro ejemplo es el de García et al. (2007) que registraron patrones de diversidad beta en comunidades de herpetofauna de tierras bajas y valles cercanos al pacifico.

Gran parte de los estudios de diversidad beta de la herpetofauna han estado centrados en valorar y ubicar áreas de conservación, por ejemplo, en el centro del país, Cruz-Elizalde et al. (2018), calcularon la diversidad beta de ANPs del Valle de México, y Aguilar-Miguel et al. (2009), identificaron áreas con mayor valor de diversidad alfa y beta con el fin de determinar áreas de importancia del Estado de México. En el norte, Pineda-López y Colín-Martínez (2023), estiman el recambio dentro de zonas alteradas a diferentes intensidades por la actividad humana en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, y en el sur, García-Mello (2018), a través de la diversidad beta de comunidades de reptiles, estudia la disminución de la calidad de los hábitats por el impacto de la extracción de materiales aluviales en Oaxaca.

En el estado de Hidalgo, la diversidad beta en grupos como anfibios y reptiles ha sido menos estudiada que la diversidad alfa, puesto que los estudios de riqueza de especies se han realizado tanto dentro de ANPs (Ramírez-Pérez, 2008; Camarillo-Rangel y Casas-Andreu, 2001; Flores-Hernández, 2019; Vite-Silva et al., 2010; Valdez-Rentería et al., 2018; Figueroa-Castillo, 2016; Tenorio-Mendoza et al., 2019) como fuera de éstas (Flores-Guzmán, 2010; Fernández-Badillo y Goyenechea-Mayer, 2010; Fernández-Badillo et al., 2016; Lemos-Espinal y Smith, 2015), en cambio los trabajos donde se evalúa el componente beta son escasos y se han centrado en comparar tipos de vegetación o áreas perturbadas (Huitzil-Mendoza, 2007; Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012; Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2013; Magno-Benítez, 2013).

En el caso de la diversidad taxonómica, Clarke y Warwick (1995, 1998), introdujeron las medidas del promedio de diversidad taxonómica (Delta+) y de la variación de la diversidad taxonómica (Lambda+), y durante los años siguientes, las usaron para describir distancias taxonómicas en ensamblajes marinos (Clarke y Warwick, 1995; Clarke y Warwick, 2001).

En México la diversidad taxonómica ha sido evaluada en comunidades de distintos grupos taxonómicos. En el caso de la fauna marina se han estudiado comunidades de peces e invertebrados pertenecientes a arrecifes, bosques de macroalgas y ríos, algunos trabajos son los de Herrera-Valdivia et al. (2016), Palacios-Salgado (2011), González et al. (2013), López-Pérez et al. (2014), Sgarlatta (2015), Barjau-González et al. (2016), Gómez, et al. (2021), y Cordero-Martínez et al. (2022). En el caso de la mastofauna, Briones-Salas et al. (2015), Ruiz-Gutiérrez et al. (2020), y Mezhua-Velázquez et al. (2022) han estudiado las comunidades de mamíferos medianos y grandes del sur de México, y en el grupo de las aves, por mencionar algunos trabajos, García-Morales et al. (2022) calcularon la diversidad taxonómica de una comunidad de aves acuáticas y Partida-Lara et al. (2018) correlacionan este atributo con la diversidad funcional en un ensamble de colibríes del sur del país.

Para la herpetofauna, algunos autores como Peña-Joya et al. (2018), Cruz-Elizalde et al. (2016; 2022a; 2022b), Hernández-Salinas et al. (2023), y Maciel Mata (2013) calcularon la diversidad taxonómica en comunidades de anfibios y reptiles de diferentes estados y tipos de vegetación de México. Para esta tesis las evaluaciones de diversidad taxonómica dentro de ANPs son de mayor importancia, como los trabajos realizados por Torres (2022) y Cruz-Elizalde et al. (2015, 2023), sobre todo estas dos últimas publicaciones ya que describen las mismas ANPs que en este trabajo: Parque Nacional Los Mármoles, Parque Nacional El Chico y la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.

3.- Justificación

Actualmente las tasas de extinción de varias especies son el reflejo de la pérdida de la biodiversidad que ha sido causada por actividades humanas (Escudero y Albert, 2002). Este proceso se registra desde el inicio de la civilización y debido a su naturaleza, ha sido nombrado la sexta extinción masiva, que difiere de las anteriores por la velocidad en la que está ocurriendo (Ceballos y Ortega-Baes, 2011). A pesar de que todos los taxones han sufrido pérdidas, la herpetofauna ha sido un caso particular debido al grado de afectación, tan sólo los anfibios, son reconocidos como el grupo animal con mayor porcentaje de especies en peligro crítico de extinción (Ceballos y Ortega-Baes, 2011). Para datos más específicos, la IUCN reporta un valor de 42,100 especies en peligro de extinción, el 41% de especies de anfibios están amenazadas y un 21% de reptiles, que es menor frente al 27% para los mamíferos o el 37% de tiburones y rayas, pero que de igual manera no deja de ser alarmante (IUCN, 2024).

Las ANPs representan una oportunidad para conservar la biodiversidad, ya que funcionan como refugios naturales para muchas especies importantes (Vázquez-Torres et al., 2010). El problema es que en un principio los sitios de importancia para la conservación fueron decretados por su belleza escénica y no por una evaluación de su importancia ecológica y funcional en el ecosistema, y después, cuando se comenzaron a hacer estos estudios (importancia en la conservación), eran ubicadas en “hotspots” de alta diversidad que fueron seleccionados a través de un solo aspecto de la diversidad, como la riqueza de especies o los endemismos (Ceballos y Ortega-Baes, 2011), desestimando estrategias integrales e ignorando los análisis de diversidad beta y taxonómica que han funcionado para la comprensión y valoración de la biodiversidad (Rodríguez, 2003; Calderón-Patrón et al., 2012; Arriaga-Ramírez, 2023).

En México, un país con alta diversidad beta, es todavía más importante la implementación de estrategias derivadas y la creación de un sistema de áreas naturales con un enfoque de diversidad beta (Halffter et al., 2005). En el estado de Hidalgo, la situación se complica debido a que no se consideró a la diversidad beta como una herramienta de análisis para el diseño de las ANPs, además de que los estudios de diversidad beta considerando la herpetofauna del estado, se han centrado en escalas locales (dentro de localidades y tipos de vegetación; Huitzil-Mendoza, 2007; Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2013; Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012) y no en una evaluación regional que contemple diferentes componentes de la diversidad dentro de las ANPs. Por lo que, este estudio busca proporcionar información sobre diversidad beta y taxonómica de la herpetofauna en las principales ANPs de Hidalgo, México.

4.- Hipótesis

El estado de Hidalgo se encuentra en la zona de transición de la región neártica y neotropical, registrando el solapamiento de dos biotas y una variedad de ecosistemas que incluyen bosque, selva, matorral xerófilo y pastizal natural, lo que implica que existe un alto grado de diversidad beta, esto se evidencia en las comparaciones entre localidades del estado, donde se observa una alta diferencia en la composición de especies (Koleff et al., 2008; Morrone, 2005; Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012; Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2013; Rodríguez et al., 2003). Baselga y Rodríguez (2019), han propuesto que la diversidad beta mantienen una relación positiva con los trópicos, además se observa que en el estado de Hidalgo hay más recambio de especies que anidamiento (Calderón-Patrón et al., 2012; Gelviz-Gelvez y Pavón, 2013); en anfibios y reptiles es poco probable encontrar valores altos de anidamiento debido a que factores como las características morfológicas, limitan en gran medida su capacidad de dispersión (Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012).

Para la herpetofauna del estado de Hidalgo, se espera encontrar en las áreas naturales protegidas, especialmente aquellas que presentan diversidad de tipos de vegetación, como CHRN y RBBM, un alto número de especies y una alta diversidad beta con mayor recambio que anidamiento, asociado a la capacidad de dispersión de los anfibios y reptiles, la heterogeneidad ambiental y el carácter tropical de la zona proporcionado por la región neotropical. En el caso de la diversidad taxonómica se espera que los valores más altos correspondan a las ANPs con baja riqueza de especies (PNT y PNC), ya que se ha registrado que los ensambles conformados por menos de 30 especies son los que albergan mayor número de taxones poco relacionados (Cruz-Elizalde, 2013; Fritz y Rahbek, 2012).

5.- Objetivos

5.1.- Objetivo general

- Determinar la diversidad beta y el grado de anidamiento y recambio de cinco comunidades de herpetofauna pertenecientes a las Áreas Naturales Protegidas de carácter federal del estado de Hidalgo, México, así como caracterizar la diversidad taxonómica de cada una de las áreas.

5.2.- Objetivos específicos

- Elaborar la lista de especies de anfibios y reptiles que se distribuyen en las cinco ANPs federales del estado de Hidalgo, a partir de la revisión de literatura publicada y bases de datos.
- Estimar y analizar la diversidad beta de los anfibios y reptiles presentes en las cinco ANPs federales del estado de Hidalgo, así como obtener la partición de la diversidad beta para comparar el grado de reemplazo y anidamiento entre las mismas.
- Comparar la diversidad taxonómica de los anfibios y reptiles de las cinco ANPs federales del estado de Hidalgo y estimar el porcentaje de representación de los taxones dentro de las áreas.

6.- Área de estudio

Hidalgo cuenta con cinco Áreas Naturales Protegidas de carácter federal (Figura 1) que cubren 122,031.42 ha, lo que se traduce como un 14% de la superficie potencial de protección; este sistema comprende tres parques nacionales: Los Mármoles (PNM), Tula (PNT), El Chico (PNC), una reserva de la biósfera de la Barranca de Metztitlán (RBBM), y un área de protección de recursos naturales de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (CHRN) (Consejo Estatal de Ecología, 2004; CONANP, 2024). Entre las áreas CHRN, PNC, RBBM y PNM se puede formar una recta imaginaria en donde CHRN-PNC están separadas por 56.54 km, CHRN-RBBM por 34.37 km, CHRN-PNM por 131.77 km, RBBM-PNM por 26.64 km, y RBBM-PNC por 14.78 km. PNT, el área más distante, se encuentra alejada por 62.45 km de PNC, a 72.04 km de RBBM, a 80.84 km de PNM, y a 120.69 km de CHRN (Google, 2024).

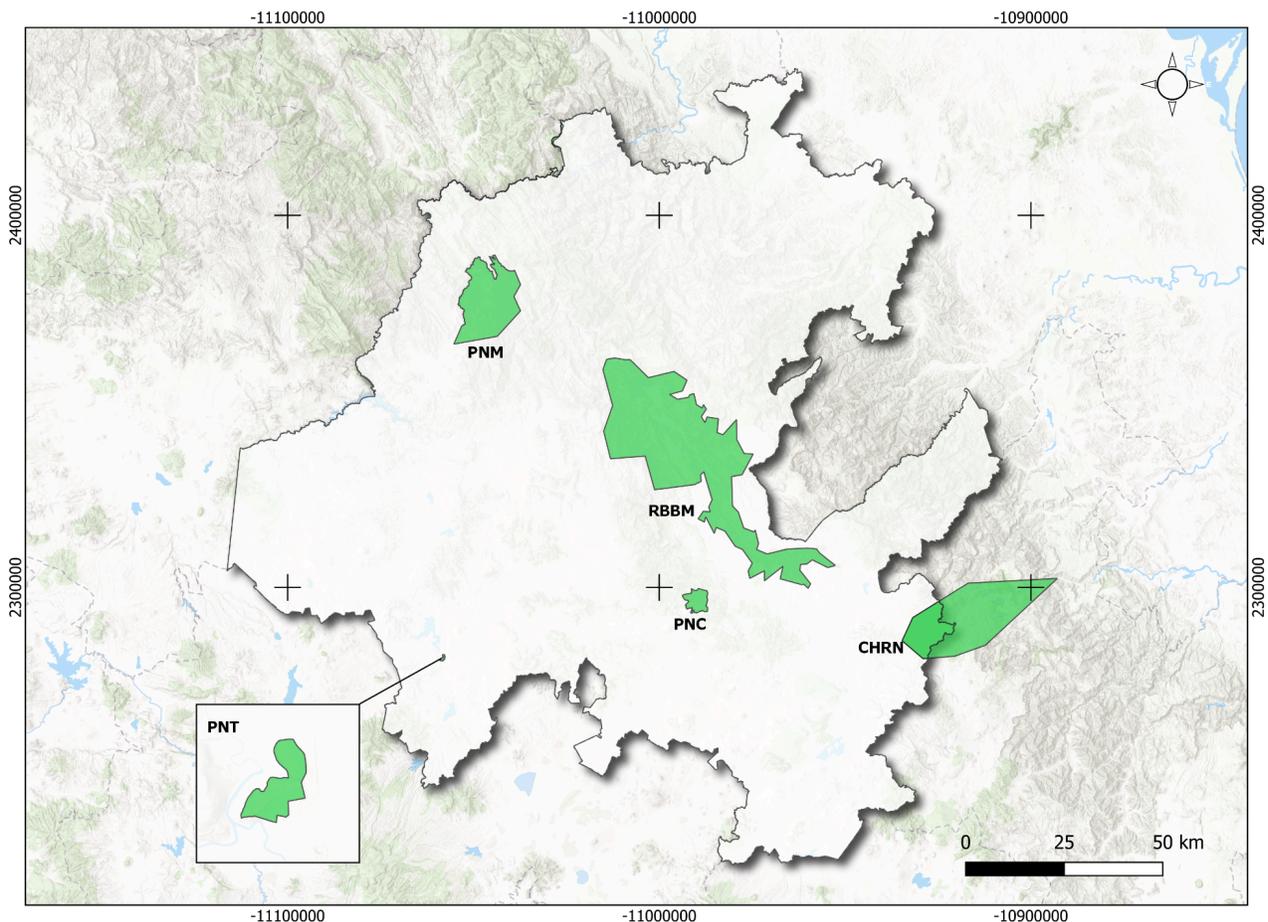


Figura 1. Mapa del estado de Hidalgo con la ubicación de las cinco Áreas Naturales Protegidas Federales. RBBM=Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, CHRN=Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNM=Parque Nacional Los Mármoles, PNC=Parque Nacional El Chico y PNT=Parque Nacional Tula.

6.1.- Parque Nacional El Chico

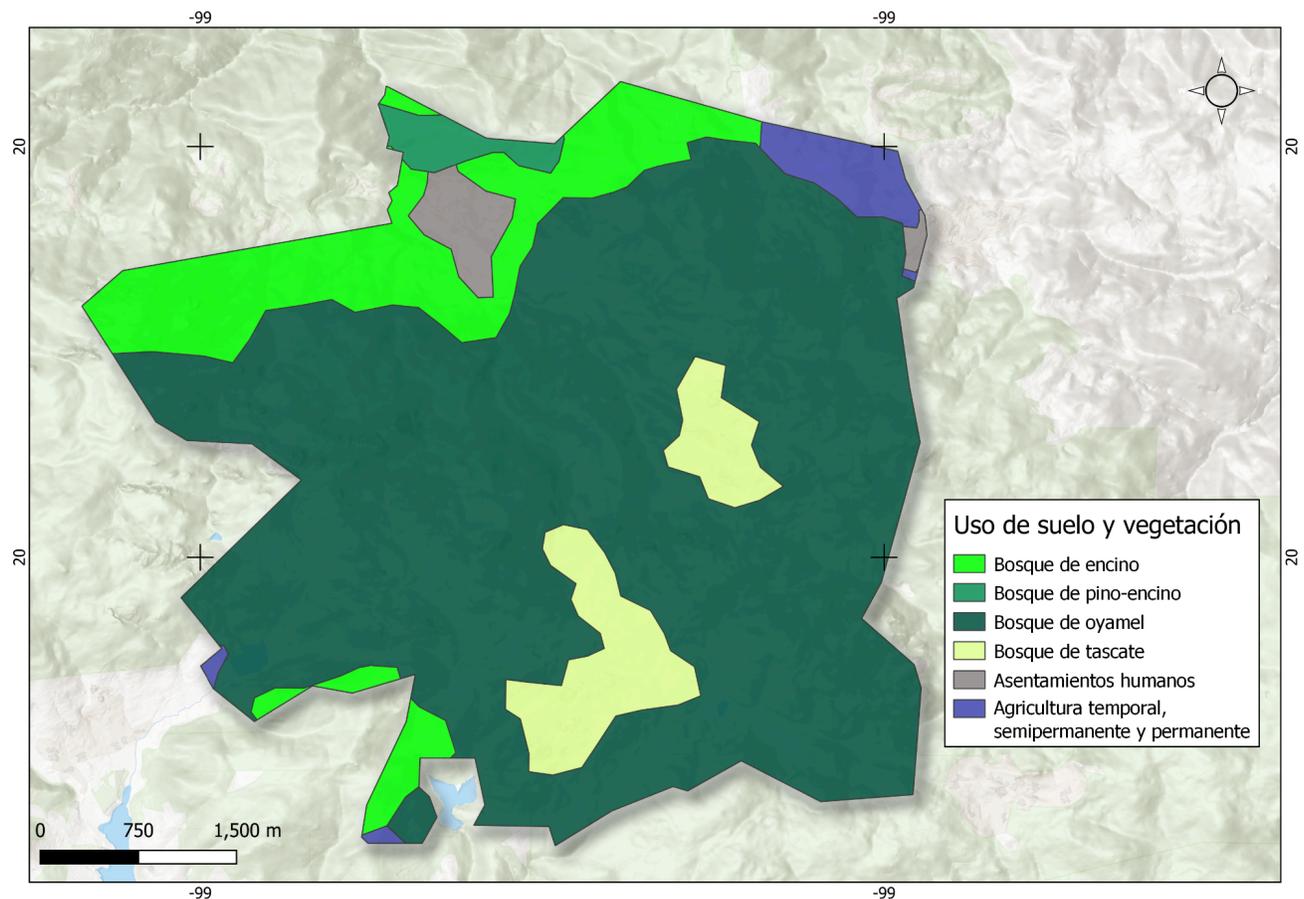


Figura 2. Mapa del Parque Nacional El Chico donde se indica con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación y los usos de suelo presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.

El Parque Nacional El Chico (PNC) (Figura 2) situado en la Sierra Madre Oriental (Morrone et al., 2017), está geográficamente ubicado entre los 20°10'10" y los 20°13'25" de latitud Norte y los 98°41'50" y los 98°46'02" de longitud oeste, ocupando una extensión aproximada de 2,739 ha, distribuidas en los municipios de Mineral del Chico, Pachuca y Mineral del Monte. La altitud va desde los 2,350 hasta los 3,090 m, generando como consecuencia un clima templado-húmedo con inviernos fríos, la temperatura media anual va de los 10° a los 14°C, con mínimas que llegan hasta -9°C, mientras que la precipitación media anual es de 1,567.9 mm (CONANP, 2005; Hernández-Flores y Rojas-Martínez, 2010).

El PNC está compuesto de diferentes tipos de vegetación que varían en el porcentaje que ocupan, aunque prácticamente todo el parque está inmerso en una cobertura forestal. El bosque de oyamel ocupa un 62.9% del parque por lo que es el tipo de vegetación que mayor superficie cubre,

seguido del bosque de encino-oyamel con 10.55%, el bosque de táscate con 4.67%, el bosque de encino con 3.97%, el bosque de oyamel-encino con 3.93%, el bosque de pino-encino con 2.25%, el bosque de pino con 1.87% y el bosque de pino-encino 0.87%; el 2.18% restante está cubierto por el pastizal tanto nativo como inducido, y es donde ocurren actividades recreativas, pisoteo por automóviles y pastoreo de ganado (CONANP, 2005; Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 2005).

6.2.- Parque Nacional Los Mármoles

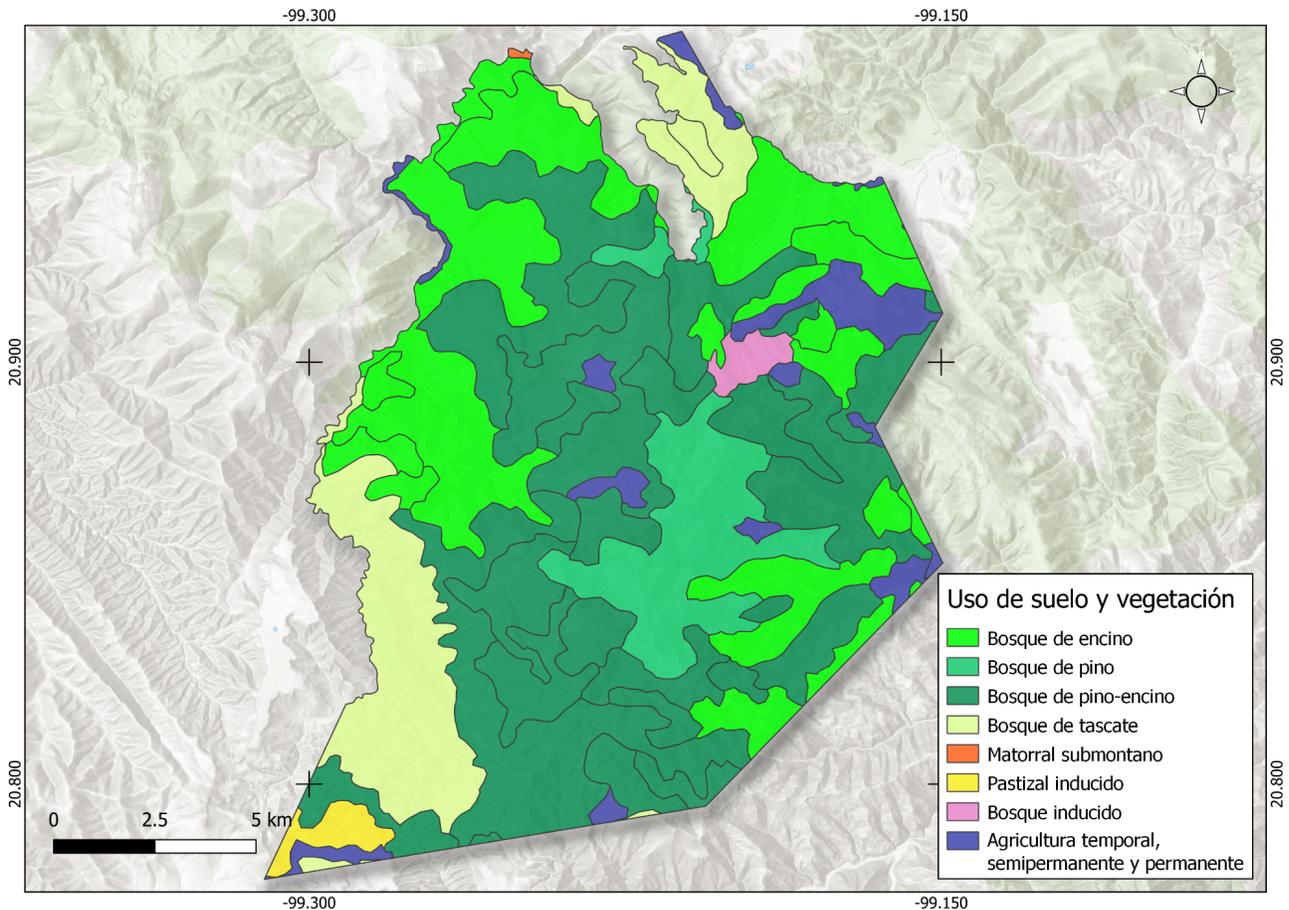


Figura 3. Mapa del Parque Nacional Los Mármoles donde se indica con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación y los usos de suelo presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.

El Parque Nacional Los Mármoles (PNM) (Figura 3) ubicado en las provincias biogeográficas Sierra Madre Oriental y el Desierto Chihuahuense, se ubica entre $20^{\circ}45'39''$ y $20^{\circ}58'22''$ de latitud norte y entre $99^{\circ}08'57''$ y $99^{\circ}18'39''$ de longitud oeste, y se extiende en una superficie de 23,150 ha sobre los municipios de Jacala de Ledezma, Nicolas Flores, Pacula y Zimapán (Flores-Hernández, 2019; Morrone et al., 2017; Randell-Badillo, 2008; Larios-Lozano et al., 2017). Se eleva en un rango que va

de 870 a 3,000 msnm y cuenta con dos tipos de clima, uno templado subhúmedo que abarca casi todo el parque y otro semicálido subhúmedo concentrado al norte, ambos con lluvias en verano que alcanzan 1,088 mm en regiones húmedas y 374 mm regiones secas (Flores-Hernández, 2019; Larios-Lozano et al., 2017; Álvarez-Zúñiga et al., 2010).

Los Mármoles está catalogado como una zona compleja topográficamente en donde el tipo de suelo más el clima, originan los siete tipos vegetación registrados: bosques de encino, de pino-encino, de pino, de tascate, matorral xerófilo y pastizal inducido (Flores-Hernández, 2019; Randell-Badillo, 2008; Larios-Lozano et al., 2017). La cobertura de bosque de encino se conforma por cuatro especies que se extienden en 20% del territorio de la ANP persistiendo como la vegetación más común mientras que las asociaciones de pino-encino son las coberturas más complejas porque se conforman de hasta tres especies forestales (Larios-Lozano et al., 2017; Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 2005).

6.3.- Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán

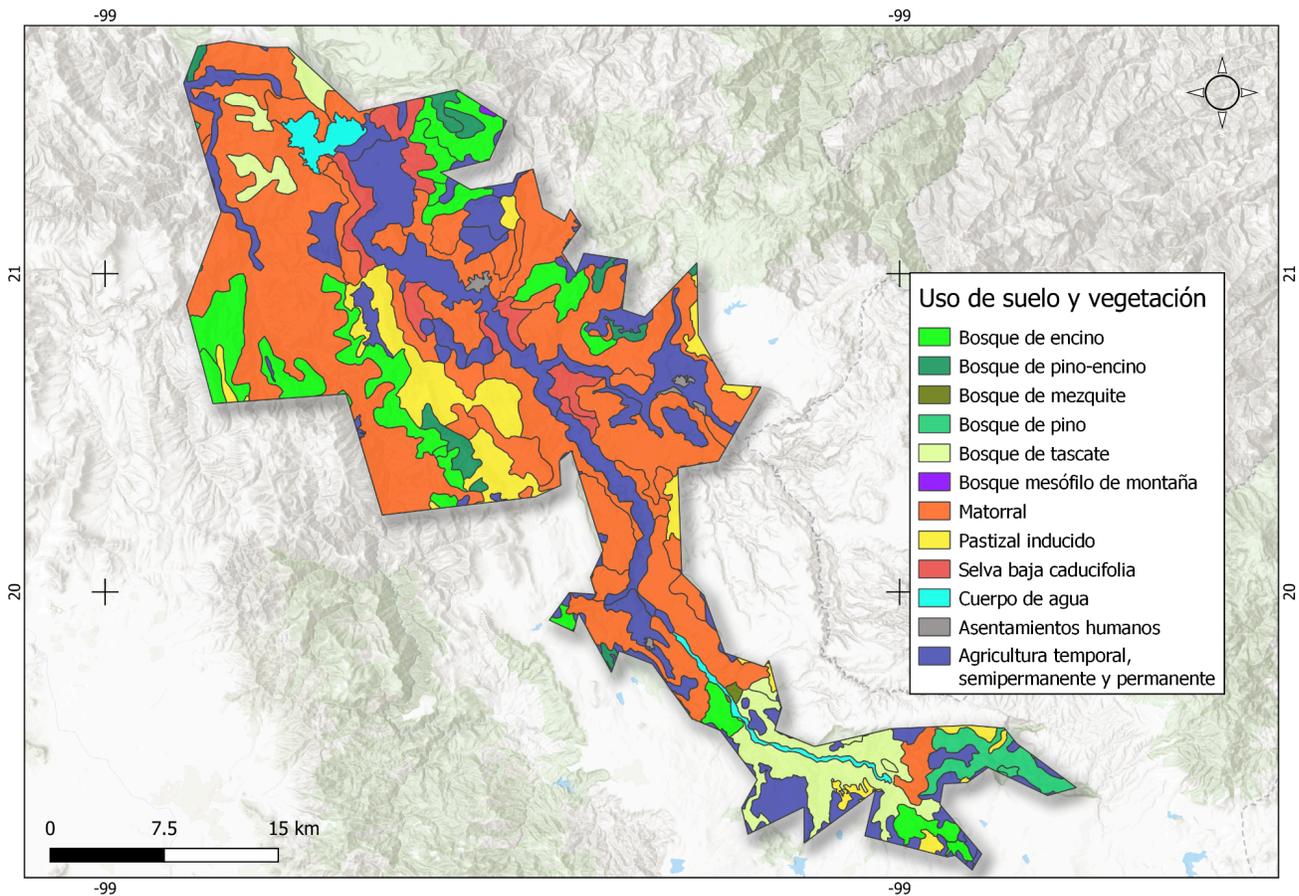


Figura 4. Mapa de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán donde se indica con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación, los usos de suelo y cuerpos de agua presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.

La Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán (RBBM) (Figura 4) cuenta con 96,042.94 ha, por lo que, es la ANP más grande del estado; está localizada en la Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Transmexicana, en el centro-este de Hidalgo entre 19°35'52" y 21°25'00" de latitud norte, y los 97°57'27" y 99°51'51" de longitud oeste y es parte de los municipios de Acatlán, Atotonilco el Grande, Eloxochitlán, Huasca de Ocampo, Metepec, Metztlán, San Agustín Metzquitlán y Zacualtipán de Ángeles (CONANP, 2003; Morrone et al., 2017). Su gradiente altitudinal va de los 1,100 msnm a los 2,600 msnm, y presenta diversos climas que varían de seco semicálido a seco templado, con temperatura promedio anual de 18-22°C y precipitación media anual de 400-700 mm (Ortiz-Pulido et al., 2010).

Esta área experimenta el efecto de sombra de lluvia ejercido por la Sierra Madre Oriental lo que significa que, en la temporada de lluvias, la humedad se queda en la cadena montañosa, mientras la

parte baja continua semiseca (CONANP, 2003). Esto causa que la vegetación predominante sea matorral xerófilo que invade el 68.72% seguido del bosque de coníferas con 7.44% que está dividido en bosque de tascate, bosque de encino, bosque de pino-encino, y bosque de pino, por último, las zonas con el menor porcentaje son el pastizal inducido con 1.42%, y la selva baja caducifolia con 1.27%, también se presentan otros tipos de vegetaciones como el bosque de mezquite y el bosque mesófilo de montaña aunque para estas coberturas no se ha registrado el porcentaje que representan dentro del área (CONANP, 2003; Ortiz-Pulido et al., 2010; Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 2005).

6.4.- La Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa

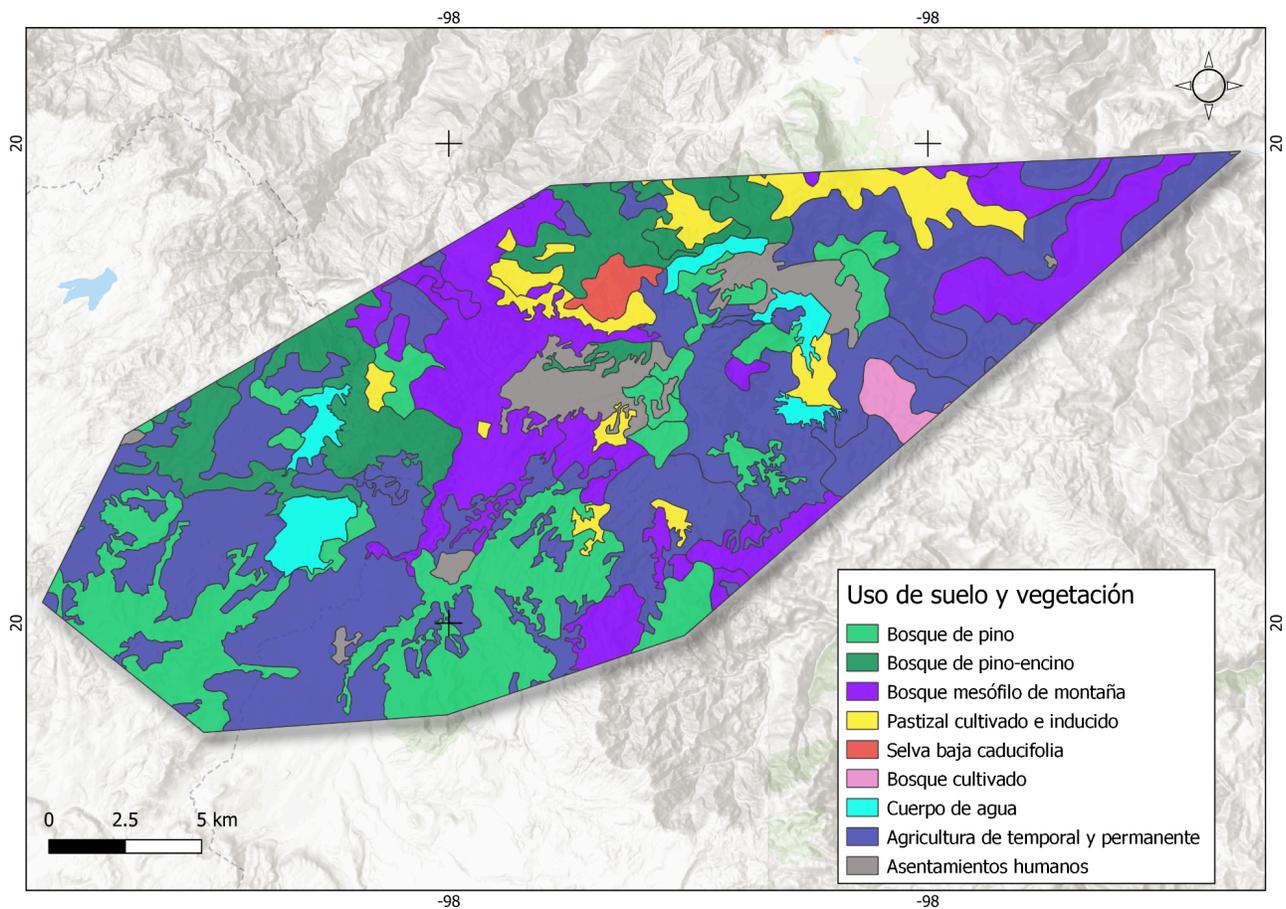


Figura 5. Mapa de la Reserva de la Cuenca Hidrográfica Río Necaxa donde se indican con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación, los usos de suelo y cuerpos de agua presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.

La Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (CHRN) (Figura 5), se localiza entre los límites del este de Hidalgo (en los municipios de Acaxochitlán, Cuautepec de Hinojosa y Tulancingo de Bravo) y del norte del estado de Puebla (Ahuazotepec, Chiconcuautla, Huauchinango, Jopala, Juan Galindo,

Naupan, Tlaola, Xicotepec, Zacatlán y Zihuateutla) y está inmersa en la Sierra Madre Oriental, Faja Volcánica Transmexicana y la provincia Veracruzana; comprende una superficie de 32,630 ha cuya elevación va de los 560 a los 2,323 msnm (Morrone et al., 2017; Tenorio-Mendoza et al. 2019; Cerón-Carpio et al., 2012). Predomina un clima templado húmedo de temperaturas entre los 3°C y 30°C y con precipitaciones durante todo el año donde la media va de los 60 a 119 mm, esto debido a la presencia de los vientos del Golfo de México (Tenorio-Mendoza et al. 2019; Cerón-Carpio et al., 2012).

Se registran principalmente cinco tipos de vegetación, el bosques de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña y pastizal, que en conjunto representan casi el 48% de la ANP siendo un contraste con el resto del territorio que está ocupado por la agricultura temporal de maíz, café, frutas y plantas ornamentales (Cerón-Carpio et al., 2012; Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 2005), además el INEGI ha registrado la presencia de la selva baja caducifolia dentro de la ANP.

6.5.- Parque Nacional Tula

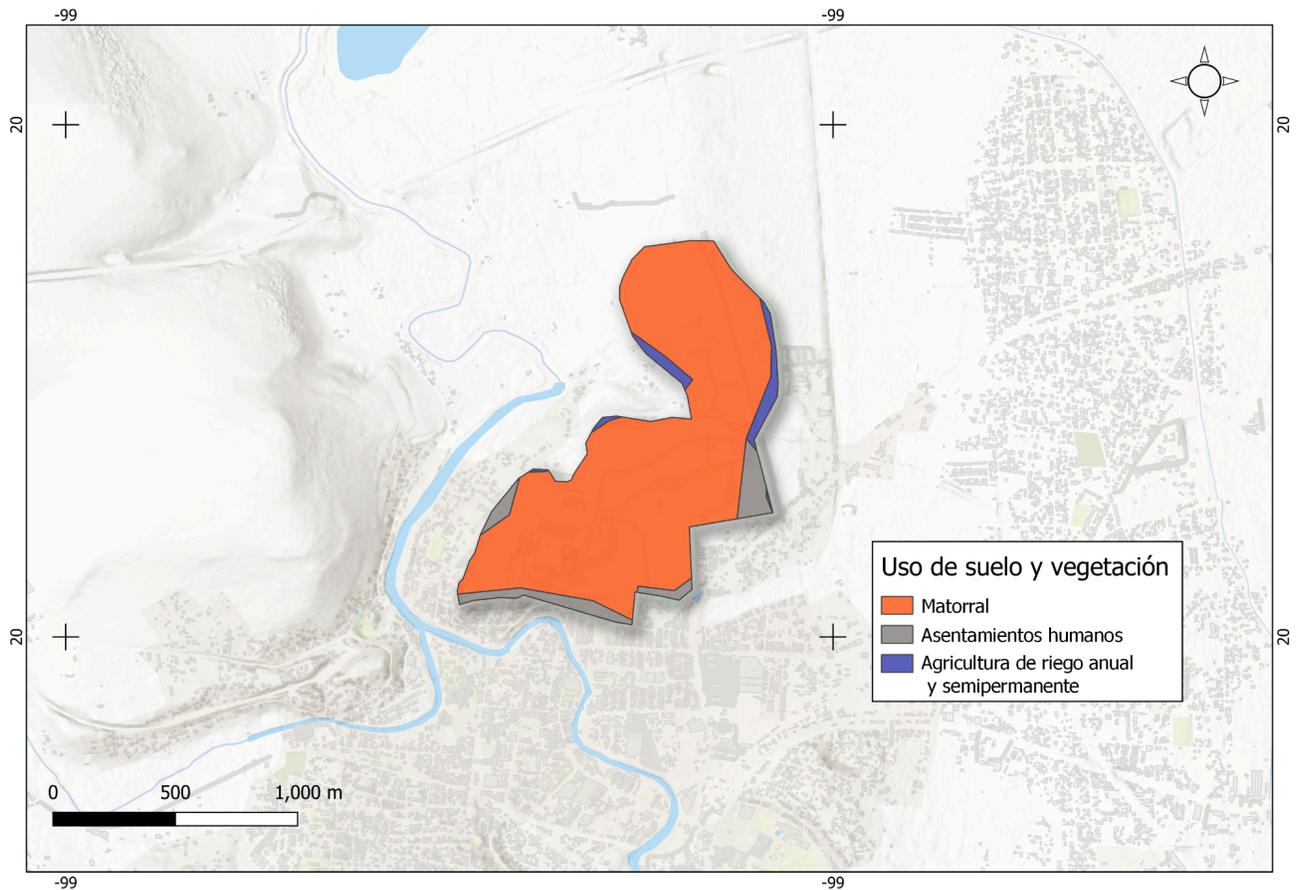


Figura 6. Mapa del Parque Nacional Tula donde se indican con colores las áreas que ocupan los diferentes tipos de vegetación y los usos de suelo presentes en la ANP. Los datos se obtuvieron del Portal de Información Geoespacial de la CONABIO.

El Parque Nacional Tula (PNT) (Figura 6) está ubicado en las provincias Faja Volcánica Transmexicana y Desierto Chihuahuense, al suroeste del estado de Hidalgo, entre las coordenadas $99^{\circ}19'12''$ y $99^{\circ}20'37''$ de longitud oeste y $20^{\circ}03'36''$ y $20^{\circ}04'29''$ de latitud norte, una altitud de 2,066 msnm y 99.50 ha de superficie, colinda con el Río Tula en sus límites sur, oeste y norte, y presenta clima seco semiárido con temperatura anual de 17.5°C siendo la máxima de 20.3°C y la mínima de 13.8° ; aunque experimenta el fenómeno de la canícula o sequía de medio verano, llueve durante parte el verano y la precipitación total anual alcanza los 618.7 mm con su punto más bajo durante marzo y el más alto durante julio (CONANP, 2024; Morrone et al., 2017; Vargas-Márquez, 1997).

Dentro del área se registra un tipo de vegetación, el Matorral Xerófilo y sus especies representativas son el huizache (*Acacia constricta*), el mezquite (*Prosopis juliflora*), maguey pulquero (*Agave*

salmiana), yuca o palma (*Yucca filifera*), y el nopal (*Opuntia imbricata*) (CONANP, 2024; Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 2005).

7.- Materiales y métodos

7.1.- Recolección de datos

Se construyó una base de datos de presencia/ausencia, lo que permitió transformar las listas de especies en un conjunto de datos para analizar. Se usaron listas de especies de la herpetofauna de fuentes publicadas (libros, artículos, notas, y guías de campo), bases de datos en plataformas digitales, y colecciones científicas con registros históricos de los anfibios y reptiles en las cinco Áreas Naturales Protegidas del estado (PNC, PNM, PNT, RBBM, CHRN).

Para PNC se usaron las listas de Camarillo-Rangel y Casas-Andreu (2001) y Ramírez-Pérez (2008). Para PNM se usó la lista de Flores-Hernández (2019); para RBBM, se usaron las listas de especies de Vite-Silva et al. (2010) y la de Valdez-Rentería et al. (2018); para CHRN se usaron las listas de Figueroa-Castillo (2016), Tenorio-Mendoza et al. (2019), SEMARNAT (2010), y finalmente para PNT, debido a la falta de publicaciones y registros sobre el sitio, se usó la lista de especies de NaturaLista y se verificó con la información del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF), además la lista de cada ANP se complementó con registros de los libros de Ramírez-Bautista et al. (2010, 2014) y el estado de conservación de la IUCN y Semarnat.

Para evitar sinonimias y actualizar los nombres de los taxones, todos las especies fueron verificadas con la publicación de Ramírez-Bautista et al. (2023) en ZooKeys, la última actualización (junio del 2024) del inventario de Herpetología Mexicana (Balderas-Valdivia, y González-Hernández, 2024; <https://herpetologiamexicana.org/>), la fuente de información del Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, 2024; <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt>), los datos de Amphibian Species of the World (Frost, 2023; <https://www.amnh.org/>), el sitio web de Reptile Database (Uetz, 2024; <http://www.reptile-database.org/>), y la lista de especies invasoras de la EncicloVida (EncicloVida, 2020; <https://enciclovida.mx/exoticas-invasoras>).

7.2.- Análisis de datos

Con los datos recolectados de las listas de especies, se definió la diversidad alfa para cada ANP, dichos valores (riqueza de especies) fueron usados para analizar la diversidad beta. Como la diversidad beta es el cambio en la composición de especies de una comunidad a otra (Whittaker, 1960), para obtener el valor de beta de las ANPs, a partir de la base de datos, se realizó una evaluación de disimilitud herpetofaunística que consiste en la aplicación del índice de disimilitud de Jaccard, uno de los índices

más utilizados para datos binarios (ausencia/presencia) que puede emplearse en conservación debido a que es capaz de establecer medidas de tamaño óptimo para las ANPs, es decir que indica si se debe establecer una unidad grande con miles de hectárea o varias unidades más pequeñas (Real y Vargas, 1996; Higgs y Usher, 1980). Jaccard se compone de tres atributos: A como el número de especies en el sitio a, B como el número de especies en el sitio b, y C es el número de especies que están en ambos sitios; en este caso, mientras el resultado fuera más cercano a 1, significa una alta diversidad beta entre las reservas (Real y Vargas, 1996) y la fórmula se representa así:

$$J = \frac{C}{A + B - C}$$

En dicho análisis, se usó el método de clustering UPGMA para la construcción, tanto para anfibios como para reptiles, de un dendrograma a través del software PAST (Hammer et al., 2020), a los resultados se les aplicó 1- con el propósito de observar de forma gráfica el nivel de disimilitud entre las cinco ANPs.

Para obtener la partición de la diversidad beta, se aplicó el índice de disimilitud de Jaccard (i.e., 1-similitud) con el uso del software R (R Core Team, 2024) y el paquete betapart (Baselga y Orme, 2012) y, de esta forma se obtuvieron tres matrices de disimilitud entre las cinco ANPs, una donde se muestra el nivel de recambio (βjtu), otra para el anidamiento (βjne) y una última con beta total (βjac) o disimilitud total que es igual a la suma del recambio y el anidamiento; en este caso, los resultados que se alejan de 0 y se acercan a 1 indican alta diversidad beta. Con dichas matrices se generaron gráficas apiladas que permiten visualizar el recambio en comparación con el anidamiento.

El componente de recambio (βjtu) contempla tres elementos: el número de especies que reúnen los dos sitios (representado por la letra a), el número de especies exclusivas en el primer sitio (representado como b) y el número de especies exclusivas del segundo sitio (representado como c) (Baselga, 2012) siendo expresados en la fórmula:

$$\beta jtu = \frac{2 \min(b,c)}{a+2 \min(b,c)}$$

Como el anidamiento (βjne) junto con el recambio (βjtu) conforman beta total (βjac), la resta del recambio y beta total ($\beta jne = \beta jac - \beta jtu$) resulta en el valor del componente de anidación (Baselga, 2012), la fórmula se representa como:

$$\beta jne = \frac{b+c}{a+b+c} - \frac{2 \min(b,c)}{a+2 \min(b,c)}$$

$$= \frac{\max(b,c) - \min(b,c)}{a+b+c} \times \frac{a}{a+2 \min(b,c)}$$

Para evaluar la diversidad taxonómica se generó una matriz de agregación taxonómica general de las especies donde se contempló el orden, familia y género de todos los anfibios y reptiles. Los datos fueron ingresados en el software PRIMER (Clarke y Gorley, 2006) para su posterior análisis, que consistió en aplicar dos medidas de diversidad taxonómica: el promedio de diversidad taxonómica ($\Delta^+ = \Delta^+$), y la variación de la diversidad taxonómica ($\Lambda^+ = \Lambda^+$; Clark y Warwick, 1998). Se obtuvo, tanto en anfibios como en reptiles, una gráfica para el valor de Delta y otra de Lambda.

El promedio de diversidad taxonómica ($\Delta^+ = \Delta^+$) mide la distancia taxonómica promedio de las especies, por lo que muestra bajas o altas relaciones taxonómicas dentro de un ensamble, y se compone de cuatro elementos: la distancia taxonómica entre un par de individuos de dos especies (representado por ω_{ij}), la especie uno (representado como i), la segunda especie (representado como j) y el número de especies de la muestra (representado como S); en este caso, mientras el resultado fuese más cercano o superará al promedio regional, significaba una alta diversidad taxonómica (Warwick y Clarke, 1995). Su fórmula se representa como:

$$Delta^+ = [2 \sum \sum_{i < j} \omega_{ij}] / [S(S-1)]$$

La variación de la diversidad taxonómica ($\Lambda^+ = \Lambda^+$) que mide la desigualdad un árbol taxonómico es capaz de indicar si existen taxones sub o sobre representados dentro de un ensamble, y se compone de cinco elementos: el promedio de diversidad taxonómica (representado por Δ^+) la distancia taxonómica entre un par de individuos de dos especies (representado por ω_{ij}), la especie uno (representado como i), la segunda especie (representado como j) y el número de especies de la muestra (representado como S); en este caso, si el resultado supera al promedio regional, significaba una sub o sobre representación de los taxones (Clarke y Warwick, 1998). Su fórmula se representa como:

$$Lambda^+ = [2 \sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2] / [S(S - 1)]$$

8.- Resultados

8.1.- Lista de especies

La herpetofauna de las cinco ANPs se compone de 118 especies (Tabla Suplementaria 1), 34 son especies de anfibios y 84 de reptiles. Del total de especies, 71 se distribuyen en RBBM siendo la ANP con mayor diversidad, seguida de PNM con 59, 42 en CHRN, 26 en PNC, y 19 en PNT (Tabla 1). Solo las especies *Sceloporus grammicus* y *Dryophytes plicatus* estuvieron en las cinco ANPs, caso opuesto son las 63 especies que se presentan exclusivamente en una sola de las ANPs (Tabla Suplementaria 1).

Tabla 1. Diversidad de especies de anfibios y reptiles en cada ANP. En las columnas de Especies, Anfibios y Reptiles se muestra el número que presenta cada área natural protegida.

	Total de especies	Especies de Anfibios	Especies de Reptiles
RBBM	71	15	56
CHRN	42	15	27
PNM	59	15	44
PNC	26	9	17
PNT	19	4	15

Tabla 2. Cantidad de géneros registrados para las familias de anfibios y reptiles dentro de las cinco ANPs. En las columnas están las familias de anfibios y reptiles y aun lado el número de géneros registrados en las ANPs.

Familias de Anfibios	Número de géneros	Familias de Reptiles	Número de géneros
Ambystomatidae	1	Kinosternidae	1
Plethodontidae	5	Anguidae	3
Bufoidea	2	Anolidae	1
Craugastoridae	1	Corytophanidae	2
Eleutherodactylidae	1	Gekkonidae	1
Hylidae	4	Phrynosomatidae	2
Ranidae	2	Scincidae	2
Scaphiopodidae	1	Teiidae	2
		Xantusiidae	1
		Boidae	1
		Colubridae	13
		Dipsadidae	6
		Elapidae	1
		Leptotyphlopidae	1
		Natricidae	3
		Sibynophiidae	1
		Viperidae	4

Las 34 especies de anfibios se encuentran agrupadas en dos órdenes, ocho familias y 17 géneros (Tabla Suplementaria 1). La familia mejor representada fue Plethodontidae con cinco géneros y 10 especies (Tabla 2) que representan 29% de la composición; mientras que la familia Ambystomatidae y Scaphiopodidae solo poseen una especie, lo que representa 3%. El género con más especies fue *Chiropterotriton* con seis especies, muy similar a *Craugastor* con cinco especies, seguidas por *Lithobates* con cuatro especies e *Incilius* y *Dryophytes* con tres especies cada uno, *Eleutherodactylus* con dos especies y los 11 géneros restantes cuentan únicamente con una especie, cada uno. Casi todas, específicamente 24, son especies endémicas de México, y de estas, ocho se encuentran en alguna

categoría de riesgo en la Red List de la IUCN: *Chiropterotriton chondrostega*, *Chiropterotriton dimidiatus*, *Chiropterotriton magnipes*, *Chiropterotriton mosaueri*, *Chiropterotriton multidentatus*, *Chiropterotriton terrestris*, *Pseudoeurycea altamontana*, y *Charadrahyla taeniopus* (Ramírez-Bautista et al., 2023; IUCN, 2024).

Los reptiles están incluidos en dos órdenes, 17 familias y 45 géneros (Tabla Suplementaria 1). La familia Colubridae fue la más diversa, con 13 géneros y 20 especies (Tabla 2), lo que equivale al 29%, caso contrario son las familias Gekkonidae, Boidae, Elapidae, Leptotyphlopidae, Sibynophiidae y Typhlopidae, que solo cuentan con una especie, lo que equivale al 2.2%. El género con más especies fue *Sceloporus* con 10, seguido de *Thamnophis* y *Crotalus* con seis especies cada uno, *Geophis* con cuatro, *Gerrhonotus*, *Lepidophyma* y *Lampropeltis* con tres cada uno, *Kinosternon*, *Anolis*, *Plestiodon*, *Conopsis*, *Ficimia*, *Masticophis*, *Salvadora*, *Tantilla*, *Leptodeira*, *Scincella* y *Storeria* con dos especies cada uno, y 27 géneros con una especie cada uno. De las 84 especies de reptiles, 46 son endémicas de México y, ocho de ellas están en categorías vulnerables: *Abronia taeniata*, *Anolis naufragus*, *Lepidophyma gageae*, *Ficimia hardyi*, *Storeria hidalgoensis*, *Thamnophis melanogaster*, *Thamnophis scaliger* y *Ophryacus undulatus* (Ramírez-Bautista et al., 2023; IUCN, 2024).

8.2.- Diversidad beta

Dendrograma para anfibios (Figura 7), que muestra qué áreas son más disimilares y cuáles son más similares a través de las distancias obtenidas con el índice de Jaccard, reveló que la composición de especies entre las ANPs es muy diferente (es decir, alta diversidad beta) puesto que todas las relaciones superan los 0.5 de disimilitud, en otras palabras, cuando las áreas comparten pocas especies el valor se acerca a 1 y la diversidad beta es alta. Se observa al PNT comportarse como un grupo distante cuyo valor de disimilitud fue el más alto, siendo mayor de 0.8, seguido de CHRN con 0.8, y PNC con 0.7. Las RBBM-PNM están agrupadas mostrando así la disimilitud más baja en el dendrograma, que fue de 0.5, por el alto número de especies que comparten.

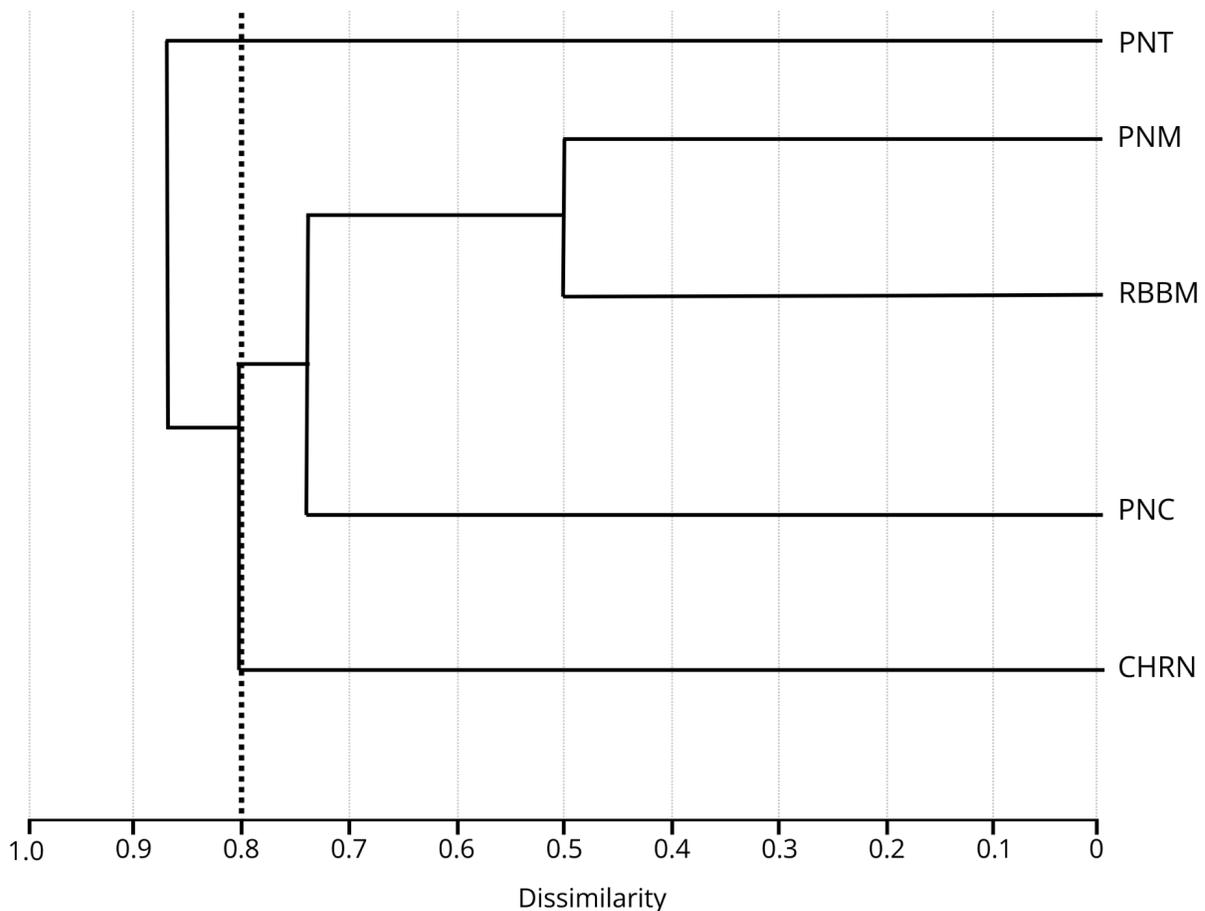


Figura 7. Dendrograma que muestra la disimilitud entre las cinco ANPs en cuanto a las especies de anfibios. Mientras mayor sea la distancia entre áreas, mayor será la diversidad beta (baja similitud, i.e., alta diversidad beta). CHRN: Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNC: Parque Nacional El Chico, PNM: Parque Nacional Los Mármoles, PNT: Parque Nacional Tula, y RBBM: Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán. La línea punteada representa el nivel de corte.

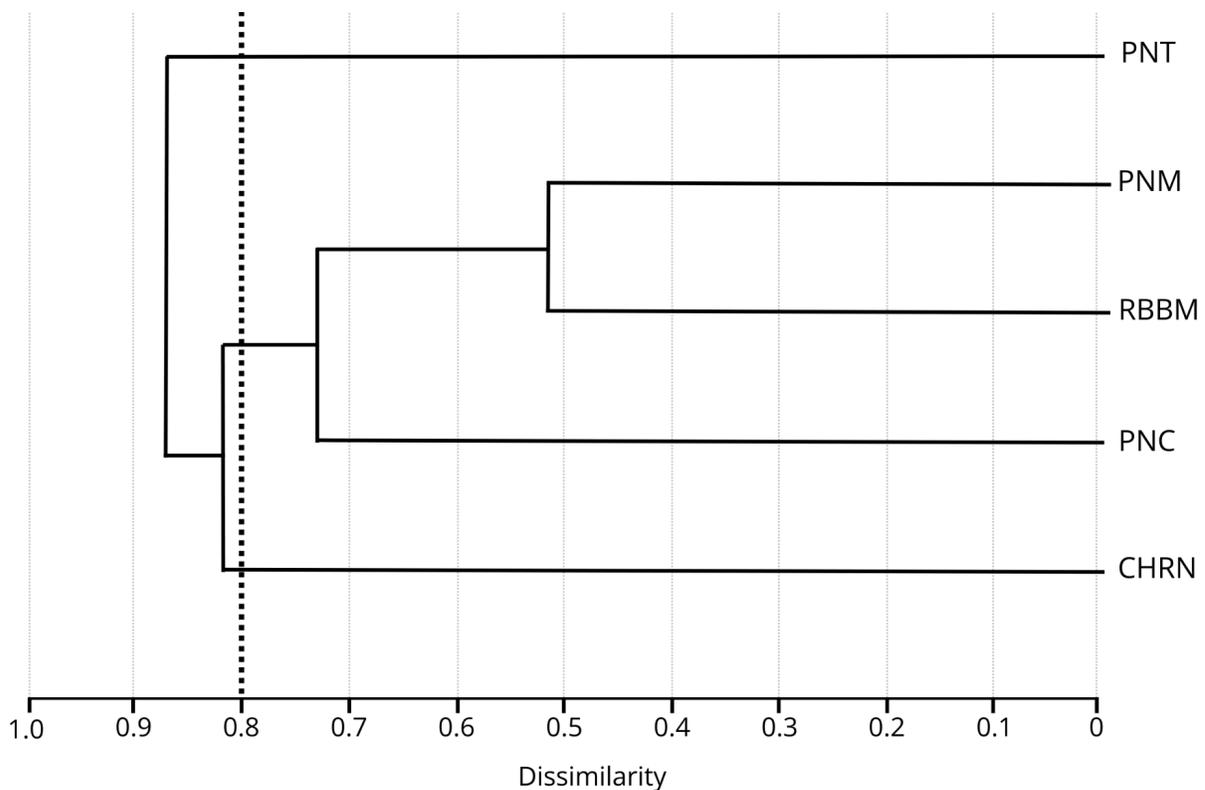


Figura 8. Dendrograma que muestra la disimilitud entre las cinco ANPs en cuanto a las especies de reptiles. Mientras mayor sea la distancia entre áreas, mayor será la diversidad beta (baja similitud, i.e., alta diversidad beta). CHRN: Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNC: Parque Nacional El Chico, PNM: Parque Nacional Los Mármoles, PNT: Parque Nacional Tula, y RBBM: La Reserva de la Biósfera de la Barranca de Metztitlán. La línea punteada representa el nivel de corte.

El dendrograma para reptiles (Figura 8), al igual que con los anfibios, mostró una alta diversidad beta entre todas las áreas, incluido el grupo con menor disimilitud, con un valor de 0.5, lo que refleja el bajo número de especies compartidas entre las ANPs. Cuando las áreas comparten pocas especies el valor se acerca a 1 y la diversidad beta es alta, en este caso el PNT fue el área más distante, siendo su valor de disimilitud de más de 0.8, CHRN fue el segundo más distante con 0.8 y, el tercero fue PNC con 0.7. Las áreas PNM y RBBM fueron las más cercanas en el dendrograma, pues entre ambas existe disimilitud de 0.5, que es consecuencia de ser las áreas que más especies comparten (34).

8.3.- Partición de la diversidad beta

Las matrices de disimilitud del componente de recambio (β_{jtu}), anidamiento (β_{jne}) y diversidad beta general ($\beta_{jac}=\beta_{jtu}+\beta_{jne}$), fueron obtenidas aplicando el índice de Jaccard con el software R y el paquete betapart, y mostraron el grado de diferencia que existe entre las áreas a través de valores que van de 0 a 1, siendo los que se acercan a este último, como los menos similares (mayor diversidad

beta). En los anfibios, los valores de la diversidad beta general (Tabla 3), fueron más altos en la relación PNT-CHRN, con 0.944, y el valor más bajo fue el de la relación PNM-RBBM, con 0.500. En el caso del componente de recambio, el valor más alto fue el de la relación CHRN-PNC (0.875) y el menor el de RBBM-PNT (0.400), mientras que, en el anidamiento, los valores fueron mayores en la relación PNT-RBBM (0.412) y menores en CHRN-RBBM, CHRN-PNM y RBBM-PNM donde el valor de anidamiento de las tres relaciones fue 0.00.

En los Reptiles se observó que el valor más alto de diversidad beta general está entre PNT-CHRN que fue de 0.95 y el menor que fue de 0.507 corresponde a PNM-RBBM (Tabla 4). En cuanto el componente de recambio, el valor más alto fue el de CHRN-PNT (0.928) y el menor el de RBBM-PNC (0.111), y para el anidamiento, el mayor fue RBBM-PNC (0.608) y el menor fue PNC-PNT (0.014).

Tabla 3. Diversidad beta general (β_{jac}), componente de recambio (β_{jtu}) y componente de anidamiento (β_{jne}) de los anfibios de las cinco ANPs, medido como disimilitud de Jaccard.

Asociaciones	Diversidad beta general	Recambio	Anidamiento
RBBM-CHRN	0.750	0.750	0.00
RBBM-PNC	0.736	0.615	0.121
RBBM-PNM	0.500	0.500	0.00
RBBM-PNT	0.812	0.400	0.412
CHRN-PNC	0.909	0.875	0.034
CHRN-PNM	0.750	0.750	0.000
CHRN-PNT	0.944	0.857	0.087
PNC-PNM	0.736	0.615	0.121
PNC-PNT	0.818	0.666	0.152
PNM-PNT	0.882	0.666	0.216

Tabla 4. Diversidad beta general (β_{jac}), componente de recambio (β_{jtu}) y componente de anidamiento (β_{jne}) de los reptiles de las cinco ANPs, medido como disimilitud de Jaccard.

Asociaciones	Diversidad beta general	Recambio	Anidamiento
RBBM-CHRN	0.814	0.682	0.131
RBBM-PNC	0.719	0.111	0.608
RBBM-PNM	0.507	0.40	0.107
RBBM-PNT	0.854	0.571	0.283
CHRN-PNC	0.810	0.740	0.070
CHRN-PNM	0.816	0.744	0.072
CHRN-PNT	0.95	0.928	0.021
PNC-PNM	0.729	0.380	0.348
PNC-PNT	0.814	0.800	0.014
PNM-PNT	0.82	0.571	0.248

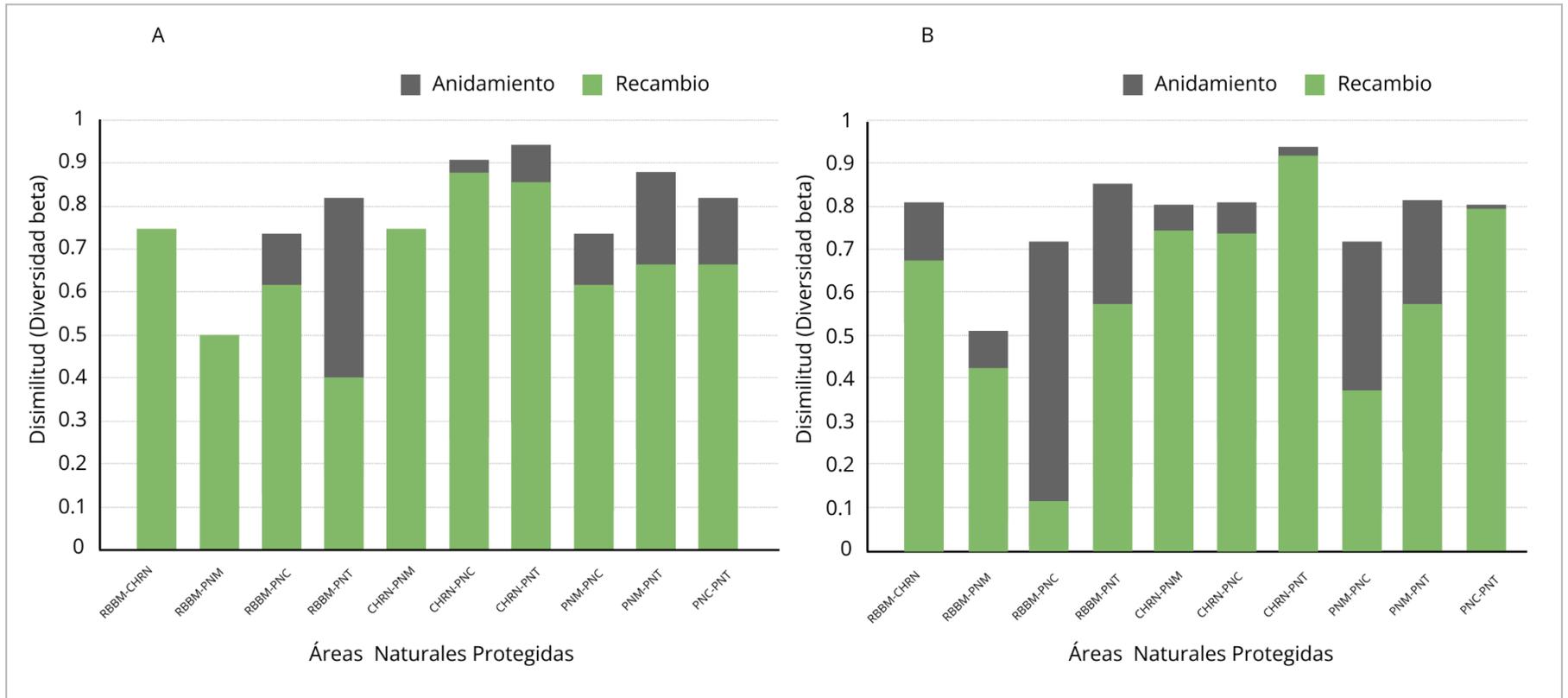


Figura 9. Las gráficas apiladas recopilan los datos de las matrices de componente de anidamiento y recambio, de esta forma se visualiza qué porción corresponde a cada uno de estos componentes al hacer comparaciones entre las cinco Áreas Naturales Protegidas, así se evidencia el nivel de anidamiento (representado en color gris) y el de recambio (representado con el color verde) para los anfibios (A) y reptiles (B). En el eje Y se encuentra el valor de disimilitud de Jaccard, donde mientras más se acercan los valores a 1 significa mayor diversidad beta.

8.4.- Diversidad Taxonómica

En los anfibios, la riqueza de especies presenta una tendencia comparable a los valores de la diversidad taxonómica (Tabla 5), pues en este caso PNM además de registrar el mayor número de especies, también es el área con mayor valor en el promedio de diversidad taxonómica (Delta). PNC es la segunda área con mayor valor de diversidad taxonómica a pesar de ser una de las áreas con menos especies, después le siguen el CHRN y la RBBM destacando que estas áreas también presentan un alto número de especies, por último, PNT es el área con valor más bajo. En el caso de los valores de la variación de la diversidad taxonómica (Lambda; Figura 10), PNC obtuvo el mayor valor mostrando que existe sobre representación de algunos de sus taxones (desigualdad en la estructura taxonómica).

Tabla 5. Riqueza de especies, diversidad taxonómica (Delta+) y variación de la diversidad taxonómica (Lambda+) de los anfibios de las cinco ANPs.

	Número de especies	Delta+	Lambda+
RBBM	15	58.10	209.71
CHRN	15	60.57	239.67
PNM	15	64.57	329.58
PNC	9	63.89	440.43
PNT	4	53.33	222.22

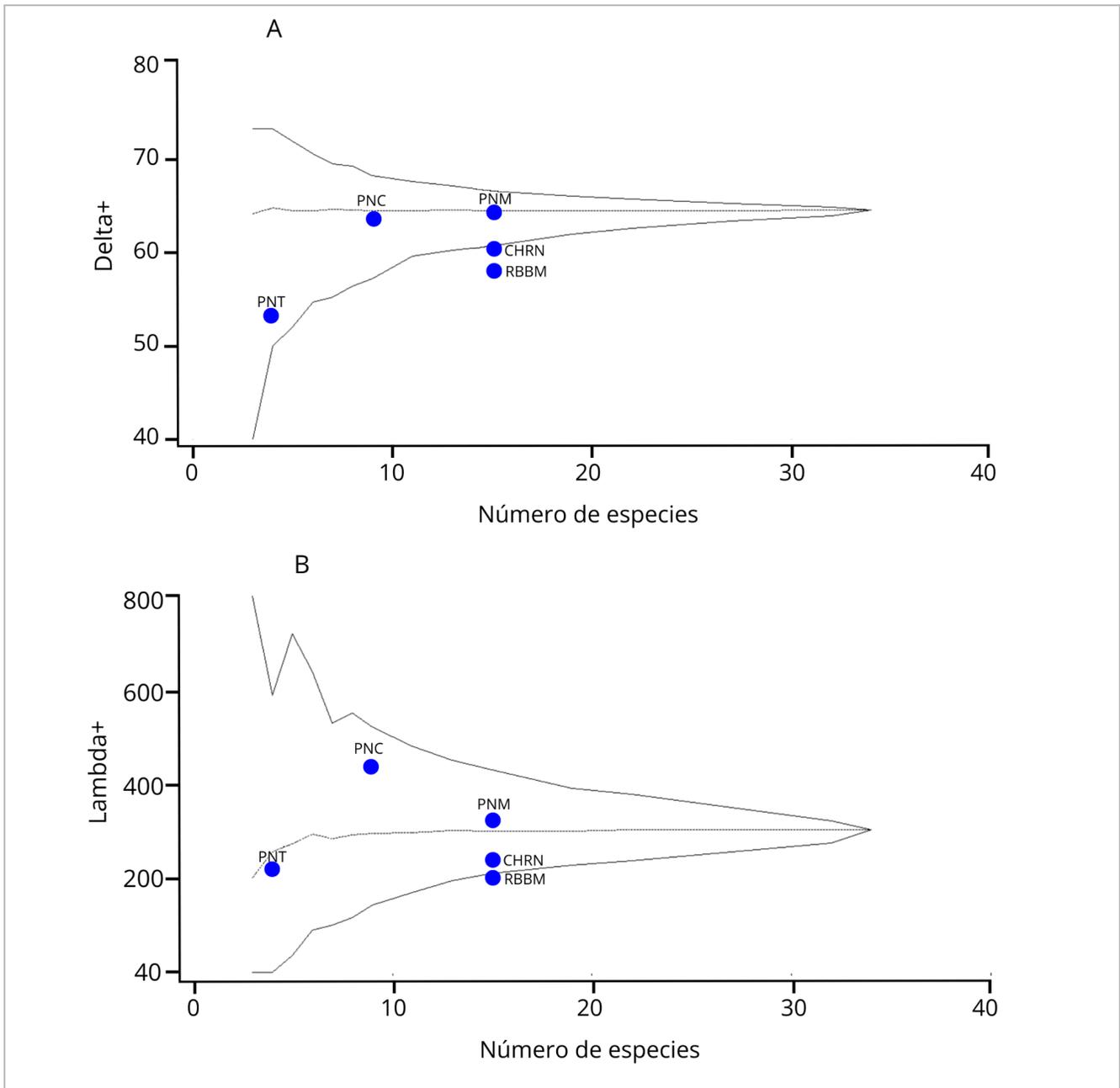


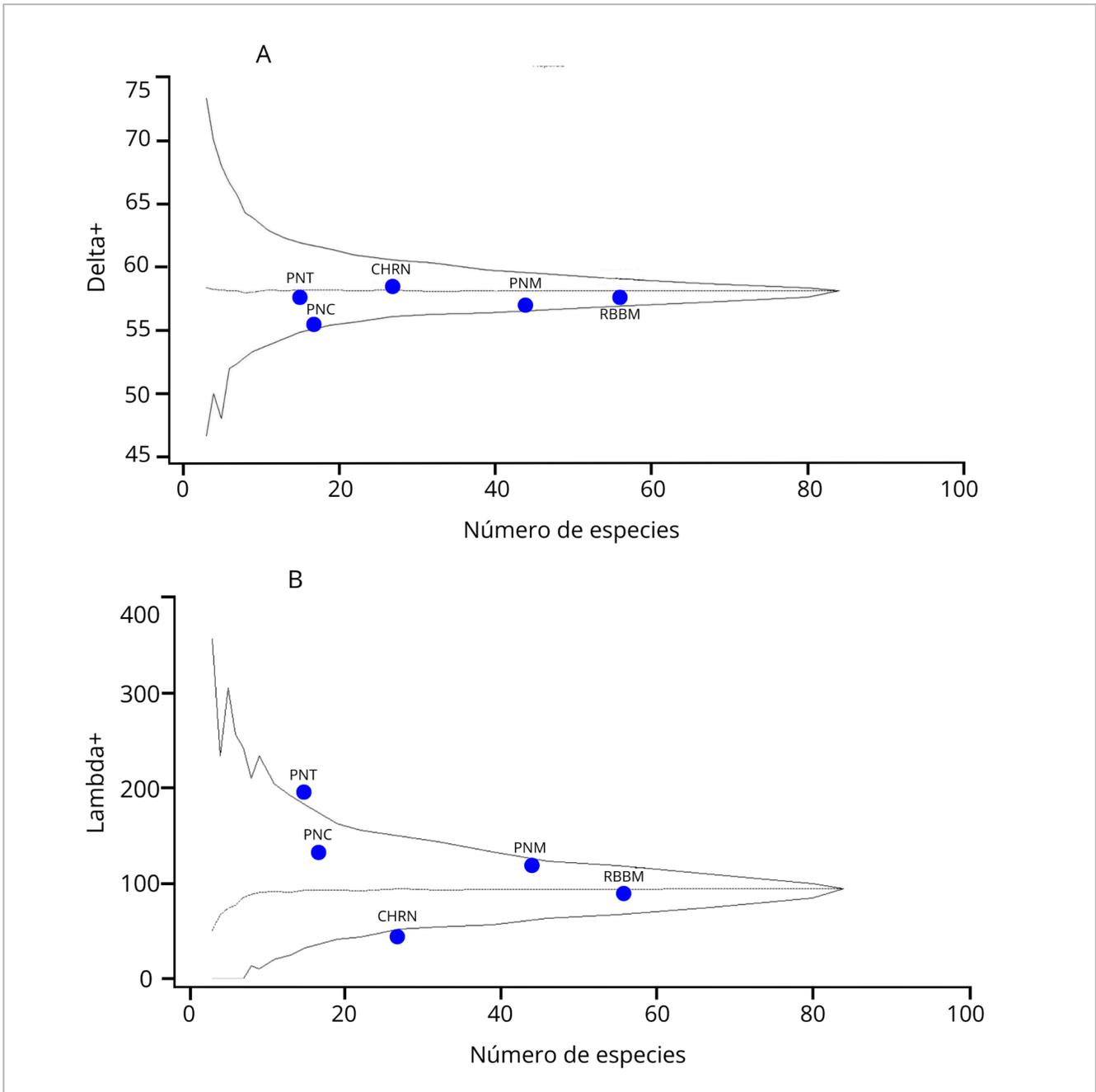
Figura 10. Gráficas de embudo que presentan los valores de las medidas de promedio de la diversidad taxonómica (Delta+ = A) y variación de la diversidad taxonómica (Lambda+ = B) de los ensambles de anfibios de las cinco ANPs. El intervalo de confianza está representado por las líneas negras que forman un embudo y la línea punteada es el promedio regional; las ANPs que superan el promedio son las que obtuvieron los valores más altos de Delta y Lambda.

En los reptiles, la riqueza de especies no presenta relación con los valores de diversidad taxonómica, ya que las áreas con mayor riqueza de especies no exhiben valores superiores al promedio regional de la diversidad taxonómica, en otras palabras, el mayor número de familias y géneros fue registrado en una

ANP con bajo número de especies (Tabla 6). CHRN es el área con mayor valor el promedio de diversidad taxonómica (Delta), seguida de RBBM, PNT y PNM en segundo, tercer y cuarto lugar, respectivamente; por último, PNC presenta el menor valor de diversidad taxonómica. En los resultados de la variación de la diversidad taxonómica (Lambda; Figura 11), PNT, PNC y PNM muestran valores sobre el promedio regional lo que indica que varias familias y géneros están sobre-representados.

Tabla 6. Riqueza de especies, diversidad taxonómica (Delta+) y variación de la diversidad taxonómica (Lambda+) de los reptiles de las cinco ANPs.

	Número de especies	Delta+	Lambda+
RBBM	71	57.74	91.00
CHRN	42	58.18	46.82
PNM	59	57.10	119.73
PNC	26	55.59	133.48
PNT	19	57.52	195.77



9.- Discusión

9.1.- Composición de especies

Tal como se anticipa en la hipótesis, la diversidad de anfibios y reptiles dentro de las ANPs es alta. La herpetofauna de las cinco ANPs se compone de 118 especies, frente a las 1,427 especies de reptiles y anfibios registradas para México de acuerdo con Herpetología Mexicana (Balderas-Valdivia, y González-Hernández, 2024) y Ramírez-Bautista et al. (2023). Este número representa el 8.3% de la herpetofauna total del país, más concretamente, los anfibios representan el 7.9% y los reptiles el 8.5% a nivel nacional. Si tenemos en cuenta que en Hidalgo el total de especies es de 200 (58 anfibios y 142 reptiles) (Ramírez-Bautista et al., 2014, 2020), observamos que las ANPs federales resguardan a poco más de la mitad de las especies del estado, aunque una gran parte se encuentran en la RBBM, CHRN, y PNM, ya que el PNT y PNC, cuentan con pocas especies.

El PNT fue el área con menos especies, lo que puede estar relacionado con el tipo de vegetación del sitio, ya que es un ambiente homogéneo que se compone de matorral xerófilo (CONANP, 2021). Para este ambiente, previamente se reportó baja riqueza de especies, debido a que es muy homogéneo en cuanto a tipo de vegetación, y por lo tanto, el número de microhábitats es bajo (Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2013). Otra causa probable de este resultado es que el parque tiene alto grado de perturbación, puesto que estos sitios presentan menor riqueza a causa de la poca disponibilidad de recursos o calidad de microhábitats, poca diversidad estructural en la vegetación, y baja disponibilidad de agua y alimento, factores que podrían ser limitantes en la riqueza y abundancia de las especies (Valdez-Villavicencio et al., 2021).

El número bajo de especies presentes en el PNC, a pesar de la alta cobertura vegetal, puede estar relacionado con el tipo de vegetación (bosque de oyamel y bosque de encino), que se caracteriza por ser relativamente homogénea y por las condiciones climáticas, donde la temperatura en invierno puede llegar a ser muy baja (CONANP, 2022). La menor riqueza de especies podría atribuirse también, en parte, al impacto de actividades humanas como la contaminación de plomo proveniente de vehículos y uso de insecticidas o fertilizantes en áreas de cultivos aledañas, el cambio del uso de suelo evidenciado en la expansión de la frontera urbana y agrícola por las comunidades y el impacto del turismo. De hecho, para esta área se ha mencionado la extinción de un hílido: *Plectrohyla robertsorum*, o el descenso en la abundancia de la especie *Chiropterotriton multidentatus* registrado entre 1974 y 2008. Otra posible causa de la baja riqueza de especies es la naturaleza de los datos (metodología)

obtenidos en el presente estudio, dado que la información proviene de una base de datos de ausencia y presencia (CONANP, 2005; Ramírez-Bautista et al., 2021, Ramírez-Bautista et al., 2014; Gutierrez-Novoa, 1974).

Por otro lado, la RBBM y CHRN, son dos de las áreas con más especies, 71 y 42, respectivamente, en los que se encuentra el bosque mesófilo de montaña (CONANP, 2023; CONANP, 2023); tipo de vegetación que por su alta heterogeneidad ha demostrado ser la que más especies resguarda en el estado de Hidalgo (Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2013; Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012); mientras que, el PNM, fue la segunda área con mayor número de especies. En este caso, la explicación podría estar relacionada también con el tipo de vegetación: en el bosque de pino y encino (CONANP, 2022), se ha registrado también una alta riqueza de especies (Hernández-Salinas, y Ramírez-Bautista, 2013); que puede ser un indicador de la salud y alta heterogeneidad (micro hábitats, temperatura, humedad) y cobertura vegetal, entre otros factores.

Es importante mencionar que las tres áreas (RBBM, CHRN y PNM), poseen diferentes tipos de vegetación, por lo que existen zonas de convergencia (ecotonos), como en la RBBM que pasa del bosque mesófilo de montaña al matorral xerófilo. La CHRN posee seis tipos de vegetación, la RBBM nueve y el PNM siete. Además, contienen áreas de agricultura y presencia de cuerpos de agua dentro o cerca de sus límites, por lo tanto, son ANPs con paisajes complejos y heterogéneos, atributos que derivan en una alta diversidad específica (Priego-Santander et al., 2003).

9.2.- Diversidad beta

Los resultados evidenciaron que las Áreas Naturales Protegidas presentan altos niveles de disimilitud cuando se las compara entre sí, esto podría atribuirse a que se encuentran en la zona de transición de las regiones neártica y neotropical donde existe superposición de biotas y procesos de vicarianza y evolución *in situ* provocados por la formación de las sierras Madre y Faja Volcánica Transmexicana (Koleff et al., 2008; Morrone, 2005). En el caso de PNT, se ubica en la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana que ya ha registrado niveles altos de diversidad beta en varios grupos, incluyendo a los anfibios (Rodríguez, 2009). Esta es un área compleja en su historia geológica y topográfica, que ha propiciado procesos de especiación (Gámez et al., 2012). Así como también la provincia de la Sierra Madre Oriental, que es considerada como una zona compleja que registra números altos de endemismos y de especiación en varios grupos biológicos, entre los que se encuentran los anfibios (pletodóntidos) y reptiles (Medina-Romero et al., 2016); región en la que se ubican las ANPs RBBM,

CHRN, PNM, y el PNC. Ambas provincias comparten la particularidad de presentar elevaciones montañosas, con discontinuidad espacial, siendo así que pueden generar procesos de especiación (García-de Jesús et al., 2016).

Del mismo modo se destaca que los anfibios tienen valores de diversidad beta ligeramente superiores a los de los reptiles, por ejemplo, en el PNC cuatro (*Ambystoma velasci*, *Chiropterotriton dimidiatus*, *Chiropterotriton multidentatus*, *Pseudoeurycea altamontana*) de las cinco especies únicas, son caudados. Este patrón de aislamiento podría ser causado por la dependencia de los anfibios a los cuerpos de agua para reproducirse (Vargas-Salinas y Aponte-Gutiérrez, 2016).

El PNT se encuentra conformando un grupo individual en los dendrogramas de anfibios y reptiles, por lo que muestra los valores más altos de diversidad beta cuando es comparado con las otras ANPs. Este sitio se encuentra más aislado geográficamente de las demás ANPs, este patrón de disimilitud se puede deber a la distancia entre el resto de las ANPs, ya que a lo largo del trayecto que separa a las áreas, las condiciones ambientales cambian, creando una barrera que aparta a las especies por sus condiciones fisiológicas y ecológicas (Calderón-Patrón et al., 2012). Además, la configuración del ambiente y las capacidades de dispersión (especialistas o generalistas) de las especies (anfibios y reptiles no realizan grandes desplazamientos) limitan el movimiento entre áreas (Calderón-Patrón et al., 2012). La distribución de las especies las puede diferenciar en especies con amplia distribución (generalistas) y escasa distribución o endémicas a un tipo particular de vegetación (especialistas; Ramírez-Bautista et al., 2014).

La comparación de las ANPs con ambientes contrastantes (heterogeneidad contra homogeneidad) resulta en valores más altos de diversidad beta. En el caso de PNT, por su cobertura vegetal de matorral xerófilo, difiere más en cuanto a la composición de especies, cuando se compara con áreas con alta heterogeneidad ambiental, como el CHRN y el PNM, ya que éstas últimas, presentan diferentes tipos de vegetación, en consecuencia sólo pocas especies podrían habitar los tres sitios, como es el caso de *Dryophytes arenicolor*, *Sceloporus grammicus* y *Thamnophis scaliger*, que se distribuyen en las tres áreas, y pueden desarrollarse en más de un tipo de vegetación, incluyendo el bosque de pino y el matorral. En contraste, otras especies sólo se presentan en CHRN y PNM, como es el caso de *Chiropterotriton terrestris*, *Chiropterotriton chondrostega*, *Diadophis punctatus* y *Ophryacus undulatus*, que están limitadas a tipos de vegetación templado-húmedos, debido a sus requerimientos de humedad (Ramírez-Bautista et al., 2023; Ramírez-Bautista et al., 2014). Otra explicación podría atribuirse al tipo de uso de suelo, nuevamente, en ambientes heterogéneos, el cambio de uso de suelo

reduce un alto porcentaje de superficie de vegetación natural al año, y el fin que se le da, es de ganadería, mientras que en matorral predomina la agricultura (SEMARNAT, 2002).

En ambos grupos de organismos, el valor de la diversidad beta entre el PNT y el PNC es de 0.81, que no es un valor de disimilitud bajo. Sin embargo, es una de las comparaciones con mayor semejanza en la composición de especies. El PNT y el PNC presentan diferentes tipos de vegetación, por lo que el número de especies compartidas se puede deber a que en ambos sitios, gran parte de las especies son de organismos generalistas, como por ejemplo *Dryophytes arenicolor*, *Dryophytes plicatus*, *Sceloporus spinosus*, *Aspidoscelis gularis* y *Pituophis deppei*; estas especies tienen tolerancia (fisiología y ecología) elevada y hábitos alimentarios amplios, por lo que son capaces de sobrevivir y colonizar un gran número de sitios, incluidos los de alto grado de perturbación (Ramírez-Bautista et al., 2023; Aguillón-Gutiérrez y Ramírez-Bautista, 2015; Ayala-Flores, y Hernández-Salinas, 2016), especies como *Dryophytes plicatus* se han encontrado en canales de aguas negras y *Sceloporus spinosus* en las bardas de casas (Ramírez-Bautista et al., 2023). Entonces, es fácil relacionar la presencia de estas especies ya que el PNT es vecino del Río Tula, un desagüe de aguas negras, y el PNC con su contaminación proveniente de vehículos y uso de insecticidas o fertilizantes, aunque para afirmar que las dos ANPs son sitios perturbados que se componen de especies tolerantes, es necesario realizar estudios sobre la tolerancia de las especies al disturbio.

Por otro lado, las comparaciones que incluyen a CHRN muestran valores de diversidad beta casi tan altos como los que se observan en PNT, algo que corresponde con el mismo patrón del estudio de Tenorio-Mendoza (2016) sobre esta ANP, donde se presentó un alto valor de diversidad beta frente al valor de la diversidad alfa (riqueza de especies de un área), esto puede estar influenciado por la heterogeneidad del ambiente y la transición del bosque mesófilo de montaña a otros tipos de vegetación (ecotonos), lo que genera la existencia de seis tipos de micro hábitats explotados por la herpetofauna: terrestre, arbórea, ripario, fosorial, saxícola y antropogénico (Tenorio-Mendoza, 2016). Otro factor que afecta a la diversidad beta, es el número de especies únicas; por ejemplo, el CHRN presentó un número alto de especies, por lo que es probable que las 19 especies únicas que alberga tengan una área de distribución restringida y exclusiva a esta ANP, lo que explica porque este sitio difiere de las demás ANPs, por el alto valor de la diversidad beta (Rodríguez, et al., 2003). Un ejemplo de esto es la especie *Anolis naufragus* con distribución restringida y que corresponde al bosque mesófilo de montaña (Ramírez-Bautista et al., 2004).

Los valores altos de diversidad beta que muestran las comparaciones que incluyen a PNC pueden ser causados por su cobertura vegetal de bosque de pino y encino (Cruz-Elizalde et al., 2018), ya que en estudios dentro del estado, este tipo de vegetación presenta un alto valor de beta frente a otros tipos de vegetación, como el matorral xerófilo y el bosque mesófilo de montaña (Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2013). Sin embargo, la presencia de bosque de oyamel, que se caracteriza por altos niveles de humedad, imposibilita a los reptiles obtener parches de luz para termorregular (Pérez-Roblero et al., 2019), puede ser una limitante en la composición de especies, lo que influye en la disimilitud de aquellas áreas donde la incidencia de la luz en el sotobosque o las partes más bajas es mayor.

Mientras que, la relación PNM-RBBM, muestra la mayor similitud en ambos dendrogramas y matrices. Estas áreas están separadas por 26 km, y de acuerdo con Bergamin et al. (2017), las distancias de casi 25 km, son los rangos donde dos áreas presentan una alta similitud (baja diversidad beta), además comparten tipos de vegetación, el bosque de pino, bosque de encino, pastizal, y áreas destinadas a agricultura (Ortiz-Pulido et al., 2010; Larios-Lozano et al., 2017). Por lo que, éstas presentan poblaciones de especies compartidas, ya que sitios con condiciones abióticas similares mantienen poblaciones similares debido a las limitaciones de tolerancia y dispersión que los anfibios y reptiles presentan a factores ambientales. (Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012; Patterson y Brown, 1991; Wiens y Donoghue, 2004), lo que podría explicar los bajos valores de diversidad beta.

9.3.- Componente de Recambio y anidamiento

Como era de esperar el componente de recambio fue superior al del anidamiento en casi todas las comparaciones entre ANPs, estos valores corresponden o son patrones similares a otros grupos biológicos, en los que se muestra que en el centro del país, existe un alto recambio (Rodríguez et al., 2003). En el caso de PNT, el aumento del recambio se atribuye a la distancia que mantiene con las demás ANPs (Calderón-Patrón et al., 2012), y en caso de CHRN, PNC, PNM, RBBM, la causa se puede deber a la heterogeneidad o al tamaño del área, puesto que mientras más extensas sean las zonas, mayor será el recambio (Rodríguez et al., 2003).

El componente de anidamiento mostró su mayor valor entre las comunidades de reptiles de RBBM y PNC (0.60), y entre las comunidades de RBBM y PNT (0.41), las que presentaron el valor más alto en anfibios. La RBBM es el ANP con mayor riqueza de especies, albergando a 71 especies, por el contrario, el PNC y el PNT presentan la menor riqueza, con 26 y 19 especies, respectivamente.

Dichas diferencias en la diversidad de especies son capaces de establecer el patrón de anidamiento que existe entre las ANPs: las áreas con menor riqueza de especies son subconjuntos de las áreas con mayor diversidad, debido al solapamiento en la composición de especies entre ellas (Mendoza-Sáenz et al., 2017).

En la asociación RBBM-PNC, puesto que se encuentran separadas una de otra por poca distancia (13 km), el alto anidamiento también podría estar atribuirse con la fragmentación del hábitat; cuando ocurre esta actividad antropogénica, un hábitat queda dividido en parches de diferentes dimensiones y grados de aislamiento lo que comúnmente conduce a extinciones locales. Según diversos autores, estas extinciones son una de las principales causas del anidamiento en sistemas de parches fragmentados ya que originan la pérdida de especies de un sitio a otro (Calderón-Patrón et al., 2012; Luther et al., 2020). Además, debido a la proximidad entre ambas áreas, es probable que también ocurran procesos de colonización entre ellas, lo que fomenta la presencia recurrente de especies generalistas o con alta capacidad de dispersión en ambos sitios, por consiguiente, PNC actuaría como una submuestra de la RBBM (Calderón-Patrón et al., 2012).

En el caso de la relación RBBM-PNT, como están separadas (70 km), se esperaría que el anidamiento fuera bajo, ya que sería difícil para las especies pasar esa barrera, así que el alto anidamiento podría atribuirse al muestreo pasivo. Ocurre porque durante los muestreos es más probable registrar a las especies más abundantes o comunes, mientras que las especies raras o de baja densidad suelen pasar desapercibidas (Quintas, 2017). Por lo tanto, las especies más abundantes a nivel regional tienen mayor posibilidad de presentarse en varias ANPs y por ende de ser reconocidas en la composición de especies de cada área (Calderón-Patrón et al., 2012).

9.4.-Diversidad taxonómica

Al evaluar ensamblajes de comunidades biológicas, los valores de diversidad taxonómica no son inherentes a los de riqueza de especies, por lo tanto, aun cuando existen comunidades cuyos ensamblajes muestran valores altos en su número de especies, sus valores de diversidad taxonómica no muestran la misma tendencia (Pérez-Hernández, 2019). En las ANPs de Hidalgo, la mayor diversidad taxonómica no siempre corresponde a las áreas con el mayor número de especies, habiendo casos donde ANPs con pocas especies muestran los valores más altos.

En los anfibios, el PNM obtuvo los valores más altos en riqueza de especies y en diversidad taxonómica lo que significa que sus ensamblajes de especies se componen de taxones con poco

parentesco. Para que una comunidad presente valores altos de diversidad taxonómica sus especies deben pertenecer al mayor número de géneros posibles y estos deben incorporarse al mayor número de familias posibles; entonces la presencia de familias diversas y géneros monotípicos (géneros con una especie) tienen mayor valor en los ensamblajes (García-de Jesús, 2016). En el caso del PNM, sus especies están presentes en familias con diferentes géneros: Plethodontidae e Hylidae, y cuenta con cinco géneros monotípicos: *Aquiloerycea*, *Isthmura*, *Incilius*, *Craugastor* y *Rheohyla*. Por su parte, el PNC la segunda área con mayor diversidad taxonómica, solo presenta una familia con varios géneros: Plethodontidae, pero tiene cuatro géneros monotípicos: *Ambystoma*, *Aquiloerycea*, *Pseudoerycea* y *Lithobates*. Estas características de los ensamblajes más diversos no están presentes en las áreas con valores bajos de diversidad taxonómica. En RBBM y CHRN hay familias con un solo género: Plethodontidae, Bufonidae, Craugastoridae, Eleutherodactylidae, Ranidae y Scaphiopodidae, y géneros de varias especies (cogenéricas): *Bolitoglossa*, *Craugastor*, *Lithobates*, *Dryophytes* e *Incilius*, mientras que en el PNT todas las familias presentan un solo género y esos géneros se conforman de una o dos especies.

En el caso específico de PNM y el PNC los valores altos de diversidad taxonómica corresponden a lo registrado en otros trabajos donde se han señalado valores similares en estas ANPs (Cruz-Elizalde et al., 2015; Cruz-Elizalde et al., 2023). Una posible causa podría ser que ambos sitios presentan ambientes templados y en este tipo de hábitat ya se ha reportado complejidad en la composición de ensamblajes a causa del número de endemismos y la diversidad de géneros y familias (Cruz-Elizalde et al., 2016; Flores-Villela et al., 2010; Ramírez-Bautista et al., 2006). El PNM y el PNC también son las únicas áreas con valores superiores al promedio en la variación de la diversidad taxonómica (Λ), por lo que contienen taxones sobre representados. Generalmente, los valores altos sugieren que la desigualdad en grupos taxonómicos es consecuencia del impacto por actividades humanas que provocan que los ambientes ya no sean saludables (Juaristi-Videgaray et al., 2014).

El PNT es un caso único, ya que presenta los valores más bajos tanto en diversidad taxonómica como en riqueza de especies. Esta área se mantiene incomunicada del resto de ANPs a causa de la distancia, así que su ensamblaje de especies podría estar determinado por barreras biogeográficas que restringen los procesos de dispersión y colonización a un número limitado de taxones (Cruz-Elizalde, 2013; Vieites et al., 2009). Además, al presentar un ambiente árido, son pocos los taxones de anfibios que pueden conformar el ensamblaje, pues factores como las altas temperaturas, poca disposición de

agua y alta concentración de sales limitan no solo la supervivencia de los anfibios sino también la existencia de especies exclusivas a este tipo de ambientes (Vite-Silva et al., 2010).

En reptiles, CHRN presentó el mayor valor de diversidad taxonómica, pero a diferencia de las comunidades de anfibios, no presenta el valor más alto de riqueza de especies. El ensamble de CHRN está representado por 11 familias, de las cuales nueve están compuestas por diferentes géneros; además, 20 de sus 22 géneros son monotípicos como por ejemplo *Abronia*, *Basiliscus*, *Plestiodon*, *Trimorphodon* y *Crotalus*; estas características en su composición demuestran su alta diversidad taxonómica. El resto de las ANPs (RBBM, PNT, PNM y PNT) no superaron la línea promedio del valor de diversidad taxonómica, esto porque sus ensambles se componen de familias monotípicas: Kinosternidae, Gekkonidae, Teiidae, Boidae, Elapidae, Leptotyphlopidae y Sibynophiidae, y géneros con varias especies: *Sceloporus*, *Lampropeltis*, *Geophis*, *Thamnophis* y *Crotalus*, así mismo las ANPs con baja diversidad taxonómica (Delta), superaron el promedio de la variación de la diversidad taxonómica (Lambda), por lo tanto están sobre representadas en familias como Phrynosomatidae y Colubridae y sub representadas en las familias Gekkonidae y Boidae; esto puede ser el resultado de procesos ecológicos, tales como la competencia (Moreno et al., 2007).

En el caso específico de CHRN, el valor de diversidad taxonómica corresponde a la presencia de 20 especies únicas o raras, es decir aquellas que no han sido registradas en las otras ANPs. Dentro de un paisaje, las especies raras alteran los valores de diversidad taxonómica y ocurren cuando presentan bajas densidades poblacionales, hábitos que dificultan su registro o simplemente pueden estar sujetas al CHRN por presentar distribuciones pequeñas y exclusivas a este ambiente (Ruiz-Gutiérrez et al., 2020; Rodríguez, et al., 2003). Ensamblajes con un bajo número de especies y altos valores en diversidad taxonómica con uniformidad en la representación de sus taxones, pueden ser causados por mecanismos como los modelos de membresía limitada que delimitan la composición al filtrar que especies del pool regional pueden entrar a la comunidad (Moreno et al., 2009; Elton, 1933) además una vez dentro de la comunidad, existen más mecanismos de exclusión influenciados por las interacciones ecológicas (como la competencia) que disminuye el número de especies (Elton, 1933; Moreno et al., 2007).

El PNT, la RBBM, el PNC, y el PNM presentan valores sobre el promedio de la variación de la diversidad taxonómica (Lambda), es decir que sus ensambles se encuentran sobre o sub representados, lo que podría ser causado por procesos ecológicos como la competencia por la oferta de alimento o por

las capacidades fisiológicas como la tolerancia de taxones similares a las variaciones ambientales (Pérez-Hernández, 2019; Moreno et al., 2007; Castañeda-Rivero, 2017). La sobre representación de algunos taxones también podría atribuirse a la perturbación por actividades humanas (Hidalgo et al., 2015), aunque igualmente se debe considerar la historia evolutiva y ecológica de los taxones así como la capacidad innata de algunos sitios para albergar especies relacionadas filogenéticamente, pues pueden proporcionar ambientes, nichos y recursos más favorables para el desarrollo y diversidad de taxones más emparentados (Castañeda-Rivero, 2017).

Por último, este tipo de análisis que evalúan distintos componentes de la diversidad (Riqueza de especies, diversidad beta y taxonómica) permiten entender e identificar patrones ecológicos dentro de una región, así como corroborar los observados en otras comunidades de México. Dichos patrones son relevantes para la conservación puesto que proporcionan información para establecer estrategias eficientes en la protección tanto de áreas naturales como de especies particulares, sobre todo en casos como este, ya que hablamos de áreas destinadas a la conservación que además se encuentran en una zona de transición con complejidad biótica. En los resultados obtenidos identificamos que los valores de recambio son superiores a los del anidamiento así que es necesario implementar estrategias complementarias (Baselga y Rodríguez, 2019), como es la aplicación de prácticas sustentables dentro y alrededor de estas áreas protegidas, por ejemplo, la ganadería de baja intensidad, además del establecimiento de corredores biológicos que unan a las ANPs, como un sistema de reservas archipiélago con el fin de maximizar el número de especies protegidas (Rodríguez, 2009). Aunque deben existir estudios donde se pueda mostrar el comportamiento de la diversidad beta en otros grupos biológicos dentro las ANPs, puesto que este componente muestra diferentes valores en los demás grupos de animales (Rodríguez, 2009).

10.- Conclusión

El número de especies, en conjunto para las ANPs, fue alto, con 118 especies, lo que es un reflejo de la alta diversidad de tipos de ambientes (vegetación), esta cantidad representa el 59% de la herpetofauna del estado, además están incluidas 70 especies endémicas en México. Los resultados sugieren que el número de especies en cada ANP está influenciado por el tipo de vegetación y la heterogeneidad ambiental (microhábitats, humedad, temperatura, entre otros factores) asociada a esta, siendo la de matorral xerófilo perteneciente al PNT la que alberga menor cantidad, y los tipos de bosque (pino, encino y mesófilo de montaña), que se encuentran en PNC, PNM, CHRN y RBBM, los de mayor cantidad. Aunque el número de especies también se atribuye a la perturbación y el cambio de uso de suelo.

Los análisis muestran una alta diversidad beta tanto en anfibios como en reptiles, esta disimilitud en las comunidades de herpetofauna, es causada por la zona de transición de las regiones neártica y neotropical, la distancia que separa a las ANPs, vegetaciones contrastantes entre ANPs, y características específicas de las áreas como la heterogeneidad ambiental, disposición de microhábitats, y el número de especies únicas que albergan. También se observa un patrón de recambio que se atribuye a la heterogeneidad del ambiente, grandes distancias de separación que actúan como barreras para las especies y a la extensión territorial de las áreas. Mientras que el anidamiento, fue el componente de menor valor en la partición de la diversidad beta, a excepción de las asociaciones de comunidades de reptiles en RBBM-PNC y comunidades de anfibios en RBBM-PNT, donde los valores de anidamiento probablemente son altos a causa del solapamiento en la composición de especies, extinciones por fragmentación del hábitat, colonizaciones y muestreo pasivo.

En el caso de la diversidad taxonómica los valores más altos no siempre corresponden a los de con mayor riqueza de especies, habiendo situaciones como las comunidades de reptiles, donde ANPs con pocas especies obtienen el valor más alto de diversidad taxonómica. Esto contrasta con los anfibios donde la ANP con mayor riqueza de especies también fue la más diversa taxonómicamente. Los valores obtenidos pueden estar causados por la composición de cada ensamble (si las familias y géneros eran representados por varios integrantes o si eran monotípicos y el número de especies únicas), interacciones ecológicas como la competencia, historia evolutiva, impacto por actividades humanas y la capacidad innata de las ANPs para albergar diferentes grupos taxonómicos.

Literatura citada

- Aguillón-Gutiérrez, D. R. y Ramírez-Bautista, A. (2015). Anomalías frecuentes en una población de *Hyla plicata* (Anura: Hylidae) expuesta a plomo y hierro durante el desarrollo postembrionario. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 8, 515-529.
- Aguilar-Miguel, X., Casas-Andreu, G., Cárdenas-Ramos, P. J., y Cantellano-de Rosas, E. (2009). Análisis espacial y conservación de los anfibios y reptiles del Estado de México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 16(2), 171-180.
- Alcolado, P. M. (1998). Conceptos e índices relacionados con la diversidad. *Instituto de Oceanología*, 7-21.
- Alfaro-Espinosa, A. M. (2006). Patrones de diversidad de mamíferos terrestres del municipio Santiago Comaltepec, Oaxaca, México. (*Tesis de Licenciatura*). Instituto Politécnico Nacional.
- Almazán-Núñez, R. C., Alvarez-Alvarez, E. A., Sierra-Morales, P., Rodríguez-Godínez, R., Ruíz-Reyes, D. C., Peñaloza-Montaña, M. A., Salazar-Miranda, R. I., Morales-Martínez, M., López-Flores, A. I., Gómez-Mendoza, J. I., Poblete-López, D. K., y Estrada-Ramírez, A. (2020). Diversidad alfa y beta de la avifauna en bosques tropicales húmedos y semihúmedos de la sierra de Atoyac, una región prioritaria para la conservación del sur de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 91.
- Álvarez-del Toro, M. (1960). *Los reptiles de Chiapas*. Instituto Zoológico del estado de Chiapas.
- Álvarez-del Toro, M. (1974). *Los Crocodylia de México: Estudio comparativo*. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables.
- Álvarez-Zúñiga, E., Sánchez-González, A., y Valencia-Ávalos, S. (2010). Los encinos del Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Madera y bosques*, 16(4), 55-66.
- Andrade, G. I., y Reyna, R. (2003). Áreas protegidas en Latinoamérica de Caracas a Durban: un vistazo sobre su estado 1992-2003 y tendencias futuras. *Quito, Ecuador: Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN), Oficina Regional para América del Sur*.
- Arellano, L., y Halffter, G. (2003). Gamma diversity: derived from and a determinant of alpha diversity and beta diversity. An analysis of three tropical landscapes. *Acta zoológica mexicana*, 90, 27-76.

- Arita, H. T. (1993). Riqueza de especies de la mastofauna de México. Avances en el estudio de los mamíferos de México. *Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., México, 1*, 109-128.
- Arita, H. T. y León-Paniagua, L. (1993). Diversidad de mamíferos terrestres. *Ciencias, número especial, 7*. 13-22.
- Arriaga-Ramírez, A. (2023). La diversidad taxonómica, filogenética y funcional. *Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería, (129)*, 56-64.
- Arroyo-Chacón, E., Riechers-Pérez, A., Naranjo, E. J., y Rivera-Velázquez, G. (2013). Riqueza, abundancia y diversidad de mamíferos silvestres entre hábitats en el Parque Nacional Cañón del Sumidero, Chiapas, México. *Therya, 4(3)*, 647-676.
- Ayala-Flores, F., y Hernández-Salinas, U. (2016). Descripción de los hábitos alimentarios de *Aspidoscelis gularis* (Sauria: Teiidae), durante la temporada de lluvias en el sureste de Querétaro, México. *Acta zoológica mexicana, 32(1)*, 120-122.
- Badillo-Saldaña, L. M., Ramírez-Bautista, A., Lara-Tufiño, D., & Berriozabal-Islas, C. (2015). Diversity and conservation status of the herpetofauna for an area from north of Hidalgo, Mexico. *Cuadernos de herpetología, 29(2)*, 131-139.
- Bahia-de Aguiar, P. C., Souza dos Santos-Moreau, A. M., y de Oliveira-Fontes, E. (2013). Áreas naturais protegidas: um breve histórico do surgimento dos parques nacionais e das reservas extrativistas. *Revista Geográfica de América Central, 1*, 195-213.
- Balderas-Valdivia, C. J. y A. González-Hernández. (2024). *Inventario de la Herpetofauna de México*. Herpetología Mexicana. Recuperado el 20 de octubre del 2024 de www.herpetologiamexicana.org/inventario-de-especies/
- Barjau-González, E., Romero, J. R., y Magaña, F. G. (2013). Diversidad taxonómica del ensamblaje de peces arrecifales en la costa oeste de la bahía de La Paz, BCS, México. *Revista biológico agropecuaria Tuxpan, 1(2)*, 34-42.
- Barjau-González, E., Rodríguez-Romero, J., Galván-Magaña, F., y Maldonado-García, M. (2016). Variación estacional de la diversidad taxonómica de los peces de arrecifes rocosos en el suroeste del Golfo de California. *Revista de biología marina y oceanografía, 51(1)*, 11-19.

- Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography* 19, 134-143.
- Baselga, A. (2012). The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. *Global Ecology and Biogeography*, 21(12), 1223-1232.
- Baselga, A., y Orme, C. D. L. (2012). betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in ecology and evolution*, 3(5), 808-812.
- Baselga, A., y Rodríguez, C. G. (2019). Diversidad alfa, beta y gamma: ¿cómo medimos diferencias entre comunidades biológicas?. *Nova acta científica compostelana*, 26.
- Bergamin, R. S., Bastazini, V. A. G., Vélez-Martin, E., Debastiani, V., Zanini, K. J., Loyola, R., y Müller, S. C. (2017). Linking beta diversity patterns to protected areas: lessons from the Brazilian Atlantic Rainforest. *Biodiversity and Conservation*, 26, 1557-1568.
- Briones-Salas, M., Cortés-Marcial, M., y Lavariega, M. C. (2015). Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(3), 685-710.
- Calderón-Patrón, J. M., Moreno, C. E. y Zuria, I. (2012). La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3), 879-891
- Camarillo-Rangel, J. L. (1998). Nota cronológica sobre la herpetología de México. *CIENCIA ergo-sum*, 5(2), 203-206.
- Camarillo-Rangel J. L., y Casas-Andreu, G. C. (2001). Anfibios y reptiles del parque nacional El Chico, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología*, 72(1), 105-123.
- Canales-Gómez, E., Peña-Joya, K. E., y Téllez-López, J. (2021). Diversidad taxonómica alfa y beta del ensamblaje de peces continentales de la cuenca del río Ameca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(1), 8.
- Castaño, J. H., y Corrales, J. D. (2010). Mamíferos de la cuenca del río La Miel (Caldas): diversidad y uso cultural. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 14(1), 56-75.

- Castañeda-Rivero, F. R. (2017). Ecología funcional de los ensamblajes de macroinvertebrados epibentónicos en el norte del Golfo de California. (*Tesis de Maestría*). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Ceballos, G., y Ortega-Baés, P. (2011). La sexta extinción: la pérdida de especies y en el Neotrópico. *Conservación biológica: perspectivas de Latinoamérica*, 95-108.
- Cerón-Carpio, A. B., Contreras-Jiménez, J. L., y De Gante-Cabrera, V. C. (2012). Inventario pteridoflorístico del área de protección de recursos naturales "Cuenca hidrográfica del río Necaxa", porción Puebla, México. *Polibotánica*, (33), 41-55.
- Christen, A. G. (2008). La diversidad alfa, beta y gamma de la mastofauna en la Sierra de Santa Marta, Veracruz, México. *Asociación Mexicana de Mastozoología*, 103.
- Clarke, K. R., y Gorley, R. N. (2006). PRIMER v6: User manual/tutorial. –PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Clarke, K. R., y R. M. Warwick. (1998). A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology* 35: 523-531.
- COEDE (Consejo Estatal de Ecología). (2004). Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas de Hidalgo. Consejo Estatal de Ecología, Gobierno del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México.
- CONABIO (Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2024). *Geoportal de Información Geoespacial*. Recuperado el 20 de octubre del 2024 de http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/dipol/estata/dest23gw
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2003). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT, México.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2005). *Programa de conservación y manejo: Parque Nacional El Chico, México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2021). *Parque Nacional Tula*. SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). Recuperado el 02 de octubre del 2024 de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=142®=7>

- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2022). *Parque Nacional El Chico*. SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). Recuperado el 20 de septiembre del 2024 de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=65®=11>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2022). *Parque Nacional Los Mármoles*. SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). Recuperado el 25 de septiembre del 2024 de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=100®=7>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2023). *Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa*. SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). Recuperado el 27 de septiembre del 2024 de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=117®=5>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2023). *Barranca de Metztitlán*. SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). Recuperado el 25 de septiembre del 2024 de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=9®=7>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2024). *Parque Nacional Tula*. SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). Recuperado el 08 de octubre del 2024 de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=142®=7>
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2024). Áreas Naturales Protegidas Federales de México, septiembre 2024 [Conjunto de datos]. Portal de Información Geoespacial. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/anpsp2024gw
- Cordero-Martínez, G., Mercado-Silva, N., García-de-Jesús, S., Arce, E., Ramírez-Ponce, A., y Mejía-Mojica, H. (2022). Diversidad específica y taxonómica de la ictiofauna del Río Amacuzac, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), 290-306.

- Cruz-Bazán, E. J., Pech-Canché, J. M., y Cimé-Pool, J. A. (2017). Diversidad de mamíferos terrestres en un área privada de conservación en México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(10), 123-133.
- Cruz-Elizalde, R., y Ramírez-Bautista, A. (2012). Diversidad de reptiles en tres tipos de vegetación del estado de Hidalgo, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(2), 458-467.
- Cruz-Elizalde, R. (2013). Patrones de riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en la convergencia de cuatro provincias biogeográficas de México (*Tesis de maestría*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Wilson, L. D., y Hernández-Salinas, U. (2015). Effectiveness of protected areas in herpetofaunal conservation in Hidalgo, Mexico. *The Herpetological Journal*, 25(1), 41-48.
- Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., y Hernández-Salinas, U. (2016). Riqueza, similitud y diversidad taxonómica de los anfibios y reptiles del Valle de México. *Ecología y Conservación de Anfibios y Reptiles de México* (329-346).
- Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Magno-Benítez, I., García-Rosales, A., y Pineda-López, R. (2018). Riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en algunas Áreas Naturales Protegidas del Valle de México. *Ecología y conservación de fauna en ambientes antropizados. REFAMA, CONACYT, UAQ, México*, 5-17.
- Cruz-Elizalde, R., Ochoa-Ochoa, L. M., Flores-Villela, O. A., y Velasco, J. A. (2022a). Taxonomic distinctiveness and phylogenetic variability of amphibians and reptiles in the cloud forest of Mexico. *Community ecology*, 23(1), 87-102.
- Cruz-Elizalde, R., Pineda-López, R., Ramírez-Bautista, A., y Berriozabal-Islas, C. (2022b). Diversity and composition of anuran communities in transformed landscapes in central Mexico. *Community Ecology*, 23(1), 103-114.
- Cruz-Elizalde, R., Hernández-Camacho, N., Pineda-López, R., y Jones, R. W. (2023). Amphibians and reptiles of the Sierra Gorda de Querétaro Biosphere Reserve, Mexico: species richness, conservation status and comparison with other natural protected areas in central Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 94.

- Cruz-Oropeza, O. (2021). Diversidad alfa, beta y gamma de una comunidad de mamíferos en el norte de Sinaloa, México. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Del Río-García, I. N., Espinoza-Ramírez, M. K., Luna-Krauletz M. D., López-Hernández N. U. (2014). Diversidad, distribución y abundancia de mamíferos en Santiago Comaltepec, Oaxaca, México. *Agro Productividad*, 7(5).
- Dugès, A. A. (1896). Reptiles y batracios de los Estados Unidos Mexicanos. *La Naturaleza*, 2(2), 479–485.
- Elton, C. (1933). *The ecology of animals*. Methuen, J. Wiley, London, UK.
- EncicloVida. (2020). *Especies Exóticas Invasoras*. EncicloVida. Recuperado el 25 de octubre del 2024 de <https://enciclovida.mx/exoticas-invasoras>
- Escudero, A., Iriondo, J. M., y Albert, M. J. (2002). Biología de conservación, nuevas estrategias bajo diferentes perspectivas. *Ecosistemas*, 11(3).
- Esparza-Hernández, L. G. (2012). Estudio comparativo de los parques nacionales y las reservas de la biosfera (1899-2000). *Revista de Geografía Agrícola*, (48-49), 7-37.
- Fernández-Badillo, L., y Goyenechea-Mayer Goyenechea, I. (2010). Anfibios y reptiles del valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81(3), 705-712.
- Fernández-Badillo, L., Manríquez-Morán, N. L., Castillo-Cerón, J. M., y Goyenechea, I. (2016). Análisis herpetofaunístico de la zona árida del estado de Hidalgo. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(1), 156-170.
- Figuroa-Castillo, A. (2016). Reptiles del área de protección de recursos naturales de la Cuenca Hidrográfica de Necaxa, Puebla. México. (*Tesis de Licenciatura*). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Flores-Guzmán, A. (2010). Herpetofauna del bosque tropical perennifolio de la localidad de Buenavista, municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo, México. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Flores-Hernández, M. Á. (2019). Herpetofauna del parque nacional los mármoles, Hidalgo, México. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Flores-Villela, O. A. (1993a). Breve historia de la herpetología en México. *Elementos, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, 18, 11-21.
- Flores-Villela, O. A. (1993b). *Herpetofauna mexicana: Lista anotada de las especies de anfibios y reptiles de México, cambios taxonómicos recientes, y nuevas especies = Annotated list of the species of amphibians and reptiles of Mexico, recent taxonomic changes, and new species* (Vol. 17, No. 1993). Carnegie Museum of Natural History.
- Flores-Villela, O., Canseco-Márquez, L., Ochoa-Ochoa, L., Wilson, L. D., Townsend, J. H., & Johnson, J. D. (2010). Geographic distribution and conservation of the herpetofauna of the highlands of Central Mexico. *Conservation of mesoamerican amphibians and reptiles. Utah: Eagle Mountain Publishing Co*, 303-321.
- Fritz, S. A., y Rahbek, C. (2012). Global patterns of amphibian phylogenetic diversity. *Journal of biogeography*, 39(8), 1373-1382.
- Frost, D. R. (2023) *Amphibian Species of the World: An Online Reference. Versions 6.0*. American Museum of Natural History. Recuperado el 25 de octubre del 2024 de <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/>
- Galicia, L., Chávez-Vergara, B. M., Kolb, M., Jasso-Flores, R. I., Rodríguez-Bustos, L. A., Solís, L. E. y Villanueva, A. (2018). Perspectivas del enfoque socioecológico en la conservación, el aprovechamiento y pago de servicios ambientales de los bosques templados de México. *Madera y bosques*, 24(2).
- Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M., y Morrone, J. J. (2012). Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(1), 258-272.
- García, A., Solano-Rodríguez, H., y Flores-Villela, O. (2007). Patterns of alpha, beta and gamma diversity of the herpetofauna in Mexico's Pacific lowlands and adjacent interior valleys. *Animal Biodiversity and Conservation*, 30(2), 169-177.

- García-de Jesús, S., Moreno, C. E., Morón, M. Á., Castellanos, I., y Pavón-Hernández, N. P. (2016). Integrando la estructura taxonómica en el análisis de la diversidad alfa y beta de los escarabajos Melolonthidae en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 1033-1044.
- García-Mello, A. E. (2018). Propuestas de preservación y conservación del hábitat de reptiles en una zona de aprovechamiento de material aluvial del río Tehuantepec, Oaxaca, México. (*Tesis de Maestría*). Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, Oaxaca.
- García-Morales, R., Koller-González, J. M., y Sanaphre-Villanueva, L. (2022). Variación temporal de la diversidad de aves acuáticas de la laguna Chaschoc, Tabasco, México. *Huitzil*, 23(1).
- Gelviz-Gelvez, S. M., y Pavón-Hernández, N. P. (2013). Diversidad de especies arbustivas en una zona semiárida del centro de México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(3), 323-335.
- Gerónimo-Torres, J. D. C., Vázquez, M. D. R. B., y Ríos-Rodas, L. (2022). Incorporando la distintividad taxonómica en estudios de diversidad: Anfibios del Parque Estatal de la Sierra de Tabasco, México. *Ecosistemas*, 31(2), 2294-2294.
- González-Ocampo, H. A., Cortés-Calva, P., Íñiguez-Dávalos, L. I., y Ortega-Rubio, A. (2014). Las áreas naturales protegidas de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma De Aguascalientes*, 60, 7-15
- González, S., y Aponte, H. (2022). Diversidad taxonómica y patrones de diversidad de la flora en humedales de la costa peruana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(180), 730-741.
- Google. (2024). [Distancias de Google Maps que existen entre las cinco Áreas Naturales Protegidas Federales del estado de Hidalgo]. Recuperado el 2 de abril de 2024, de <https://www.google.com.mx/maps/@20.0687274,-98.7143861,11z?entry=ttu>

- Gutiérrez-Novoa, J. R. (1974). Reconocimiento de la fauna herpetológica del Parque Nacional "El Chico". Hgo. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J., Morales-Ortiz, J. A., y Marín-García, L. (2013). Diversidad biológica, distribución y estrategias de conservación de la ictiofauna de la cuenca del río Moctezuma, Centro de México. *Limnetica*, 32(2), 215-228.
- Halffter, G. (2011). Reservas de la biosfera: problemas y oportunidades en México. *Acta zoológica mexicana*, 27(1), 177-189.
- Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P., y Melic, A. (2005). Sobre Diversidad Biológica: el Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma. *Milenio*, 4
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2020). PAST v4: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*.
- Hernández-Flores, S. D., y Rojas-Martínez, A. E. (2010). Lista actualizada y estado de conservación de los mamíferos del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Acta zoológica mexicana*, 26(3), 563-583.
- Hernández-Gómez, J. A. (2015). Historia de la herpetología en México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hernández-Salinas, U., y Ramírez-Bautista, A. (2013). Distribución de la herpetofauna en cuatro tipos de vegetación del estado de Hidalgo, México. *Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas*, 3, 5-12.
- Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Wilson, L. D., Berriozabal-Islas, C., Johnson, J. D., y Mata-Silva, V. (2023). Taxonomic and functional diversity of the amphibian and reptile communities of the state of Durango, Mexico. *Community Ecology*, 24(2), 229-242.
- Herrera-Valdivia, E., López-Martínez, J., Vargasmachuca, S. C., y García-Juárez, A. R. (2016). Diversidad taxonómica y funcional en la comunidad de peces de la pesca de arrastre de camarón en el norte del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(2), 587-602.

- Hidalgo, G., Toledo, W., y Granados-Barba, A. (2015). Diversidad y distinción taxonómica de la macrofauna en fondos blandos de la plataforma norte y suroccidental cubana. *Latin american journal of aquatic research*, 43(5), 845-855.
- Higgs, A. J., y Usher, M. B. (1980). Should nature reserves be large or small?. *Nature*, 285(5766), 568-569.
- Huitzil-Mendoza, J. C. (2007). Herpetofauna de dos localidades en la región norte de Zimapán, Hidalgo. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (1997). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie I (continuo nacional) [Conjunto de datos]. Portal de Información Geoespacial. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250kcs1agw
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional) [Conjunto de datos]. Portal de Información Geoespacial. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System.). (2024). *Buscador del Sistema Integrado de Información Taxonómica*. Integrated Taxonomic Information System. Recuperado el 20 de octubre del 2024 de <https://doi.org/10.5066/F7KH0KBK>
- IUCN. (1994). Guidelines for Protected Area Management Categories. *IUCN, Cambridge, UK and Gland, Switzerland*.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). (2024). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-2*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Recuperado el 27 de octubre del 2024 de <https://www.iucnredlist.org>.
- Juaristi-Videgaray, D., Barjau-Gonzalez, E., Vadillo-Romero, E., y Piera-Romo, A. (2014). Variation in taxonomic diversity of the fish assemblage associated with soft bottoms in San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, Mexico. *J Biodivers Biopros Dev*, 1(118), 2.

- Koleff, P., Soberón, J., Arita, H. T., Dávila, P., Flores-Villela, O., Golubov, J., y Rodríguez, P. (2008). Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. *Capital natural de México*, 1, 323-364.
- Larios-Lozano, O., Valencia-Herverth, J., Bravo-Cadena, J., Guzmán-Arias, E., y Ortiz-Pulido, R. (2017). Aves del Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 944-959.
- Leal, J. D. D. V., Figueroa, C. J. P., Chávez, E. J. G., Campillo, L. M. G., Zayas, E. E. M., Ruiz, L. J. R. y Ordoñez, E. J. M. (2014). LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS HOY EN DÍA. *Kuxulkab*, 20(39).
- Lemos-Espinal, J. A., y Smith, G. R. (2015). Amphibians and reptiles of the state of Hidalgo, Mexico. *Check List*, 11(3).
- List, R., Rodríguez, P., Pelz-Serrano, K., Benítez-Malvido, J., y Lobato, J. M. (2017). La conservación en México: exploración de logros, retos y perspectivas desde la ecología terrestre. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 65-75.
- López-Pérez, A., Granja-Fernández, R., Aparicio-Cid, C., Zepeta-Vilchis, R. C., Torres-Huerta, A. M., Benítez-Villalobos, F., y Valencia-Méndez, O. (2014). Corales pétreos, equinodermos y peces asociados a comunidades y arrecifes coralinos del Parque Nacional Huatulco, Pacífico sur mexicano. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(4), 1145-1159.
- Luther, D. A., Cooper, W. J., Wolfe, J. D., Bierregaard Jr, R. O., Gonzalez, A., y Lovejoy, T. E. (2020). Tropical forest fragmentation and isolation: Is community decay a random process?. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01168.
- Maciel-Mata, C. (2013). Análisis de la diversidad taxonómica de la familia Anguillidae (Squamata: Sauria) en México, con base en modelos de distribución espacial (Tesis de Maestría) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Magno-Benítez, I. (2013). Comparación de la riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en dos localidades con diferente grado de urbanización en la periferia de la ciudad de

- Pachuca, Hidalgo, México. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Martín-Regalado, C. N., Gómez-Ugalde, R. M., y Cisneros-Palacios, M. E. (2011). Herpetofauna del cerro Guiengola, istmo de Tehuantepec, Oaxaca. *Acta zoológica mexicana*, 27(2), 359-376.
- Medina-Romero, M., Castillo-Cerón, J., y Goyenechea, I. (2016). Riqueza herpetofaunística potencial y específica en la provincia biogeográfica de la Sierra Madre Oriental. *Ecología y Conservación de Anfibios y Reptiles de México Especial*, 4, 1-26.
- Mendoza-Sáenz, V. H., Horváth, A., Ruiz-Montoya, L., Escalona-Segura, G., y Navarrete-Gutiérrez, D. A. (2017). Patrones de diversidad de murciélagos en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Mastozoología neotropical*, 24(2), 365-387.
- Mezhua-Velázquez, M. J., Serna-Lagunes, R., Torres-Cantú, G. B., Pérez-Gracida, L. D., Salazar-Ortiz, J., y Mora-Collado, N. (2022). Diversidad de mamíferos medianos y grandes del Ejido Zomajapa, Zongolica, Veracruz, México: implicaciones de manejo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 9(2).
- Miranda, F., y Hernández, E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Botanical Sciences*, (28), 29-179.
- Monroy-García, Y. (2009). Diversidad beta de la mastofauna terrestre del estado de Oaxaca, México. (*Tesis de Maestría*). Instituto Politécnico Nacional.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E. y Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1249-1261.
- Moreno, C. E., Castillo-Campos, G., y Verdú, J. R. (2009). Taxonomic diversity as complementary information to assess plant species diversity in secondary vegetation and primary tropical deciduous forest. *Journal of Vegetation Science*, 20(5), 935-943.
- Moreno, C. E., Verdú, J., y Arita, H. (2007). Elementos ecológicos e históricos como determinantes de la diversidad de especies en comunidades. *Monografías Tercer Milenio Sociedad Entomológica Aragonesa*, 7, 179-191.

- Morrone, J. J. (2005). Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 76(2), 207-252.
- Morrone, J. J., Escalante, T., y Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa*, 4277(2), 277-279.
- Navarrete, D., y Halffter, G. (2008). Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) diversity in continuous forest, forest fragments and cattle pastures in a landscape of Chiapas, Mexico: the effects of anthropogenic changes. *Biodiversity and Conservation*, 17, 2869-2898.
- Neeson, T. M., Van Rijn, I., y Mandelik, Y. (2013). How taxonomic diversity, community structure, and sample size determine the reliability of higher taxon surrogates. *Ecological applications*, 23(5), 1216-1225.
- Ortiz-Pulido, R., Bravo-Cadena, J., Martínez-García, V., Reyes, D., Mendiola-González, M., Sánchez, G., y Sánchez, M. (2010). Avifauna de la reserva de la biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81(2), 373-391.
- Quintas, A. G. (2017). Efecto de las migraciones sobre la estructura de anidamiento de los ensamblajes de aves en cayos del archipiélago de los Jardines de la Reina, Cuba. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad de la Habana.
- Palacios-Salgado, D. S. (2011). Patrones latitudinales de composición y diversidad funcional de peces asociados a la pesca de camarón del Pacífico Mexicano (*Tesis de Doctorado*) Instituto Politécnico Nacional, México.
- Partida-Lara, R., Enríquez, P.L., Pérez, J. R. V., y de Bonilla, E. P. D. (2018). Estructura espacio-temporal de la diversidad taxonómica y funcional de colibríes en la reserva de la biosfera el Triunfo, Chiapas, Mexico. *Ornitología Neotropical*, 29, 37-50.
- Patterson, B. D. y Brown J. H. (1991). Regionally nested patterns of species composition in granivorous rodent assemblages. *Journal of Biogeography* 18:395-402.
- Pérez-Hernández, C. X. (2019). *Distintividad taxonómica: Evaluación de la diversidad en la estructura taxonómica en los ensamblajes*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 285-306.

- Pérez-Roblero, C. Y., Sánchez-Trejo, R., Corcuera, P., Zavala-Hurtado, J. A., y Zárata-Hernández, R. (2019). Herpetofauna de la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ), México: Análisis de su diversidad en tres hábitats distintos. *Acta zoológica mexicana*, 35.
- Pineda-López, R. y Colín-Martínez, J. C. (2023). Herpetofauna en un paisaje rural de la Sierra Madre Oriental, San Luis Potosí, México. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 6(2), e387-136.
- Priego-Santander, Á., Moreno Casasola, P., Palacio Prieto, J. L., López Portillo, J., y Geissert Kientz, D. (2003). Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. *Investigaciones geográficas*, (52), 31-52.
- R Core Team. (2024). R v4: A language and environment for statistical computing. Vienna: *for statistical computing*.
- Ramírez-Bautista, A., Díaz-Marín, C. A., García-Rosales, A., y Berriozabal-Islas, C. (2023). ¿Atrapados, sin salida?: El caso de los anfibios y reptiles en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, México. *Biología y Sociedad*, 6(11), 34-41.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Lara-Tufiño, D., Mayer-Goyenechea, I. G., y Castillo-Cerón, J., M. (2014). *Los anfibios y reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, biogeografía y conservación*. Sociedad Herpetológica Mexicana, Mexico City, Mexico.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., y Berriozabal-Islas, C. (2021). Factores que amenazan la biodiversidad de anfibios y reptiles. *La Biodiversidad de Hidalgo. Estudio de Estado*, 411-420.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández Salinas, U., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Moreno-Lara, I., DeSantis, D. L., Johnson, J. D., García-Padilla, E., Mata-Silva, V., y Wilson, L. D. (2020). The herpetofauna of Hidalgo, Mexico: composition, distribution, and conservation status. *Amphibian and Reptile Conservation*, 14(1), 63.
- Ramírez-Bautista, A., Hernández-Salinas, U., Mendoza-Quijano, F., Cruz-Elizalde, R., Stephenson, B. P., Vite-Silva, V. D., y Leyte-Manrique, A. (2010). Lista anotada de

los anfibios y reptiles del estado de Hidalgo, México. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*.

- Ramírez-Bautista, A., F. Mendoza Quijano y M. C. Arizmendi. (2004). *Anolis naufragus*. Estatus y conservación de algunos anfibios y reptiles de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO), Universidad Nacional Autónoma de México. *Bases de datos SNIB-CONABIO*. Proyecto W043. México. D.F.
- Ramírez-Bautista, A., Canseco-Márquez, L., & Mendoza-Quijano, F. (2006). *Inventarios herpetofaunísticos de México: Avances en el conocimiento de su biodiversidad*. Sociedad Herpetológica Mexicana A.C.
- Ramírez-Bautista, A., Torres-Hernández, L. A., Cruz-Elizalde, R., Berriozabal-Islas, C., Hernández-Salinas, U., Wilson, L. D., y Mata-Silva, V. (2023). An updated list of the Mexican herpetofauna: with a summary of historical and contemporary studies. *ZooKeys*, 1166, 287.
- Ramírez-Cruz, S., Sánchez-González, A., y Tejero-Díez, D. (2009). La Pteridoflora del Parque Nacional Los Mármoles, Hidalgo, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 84, 35-44.
- Ramírez-Hernández, R. D., Moreno, C. E., Pérez-Hernández, C. X., Martínez-Falcón, A. P., y Castellanos, I. (2022). Diversidad de escarabajos tigre (Carabidae: Cicindelinae) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e934162-e934162.
- Ramírez-Pérez, A. (2008). Herpetofauna del parque nacional El Chico y su zona de influencia, Hidalgo, México. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Randell-Badillo, J. (2008). Ordenamiento ecológico territorial en los municipios donde se ubica el Parque Nacional Los Mármoles. Gobierno del Estado de Hidalgo. *Consejo Estatal de Ecología, Pachuca de Soto, México*.
- Real, R., y Vargas, J. M. (1996). The probabilistic basis of Jaccard's index of similarity. *Systematic biology*, 45(3), 380-385.

- Rioja-Paradela, T., Carrillo-Reyes, A., Castañeda, G., y López, S. (2013). Diversidad herpetofaunística al norte de la laguna Inferior, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Acta zoológica mexicana*, 29(3), 574-595.
- Rivera-Rivera, E., Enríquez, P. L., Flamenco-Sandoval, A., y Rangel-Salazar, J. L. (2012). Ocupación y abundancia de aves rapaces nocturnas (Strigidae) en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3), 742-752.
- Rodríguez, P., Soberón, J., y Arita, H. T. (2003). El componente beta de la diversidad de mamíferos de México. *Acta zoológica mexicana*, (89), 241-259.
- Rodríguez, P. (2009). La diversidad beta de México: Avances e implicaciones en la conservación de la biodiversidad. *Biodiversitas*, 84, 6-10.
- Ruiz-Gutiérrez, F., Chávez, C., Sánchez-Rojas, G., Moreno, C. E., González-Salazar, C., Ruiz-Gutiérrez, B. O., y Torres-Bernal, R. (2020). Mamíferos medianos y grandes de la Sierra Madre del Sur de Guerrero, México: evaluación integral de la diversidad y su relación con las características ambientales. *Revista mexicana de biodiversidad*, 91.
- Rzedowski, J. (2005). 1ra. Edición digital, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). *Vegetación y uso de suelo: Cambios en el uso del suelo*. SEMARNAT. Recuperado el 11 de noviembre del 2024 de https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.2_Cambios/index.htm
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). *Vegetación y uso de suelo*. Recuperado el 11 de noviembre del 2024 de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen/02_vegetacion/cap2.htm
- SEMARNAT. (2010). Guía de campo de los reptiles venenosos del área de protección de recursos naturales "Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa". *Secretaría de Medio*

Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.

- SEMARNAT. (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. SEMARNAT. México.
- Sgarlatta, M. P. (2015). Análisis de la diversidad taxonómica y funcional de la comunidad de peces de arrecifes rocosos y de bosques de macroalgas de Baja California, México. *México (Tesis de Maestría)*, CICESE, Ensenada, Baja California, México.
- Smith, H. M., y Taylor, E. H. (1945). *An annotated checklist and key to the snakes of Mexico* (Nos. 187–189). Bulletin of the United States National Museum.
- Smith, H. M., y Taylor, E. H. (1948). *An annotated checklist and key to the Amphibia of Mexico* (No. 194). Bulletin of the United States National Museum.
- Smith, H. M., y Taylor, E. H. (1950). *An annotated checklist and key to the reptiles of Mexico exclusive of the snakes* (No. 199). *Bulletin of the United States National Museum*.
- Smith, H. M., y Smith, R. B. (1976). *Synopsis of the herpetofauna of Mexico: Vol. 3. Source analysis and index for Mexican reptiles*. Johnson Publishing Company.
- Tenorio-Mendoza, R. (2016). Diversidad herpetofaunística del área natural protegida cuenca hidrográfica del río Necaxa, Puebla. (*Tesis de Maestría*). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Tenorio-Mendoza, R., Martínez-Coronel, M., López-Ortega, G., y Salgado-Ugarte, I. H. (2019). Riqueza herpetológica de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, Puebla, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 5(1), 1-18.
- Torres-Lopez, M., Suazo-Ortuño, I., y López-Toledo L. (2022). Diferencias en los ensambles de anfibios y reptiles entre tipos de vegetación en las estribaciones del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano en el estado de Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita*, (84).

- Uetz, P., Freed, P., Aguilar, R., Reyes, F., Kudera, J. y Hošek, J. (2024). *Buscador de The Reptile Database*. The Reptile Database. Recuperado el 25 de octubre del 2024 de <http://www.reptile-database.org>
- Valdez-Rentería, S. Y., Fernández-Badillo, L., Olvera-Olvera, C. R., Sánchez-Martínez, G., y Goyenechea, I. (2018). Listado actualizado de la herpetofauna de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 4, 29-48.
- Valdez-Villavicencio, J. H., Peralta-García, A., González-Gutiérrez, N. S., Hernández-Morlán, X. I., y Hinojosa-Huerta, O. (2021) Diversidad herpetofaunística de sitios restaurados y perturbados en el delta del río Colorado, Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(4), 9.
- Vargas-Márquez, F. (1997). *Parques nacionales de México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Vargas-Salinas, F., y Aponte-Gutiérrez, A. (2016). Diversidad y recambio de especies de anfibios y reptiles entre coberturas vegetales en una localidad del valle del Magdalena medio, departamento de Antioquia, Colombia. *Biota colombiana*, 17(2), 117-137.
- Vázquez, L. B., y Valenzuela-Galván, D. (2009). ¿Qué tan bien representados están los mamíferos mexicanos en la red federal de áreas naturales protegidas del país?. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 80(1), 249-258.
- Vázquez-Torres, S. M., Carvajal-Hernández, C. I., y Aquino-Zapata, A. M. (2010). Atlas del Patrimonio natural del Estado de Veracruz: Áreas naturales protegidas (pp.235-258). Secretaria de Educación del Estado de Veracruz.
- Vieites, D. R., Wollenberg, K. C., Andreone, F., Köhler, J., Glaw, F., y Vences, M. (2009). Vast underestimation of Madagascar's biodiversity evidenced by an integrative amphibian inventory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(20), 8267-8272.
- Vite-Silva, V. D., Ramírez-Bautista, A., y Hernández-Salinas, U. (2010). Diversity of amphibians and reptiles from the Barranca de Metztitlan Biosphera Reserve in Hidalgo, Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81(2), 473-485.

- Warwick, R.M., y 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.
- Warwick, R.M., y Clarke, K.R. (1998). Taxonomic Distinctness and Environmental Assessment. *Journal of Applied Ecology*, 35(4), 532-543.
- Warwick, R.M., y Clarke, K.R. (2001). Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 39, 207-231.
- Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs* 30(3), 279- 338.
- Wiens, J. J. y M. J. Donoghue. (2004). Historical biogeography, ecology and species richness. *Trends in ecology & evolution*, 19(12), 639-644.
- Zabala-Forero, F., y 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.

Material suplementario

Tabla Suplementaria 1. Lista de las especies de anfibios y reptiles de las cinco Áreas Naturales protegidas de carácter federal del estado de Hidalgo (RBBM=Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, CHRN=Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, PNM=Parque Nacional Los Mármoles, PNC=Parque Nacional El Chico y PNT=Parque Nacional Tula). Además, se observan las categorías establecidas por la IUCN (LC= Preocupación Menor, EN= En Peligro, VU= Vulnerable, CR= Peligro Crítico, DD=Datos Insuficientes y NS= No está evaluado) y por la SEMARNAT (A=Amenazada, PR=Sujeta a protección especial, NS=No enlistado).

ESPECIE	ÁREA NATURAL PROTEGIDA					CONSERVACIÓN	
	RBBM	CHRN	PNM	PNC	PNT	IUCN	SEMARNAT
Orden Caudata							
Ambystomatidae							
<i>Ambystoma velasci</i>				X		LC	PR
Plethodontidae							
<i>Aquiloerycea cephalica</i>	X		X	X		LC	A
<i>Bolitoglossa platydactyla</i>		X				LC	PR
<i>Chiropterotriton chondrostega</i>			X			EN	PR
<i>Chiropterotriton dimidiatus</i>				X		VU	PR
<i>Chiropterotriton magnipes</i>			X			EN	PR
<i>Chiropterotriton mosaueri</i>			X			CR	PR
<i>Chiropterotriton multidentatus</i>				X		EN	PR
<i>Chiropterotriton terrestris</i>		X				CR	NS
<i>Isthmura bellii</i>			X			LC	A
<i>Pseudoerycea altamontana</i>				X		EN	PR
Orden Anura							
Bufonidae							
<i>Incilius nebulifer</i>	X	X	X			LC	NS
<i>Incilius occidentalis</i>	X					LC	NS
<i>Incilius valliceps</i>	X					LC	NS
<i>Rhinella horribilis</i>	X					LC	NS
Craugastoridae							
<i>Craugastor augusti</i>	X		X			LC	NS
<i>Craugastor decoratus</i>		X				LC	PR
<i>Craugastor loki</i>		X				LC	NS

<i>Craugastor mexicanus</i>			X				LC	NS
<i>Craugastor rhodopis</i>			X				LC	NS
Eleutherodactylidae								
<i>Eleutherodactylus longipes</i>					X		LC	PR
<i>Eleutherodactylus verrucipes</i>	X		X		X		LC	PR
Hylidae								
<i>Charadrahyla taeniopus</i>			X				VU	A
<i>Dryophytes arenicolor</i>	X			X	X	X	LC	PR
<i>Dryophytes eximius</i>	X			X	X		LC	PR
<i>Dryophytes plicatus</i>	X	X		X	X	X	LC	A
<i>Rheohyla miotympanum</i>	X	X		X			LC	PR
<i>Smilisca baudinii</i>			X				LC	PR
Ranidae								
<i>Aquarana catesbeiana</i>			X				NS	NS
<i>Lithobates berlandieri</i>	X		X		X		LC	PR
<i>Lithobates montezumae</i>	X						LC	PR
<i>Lithobates neovolcanicus</i>						X	LC	A
<i>Lithobates spectabilis</i>	X	X		X	X		LC	NS
Scaphiopodidae								
<i>Spea multiplicata</i>	X					X	LC	PR
Orden Testudines								
Kinosternidae								
<i>Kinosternon hirtipes</i>	X						LC	PR
<i>Kinosternon integrum</i>				X		X	LC	PR
Orden Squamata								
Anguidae								
<i>Abronia taeniata</i>	X	X		X	X		VU	PR
<i>Barisia imbricata</i>	X	X		X	X		LC	PR
<i>Gerrhonotus infernalis</i>	X			X			LC	NS
<i>Gerrhonotus liocephalus</i>	X						LC	PR
<i>Gerrhonotus ophiurus</i>	X	X		X			LC	NS
Anolidae								
<i>Anolis laevis</i>			X				LC	NS

<i>Anolis naufragus</i>		X				VU	PR
Corytophanidae							
<i>Basiliscus vittatus</i>		X				LC	NS
<i>Corytophanes hernandezii</i>		X				LC	PR
Gekkonidae							
<i>Hemidactylus frenatus</i>	X					LC	NS
Phrynosomatidae							
<i>Phrynosoma orbiculare</i>	X	X	X	X		LC	A
<i>Sceloporus aeneus</i>		X	X			LC	NS
<i>Sceloporus bicanthalis</i>					X	LC	NS
<i>Sceloporus grammicus</i>	X	X	X	X	X	LC	PR
<i>Sceloporus minor</i>	X		X			LC	NS
<i>Sceloporus mucronatus</i>	X				X	LC	NS
<i>Sceloporus parvus</i>	X		X			LC	NS
<i>Sceloporus scalaris</i>			X			LC	NS
<i>Sceloporus spinosus</i>	X		X	X	X	LC	NS
<i>Sceloporus torquatus</i>	X		X	X	X	LC	NS
<i>Sceloporus variabilis</i>	X	X	X			LC	NS
Scincidae							
<i>Plestiodon lynxe</i>	X	X	X	X		LC	PR
<i>Plestiodon tetragrammus</i>	X		X			LC	NS
<i>Scincella gemmingeri</i>	X					LC	NS
<i>Scincella silvicola</i>	X	X				LC	A
Teiidae							
<i>Aspidoscelis gularis</i>	X		X	X	X	LC	NS
<i>Holcosus undulatus</i>		X				LC	NS
Xantusiidae							
<i>Lepidophyma gaigeae</i>			X			VU	PR
<i>Lepidophyma occulor</i>	X					LC	PR
<i>Lepidophyma sylvaticum</i>	X					LC	PR
Boidae							
<i>Boa imperator</i>	X		X			LC	A
Colubridae							
<i>Conopsis lineata</i>	X	X	X	X		LC	NS

<i>Conopsis nasus</i>					X	LC	NS
<i>Drymarchon melanurus</i>	X		X			LC	NS
<i>Ficimia hardyi</i>	X		X			EN	NS
<i>Ficimia variegata</i>	X					DD	NS
<i>Lampropeltis annulata</i>	X					LC	A
<i>Lampropeltis polyzona</i>	X					LC	A
<i>Lampropeltis ruthveni</i>					X	NT	A
<i>Leptophis mexicanus</i>	X		X			LC	A
<i>Masticophis schotti</i>	X		X		X	LC	NS
<i>Masticophis taeniatus</i>	X					LC	NS
<i>Pantherophis emoryi</i>			X			LC	NS
<i>Pituophis deppei</i>	X		X	X	X	LC	A
<i>Salvadora bairdi</i>	X		X		X	LC	PR
<i>Salvadora grahamiae</i>			X			LC	NS
<i>Senticolis triaspis</i>	X		X			LC	NS
<i>Spilotes pullatus</i>		X				LC	NS
<i>Tantilla bocourti</i>	X					LC	NS
<i>Tantilla rubra</i>	X		X			LC	PR
<i>Trimorphodon tau</i>	X		X		X	LC	NS
Dipsadidae							
<i>Diadophis punctatus</i>			X			LC	NS
<i>Geophis latifrontalis</i>	X		X	X		DD	PR
<i>Geophis mutitorques</i>			X			LC	PR
<i>Geophis sartorii</i>	X		X			LC	NS
<i>Geophis semidoliatus</i>			X			LC	NS
<i>Hypsiglena tanzeri</i>	X		X			DD	NS
<i>Leptodeira maculata</i>	X					LC	PR
<i>Leptodeira septentrionalis</i>	X	X				LC	NS
<i>Ninia diademata</i>		X	X			LC	NS
<i>Rhadinaea gaigeae</i>	X		X	X		DD	NS
Elapidae							
<i>Micrurus tener</i>	X		X			LC	NS
Leptotyphlopidae							
<i>Rena dulcis</i>	X					LC	NS

Natricidae							
<i>Nerodia rhombifer</i>	X					LC	NS
<i>Storeria dekayi</i>	X	X				LC	NS
<i>Storeria hidalgoensis</i>	X	X	X			VU	NS
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	X				X	LC	A
<i>Thamnophis melanogaster</i>					X	EN	A
<i>Thamnophis proximus</i>	X					LC	A
<i>Thamnophis pulchrilatus</i>	X				X	LC	NS
<i>Thamnophis scalaris</i>		X				LC	A
<i>Thamnophis scaliger</i>		X			X	VU	A
Sibynophiidae							
<i>Scaphiodontophis annulatus</i>		X				LC	NS
Viperidae							
<i>Bothrops asper</i>		X				LC	NS
<i>Crotalus aquilus</i>	X		X	X		LC	PR
<i>Crotalus atrox</i>	X					LC	PR
<i>Crotalus intermedius</i>					X	LC	A
<i>Crotalus molossus</i>	X		X			LC	PR
<i>Crotalus totonacus</i>			X			LC	PR
<i>Crotalus triseriatus</i>	X	X			X	LC	NS
<i>Metlapilcoatlus nummifer</i>		X				LC	A
<i>Ophryacus undulatus</i>		X				VU	PR