
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

Estado de la herpetofauna mexicana respecto al cambio climático: Una revisión bibliográfica

QUE PRESENTA LA ALUMNA

Flores Herrera Katherin

2172033066

ASESORA INTERNA



Dra. Cortes Marcial Malinalli

Número económico 40409

ASESORA EXTERNA



Dra. Ochoa Ochoa Leticia Margarita

México, CDMX.

Junio, 2023

Resumen

El cambio climático es considerado una gran amenaza para la biodiversidad, sin embargo, aún existen dudas sobre cómo los cambios ambientales afectan a diferentes grupos taxonómicos. Las especies de anfibios y reptiles son de los grupos biológicos más vulnerables ante el cambio climático, ya que pueden tener efectos negativos en todos los aspectos de su historia de vida. La declinación de este grupo biológico puede causar graves problemas, debido a que son componentes esenciales para el correcto funcionamiento de gran parte de los ecosistemas. En México, se concentra la mayor diversidad de herpetofauna, con un alto porcentaje de endemismo, por lo que el conocimiento de este grupo es de gran importancia a nivel mundial, además, en el país se presentan las condiciones adecuadas para que se permita su diversificación. Actualmente, la información de los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana es muy escasa y se encuentra muy dispersa, por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue compilar una base de datos de literatura con información acerca de los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana, así como evaluar el estado del conocimiento respecto al cambio climático y la herpetofauna. Para ello, se realizó una búsqueda y compilación bibliográfica, seleccionando las investigaciones que documenten y evalúen cuál es el estado de la herpetofauna mexicana respecto al cambio climático. De la información obtenida se realizó un análisis sobre los factores que son comúnmente analizados en los estudios de herpetofauna y cambio climático. Se encontraron y revisaron un total de 23 investigaciones. De estos estudios, se proyectó que sólo la especie *Dipsosaurus dorsalis* tendrá efectos positivos en un futuro. Asimismo, se reportaron resultados tanto negativos como positivos en cuatro investigaciones. Las investigaciones restantes (18) proyectan que las especies sufrirán efectos negativos en un futuro. Los resultados recopilados son un acercamiento para aumentar el conocimiento de la vulnerabilidad de las especies de herpetofauna mexicana ante el cambio climático, por lo cual, es fundamental generar más información detallada sobre este fenómeno. Asimismo, es necesario realizar análisis estrictos para la protección de las especies y sus hábitats, especialmente para las que se pronostican que sufrirán las disminuciones más drásticas.

Palabras clave

Herpetofauna; Cambio climático; México; Extinción; Distribución

<i>Introducción</i>	1
<i>Marco teórico</i>	2
Cambio climático	2
Impacto del cambio climático en la herpetofauna	2
Importancia de la herpetofauna en México	3
<i>Objetivo general</i>	4
Objetivos particulares	4
<i>Metodología</i>	4
Búsqueda y compilación de información	4
Revisión y selección de literatura	4
Extracción de datos y análisis de la información	4
Base de datos de literatura	5
<i>Resultados</i>	5
<i>Discusión</i>	14
<i>Conclusiones</i>	17
<i>Referencias</i>	17
<i>Anexos</i>	21
Apéndice	21

Introducción

El cambio climático es generado por una mezcla de problemas ambientales a nivel global (Johnson *et al.*, 2017), es la modificación reconocible del estado del clima en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que se mantiene durante largos periodos de tiempo, ya sea decenios o periodos de tiempo más largos (IPCC, 2013). Con el avance de las investigaciones científicas, se permite afirmar que las actividades humanas probablemente son las responsables de este cambio, por lo menos durante los últimos cincuenta años (Camilloni, 2008). Como consecuencia, se acelera de manera directa la pérdida de biodiversidad (Cadena-Rico *et al.*, 2020), provocando cambios en los ecosistemas (González-Elizondo, *et al.*, 2003).

La respuesta biológica al cambio climático perjudica a distintos niveles de organización (Toranza *et al.*, 2012), afectando de diversas maneras y según Hughes (2000) se pueden dividir en cuatro categorías (1) Fisiología: cambios en la temperatura, concentración de CO₂ atmosférico o la precipitación afectarán directamente las tasas metabólicas y de desarrollo en muchas especies; (2) Distribución: los cambios de temperatura provocarán que las especies migren a hábitat diferentes; (3) Fenológicos: los eventos de ciclo de vida desencadenados por señales ambientales, podrían alterarse, lo que provocaría un desacoplamiento de las relaciones fisiológicas entre especies y (4) Adaptación: las especies con tasas de crecimiento demográficas rápidas y tiempos generacionales cortos pueden sufrir cambios microevolutivos *in situ*. La herpetofauna es particularmente susceptible a experimentar el impacto que genera el cambio climático (Renken *et al.*, 2004), en anfibios se ha observado que puede tener impactos directos en las variaciones fisiológicas, reproductivas y de comportamiento de las especies o de manera indirecta en la disponibilidad de alimento y cambios en el hábitat (Blaustein *et al.*, 2010); pudiendo tener consecuencias en la fecundidad, supervivencia a depredadores, exposición a la desecación, alteración en la proporción de sexos (Laufer, 2012).

México es uno de los países con mayor diversidad de herpetofauna y con un alto porcentaje de endemismo (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006), por lo que el conocimiento de la herpetofauna mexicana es de gran importancia a nivel mundial, ya que son componentes esenciales para el correcto funcionamiento de gran parte de los ecosistemas (Cadena-Rico *et al.*, 2020). Los anfibios y reptiles forman parte indispensable de las redes tróficas, además ocupan un papel como depredadores y presas, esto permite que sus poblaciones se mantengan en equilibrio, y también contribuye al equilibrio de otros grupos de vertebrados e invertebrados con los que coexisten (Vitt y Janalee, 2014), sin embargo, estas especies están en gran peligro (Johnson *et al.*, 2017) y pueden desaparecer debido al cambio climático (Catenazzi, 2015).

No obstante, el conocimiento de la herpetofauna de México es escaso, debido a que diversas regiones del país siguen sin ser estudiadas (Johnson *et al.*, 2017), aunado a esto, la literatura que existe sobre el tema es escasa y se encuentra dispersa en diversas fuentes de información, por lo tanto, es importante conocer el estado actual de la herpetofauna

mexicana respecto al cambio climático, por lo que el objetivo de esta investigación es compilar una base de datos de literatura que contenga información acerca de los efectos del cambio climático en anfibios y reptiles mexicanos, así como evaluar el estatus del conocimiento de la herpetofauna mexicana respecto al cambio climático.

Marco teórico

Cambio climático

El “cambio climático” según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (U. N., 1992) lo define como un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables. Algunas alteraciones visibles y recurrentes son las variaciones en el nivel del mar, la emisión de aerosoles a la atmósfera, aumentó en las emisiones de dióxido de carbono, así como los cambios de reflexión terrestre y los cambios en el campo magnético exterior, por mencionar algunos (Miller, 2007), dando como resultado climas extremos que alteran seriamente los ecosistemas, sin embargo, se observa que las reacciones más notables e inmediatas son y serán en la fauna, más que los hábitats (Camacho, 2012).

La modificación del clima ya ha afectado a los ecosistemas tanto naturales como antropogénicos (World Bank, 2008), además, presenta un claro potencial para afectar de forma directa o indirecta a la biodiversidad (Nava-González, 2014). Los efectos del cambio climático a nivel de organismo y poblaciones son múltiples y pueden propagarse a niveles superiores de organización, alterando los patrones geográficos de diversidad, cambiando la distribución de las especies e incluso provocando extinciones locales y globales (Hickling *et al.*, 2006). Además, dichas modificaciones influyen de forma sinérgica con la pérdida de hábitat y la invasión de especies, provocando que aumente la vulnerabilidad de las especies nativas (Martínez-Meyer, 2017). También este cambio ocurre a una velocidad más rápida de la que han experimentado los seres vivos en su historia evolutiva, lo cual incrementa el riesgo de extinción (Beaumont *et al.*, 2011). Por lo tanto, surge una preocupación, ya que muchas especies no tendrán la capacidad de superar los desafíos de un clima que cambia drásticamente.

Impacto del cambio climático en la herpetofauna

La herpetofauna es un grupo taxonómico muy diverso y de gran importancia, sin embargo, se encuentra entre los grupos más vulnerables a los efectos del cambio climático (Pounds *et al.*, 2005). Los anfibios requieren condiciones particulares para subsistir (Catenazzi, 2015), ya que para la gran mayoría su ciclo de vida es en parte acuático y en parte terrestre, esto los convierte en organismos doblemente vulnerables, debido a la perturbación en el agua y la tierra; por ejemplo, en el agua, algunas especies tienen requisitos estrictos de temperatura (Mattoon, 2000).

Los anfibios son el grupo más vulnerable, en comparación con los reptiles, debido a las condiciones diferentes que requieren para subsistir, a pesar de ser muy abundantes en algunas áreas o regiones actualmente se encuentran amenazados por diversos factores y muchas de sus poblaciones han disminuido o se sospecha que están disminuyendo (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006). En cuanto a los reptiles, los declives de diversas poblaciones son semejantes a los que experimentan los anfibios de acuerdo con la amplitud taxonómica y la distribución geográfica (Gibbons *et al.*, 2000), y puede tener un mayor impacto en aquellos organismos donde la temperatura determina el sexo de los organismos (Janzen, 1994), por lo tanto, la adaptación de las especies ante los cambios dependerá de su viabilidad genética, sus tolerancias fisiológicas y de la capacidad de dispersión y migración (Urbina-Cardona, 2011).

Además, el cambio climático provoca pérdida de hábitat, siendo uno de los factores importantes que contribuye a la disminución de la herpetofauna, debido a sus limitadas capacidades de dispersión (Gibbons *et al.*, 2000). Algunos estudios sugieren que la diversidad de anfibios puede disminuir en áreas donde se realiza aprovechamiento forestal por el descenso de la humedad, por otra parte, la diversidad de reptiles puede incrementar por el aumento de la temperatura (Fredericksen *et al.*, 2000).

Importancia de la herpetofauna en México

México es considerado el quinto país con mayor diversidad de anfibios en el mundo (CONABIO, 2021) y en segundo lugar con mayor diversidad de reptiles (CONABIO, 2020), además cuenta con un alto porcentaje de endemismos, actualmente se registra un aproximado de 420 especies de anfibios (291 endémicas) y 969 especies de reptiles (579 endémicas) (Vargas-Jaimes *et al.*, 2021).

Los reptiles y los anfibios son parte fundamental de los ecosistemas (Gibbons *et al.*, 2000), ya que contribuyen de manera directa e indirecta a los servicios ecosistémicos (Valencia-Aguilar *et al.*, 2013). Se ha reportado que los anfibios ofrecen beneficios alimenticios y medicinales, asimismo contribuyen al control de plagas nocivas para la salud humana (Hocking y Babbitt, 2014), mientras que los reptiles ofrecen servicios como dispersores de semillas y fuente de alimento (Valencia-Aguilar *et al.*, 2013). También son uno de los grupos de vertebrados que tienen una relación intrínseca con la sociedad rural con un enfoque etnoecológico, ya que, en diversas culturas, forma parte fundamental de su cosmovisión (Ávila-Nájera *et al.*, 2018). En un estudio realizado por Ávila-Nájera y colaboradores (2018) se identificó que en México 103 especies de reptiles y 32 especies de anfibios tienen al menos un uso, representando el 11% y 8% respectivamente, de las especies de herpetofauna descritas del país; además el 10 (31%) especies de anfibios y 64 (61%) especies de reptiles, se encuentran en la lista de especies en riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

En contraparte de la alta riqueza herpetofaunística que presenta México, muchas especies presentan problemas de conservación (Frias-Alvarez *et al.*, 2010). En la actualidad sabemos que el clima se está modificando drásticamente, convirtiéndose en uno

de los retos importantes a los que se enfrenta la herpetofauna, debido a que son animales ectotérmicos. En algunos casos particulares, los efectos del cambio se han visto reflejados en la disminución, cambio o pérdida de la diversidad de anfibios y reptiles (Gibbons *et al.*, 2000). Debido a esto, es importante conocer cuál es el estado actual del conocimiento de la herpetofauna mexicana respecto al cambio climático, por lo tanto, se analizará a través de una búsqueda bibliográfica cómo el cambio climático afecta a la herpetofauna y qué otros factores ambientales intervienen en este proceso.

Objetivo general

Compilar una base de datos de literatura que contenga información acerca de los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana, así como evaluar el estatus del conocimiento de la herpetofauna mexicana respecto al cambio climático.

Objetivos particulares

- Analizar cómo el cambio climático afecta a la herpetofauna.
- Identificar qué factores son comúnmente analizados en los estudios de herpetofauna mexicana y cambio climático.
- Evaluar el estado del conocimiento sobre los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana.

Metodología

Búsqueda y compilación de información

Se realizó una búsqueda y compilación de información por medio de diversas fuentes bibliográficas, como libros, reportes técnicos, normas, revistas de divulgación científica, tesis doctorales y sitios web; se utilizaron ecuaciones de búsqueda y palabras claves en español y en inglés: herpetofauna, anfibios, reptiles, cambio climático, calentamiento global, respuesta, pérdida, estado, biodiversidad y México.

Revisión y selección de literatura

Se revisaron los títulos, resúmenes y conclusiones de la literatura compilada y se seleccionaron todos los documentos relevantes que ayudaron a cumplir con los objetivos de la investigación. Además, se realizó una búsqueda en la sección de referencias de los artículos seleccionados para hallar investigaciones relevantes que no se encontraron en la búsqueda de información.

Extracción de datos y análisis de la información

De la literatura seleccionada se extrajeron datos para el análisis de cómo el cambio climático afecta a la herpetofauna mexicana, además se identificó qué otros factores son comúnmente analizados en los estudios de herpetofauna y cambio climático, y se estimó

cuál es el estado del conocimiento que se tiene respecto a los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana, de acuerdo con la literatura compilada. Estos documentos se leyeron detalladamente para resumir y conjuntar la información.

Base de datos de literatura

Con la literatura consultada se realizó una base de datos que recopilando la información acerca de los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana, se incluyeron todos los datos necesarios como: título de la investigación, referencia bibliográfica, tipo de documento, tipo de estudio, temporalidad, factores estudiados, lugar del estudio, grupos o especies estudiados, resultados, conclusiones y cuál es el impacto reportado (negativo o positivo).

Resultados

Se recopilaron un total de 23 investigaciones, publicadas entre los años 2005 y 2023, previo, a este año no se encontró bibliografía publicada relacionada al tema (Tabla 1). Del total de los trabajos, 13 corresponden a reptiles, siete a anfibios y tres son estudios en conjunto con grupos de mamíferos y plantas (Figura 1).

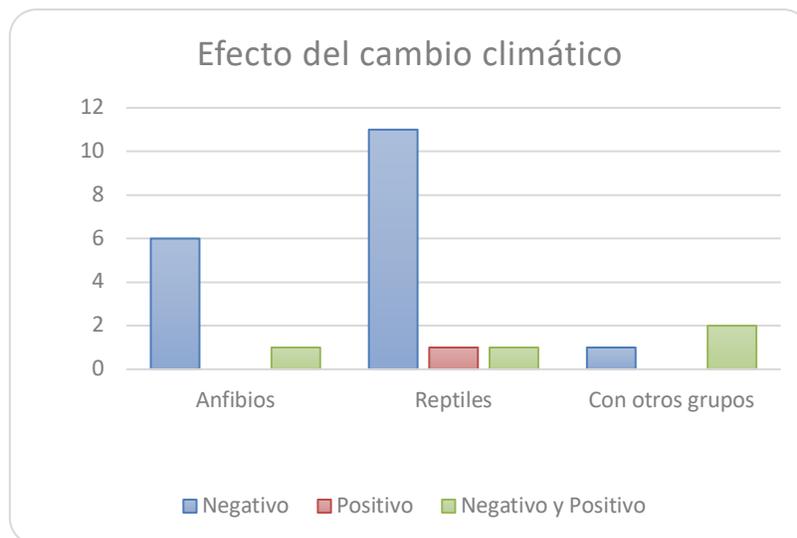


Figura 1. Efectos negativos y positivos del cambio climático en anfibios y reptiles

De las 23 investigaciones, ocho trabajaron en general con organismos (anfibios y/o reptiles) de la zona y los estudios restantes trabajaron con especies y géneros específicos. Respecto a la metodología empleada en las investigaciones, todas las realizaron con modelos, 17 trabajaron con distribución de especies, cinco con nicho ecológico y una con ambos métodos (Figura 2), para crear proyecciones del presente y futuro, usando diferentes escenarios como RCP 4.5 y RCP 8.5. Además, en siete investigaciones se realizó trabajo de campo y dos realizaron experimentos de termorregulación en laboratorio.

Tabla 1. Recopilación de las 23 investigaciones analizadas sobre los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana

Cita abreviada	Tipo de documento	Escenario actual (Año)	Escenario 1 (Año)	Escenario 2 (Año)	Tipo de estudio	Metodos	Lugar del estudio	Grupos o especies	Impacto (Positivo/Negativo)
Lara-Resendiz <i>et al.</i> , (2019)	Artículo de revista científica		2050	2070	M, MC	SDM, Modelos de vulnerabilidad	Desierto de Sonora, San Felipe, Vizcaíno El Comitán - El Mogote	<i>Dipsosaurus dorsalis</i>	Positivo
Oyervides (2014)	Tesis de maestría		2050		M, MC	SDM, Base de datos	México	<i>Plestiodon</i>	Positivo y negativo
Ureta <i>et al.</i> , (2018)	Artículo de revista científica	1961-2000	2015-2039	2075-2099	M	ENM, Lista de especies	México	Mamíferos, reptiles y anfibios	Positivo y negativo
Martínez-Meyer <i>et al.</i> , (2017)	Informe final	2015-2039	2045-2069	2075-2099	M	SDM	Islas de México	Plantas, anfibios, reptiles, aves y mamífero	Positivo y negativo
Vargas-Jaimes, <i>et al.</i> , 2021	Artículo de revista científica		Escenario futuro		M	SDM	Faja Volcánica Transmexicana	<i>Aquiloerycea cephalica</i> , <i>Isthmura bellii</i> , <i>Pseudoerycea robertsi</i> y <i>P. leprosa</i>	Positivo y negativo
Parra-Olea <i>et al.</i> , (2005)	Artículo de revista científica		2050 (con deforestación)	2050 (sin deforestación)	M	SDM	Centro de México	<i>Pseudoerycea cephalica</i> y <i>Pseudoerycea leprosa</i>	Negtaivo
Ochoa-Ochoa <i>et al.</i> , (2012)	Artículo de revista científica	2000	2020	2050/2080	M	SDM, D.beta y alfa/Análisis de sensibilidad	México	Anfibios	Negtaivo
García <i>et al.</i> , (2013)	Artículo de revista científica		2020	2050/2080	M, MC, HC	SDM/ENM	Occidente de México	Anfibios	Negtaivo
Hernández-Guzmán <i>et al.</i> , (2019)	Artículo de revista científica		2070		M	SDM	Centro de México	<i>Ambystoma ordinarium</i>	Negtaivo
Medina <i>et al.</i> , (2020)	Artículo de revista científica	2020			M	ENM, A. de rango-diversidad, Evaluación de la diversidad beta	Del Sur de Estados Unidos hasta el centro de Argentina	<i>Leptodactylus</i>	Negtaivo
Castañero-Quintero <i>et al.</i> , (2022)	Artículo de revista científica	Escenario actual	Escenario futuro		M	SDM, D. filogenética y funcional, Efectividad de las ANP	Península de Yucatán	Anfibios	Negtaivo
Ballesteros-Barrera <i>et al.</i> , (2007)	Artículo de revista científica		2020	2050	M	ENM, Análisis de Jackknife	Decierto de Chihuahua	<i>Uma exsul</i> y <i>U. paraphyga</i>	Negtaivo
Gadsden <i>et al.</i> , (2012)	Artículo de revista científica	2012	2020	2050	M	SDM, Mapa de uso de tierra	Suroeste y sureste de Coahuila	<i>C. antiquus</i> y <i>S. cyanosictus</i>	Negtaivo
Nava-Gonzalez (2014)	Tesis de maestría	2013	2050		M	SDM	Michoacan	Reptiles	Negtaivo
Medina <i>et al.</i> , (2016)	Artículo de revista científica				M, MC, EL	SDM, Termoregulacion, descripción morfológica y Dimorfismo sexual	Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, Quintana Roo	<i>Anolis allisoni</i>	Negtaivo
Ureta Sánchez (2016)	Informe final	1961-2000	2015-2039	2075-2099	M	ENM	Islas de México	Aves, mamíferos, reptiles, anfibios y plantas	Negtaivo
Sinervo <i>et al.</i> , (2017)	Artículo de revista científica				M	SDM, Ecofisiología, A. multivariado y riesgo de extinción	México y California	Reptiles	Negtaivo
González-Fernández <i>et al.</i> , (2018)	Artículo de revista científica		2050		M, MC	SDM	Faja Volcánica Transmexicana	<i>Thamnophis</i>	Negtaivo
Berriozabal-Islas <i>et al.</i> , (2018)	Artículo de revista		2070		M	ENM, A. de similitud del	Sureste de México	<i>Xenosaurus</i>	Negtaivo
García (2018)	Tesis de maestría		2050	2070	M, MC	Métodos mecanicistas (ecología termica) y	Valle de México	<i>Sceloporus torquatus torquatus</i>	Negtaivo
Lara-Résendiz <i>et al.</i> , (2021)	Artículo de revista	2021	2050	2070	M, MC, EL	SDM, Ecología térmica	Baja California	<i>Anniella geronimensis</i> y	Negtaivo
Jaime-Rosales <i>et al.</i> , (2021)	Artículo de revista	Actual	2050	2070	M	SDM	México	<i>Aspidocelis communis</i>	Negtaivo
Sunny <i>et al.</i> , (2023)	Artículo de revista científica	2014	2050		M	SDM	Faja Volcánica Transmexicana	<i>Conopsis</i>	Negtaivo

*SDM: Modelos de distribución de especies; ENM: Modelo de nicho ecológico.

*M: Modelado; MC: Muestreo en campo; EL: Experimento en laboratorio; HC: Análisis histórico comparativo

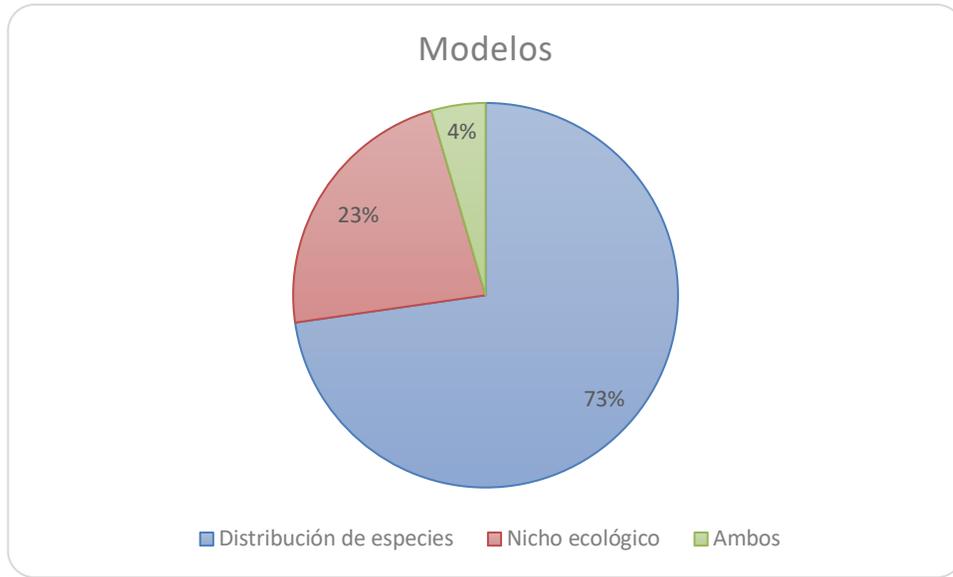


Figura 2. Metodología empleada en las 23 investigaciones recopiladas (modelos)

De los estudios, 18 son artículos de revistas científicas, tres tesis de grado y dos informes finales (Figura 3).

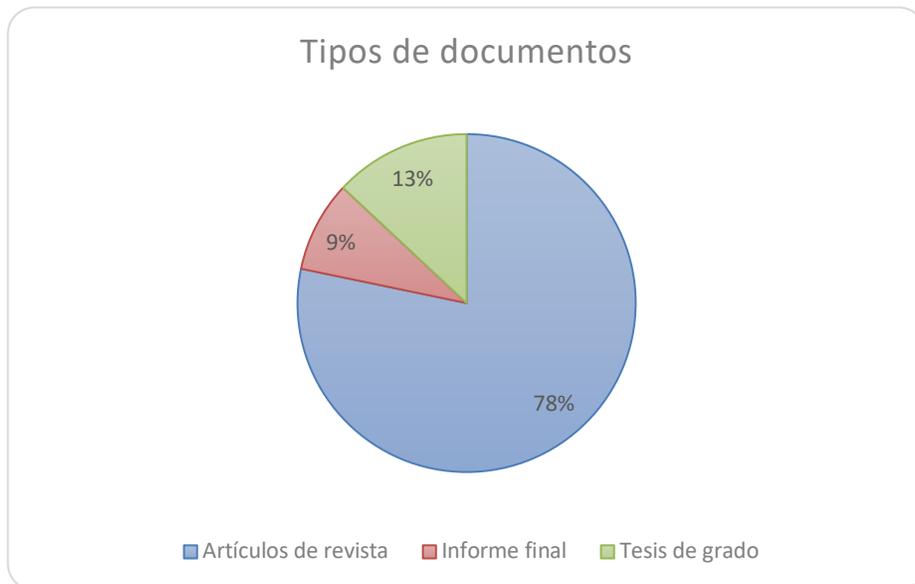


Figura 3. Tipos de documentos recopilados sobre los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana

De las especies estudiadas sólo *Dipsosaurus dorsalis* (Lara-Reséndiz *et al.*, 2019) tendrá efectos positivos en escenarios futuros (Figura 1), los modelos de distribución muestran un incremento en el área del hábitat adecuado, para el escenario 2050-RCP 4.5, su distribución crecerá un 89.9%, en 2070-RCP 4.5 crecerá un 103.05%, en 2050-RCP 8.5 crecerá 125.02% y finalmente, en 2070-RCP 8.5 se registrará un aumento potencial de 239.39%. Lo que sugiere que *D. dorsalis*, es resistente al cambio climático, debido a su alta tolerancia térmica, permitiéndole hacer uso efectivo de los microhábitats disponibles (Tabla 1).

Además, se encontraron cuatro investigaciones que proyectan tanto efectos negativos como positivos en un futuro para especies y géneros de anfibios y reptiles, bajo diferentes escenarios de cambio climático (Figura 1). La distribución del hábitat adecuado para las especies del género *Plestiodon* (*P. bilineatus*, *P. brevirostris*, *P. colimensis*, *P. copei*, *P. dicei*, *P. dugesii*, *P. indubitus*, *P. lynxe*, *P. ochoterenae*, *P. parvulus*, *P. parviaruculatus*, *P. sumichrasti*) se modificará como consecuencia del cambio climático. Para nueve especies los resultados en su distribución del hábitat serán negativos, mientras que para las cuatro especies restantes su distribución será favorecida. Para algunas especies, es probable que se subestimen las condiciones adecuadas, debido a que no se están considerando las interacciones bióticas y las barreras geográficas (Oyervides, 2014).

Se evaluaron 117 especies de reptiles en México, proyectando en los diferentes escenarios que perderán una fracción de su área actual de distribución estimada para el presente y conforme transcurra el tiempo seguirán perdiendo más porcentaje de su área. Pasa lo mismo con las 20 especies de anfibios, teniendo más de una especie con valores de cambio neto negativos. En cambio, si se toma en cuenta un escenario de dispersión total, el valor de cambio resulta positivo en la mayoría de las especies, por lo que si no existen barreras y la capacidad de dispersión es lo suficientemente buena, los cambios en el clima no podrían ser una amenaza importante. Pero esto no sucederá para la mayoría de las especies. Las áreas con mayor número de especies muestran cambios a futuro con desplazarán a hacia al este y al norte (Ureta *et al.*, 2018).

En el análisis de 11 islas de México, se encuentran diversas especies que son potencialmente más sensibles al cambio climático. Los anfibios son de los grupos más afectados, donde 66% de las especies encontradas en el sitio, mostraron pérdida de área de distribución potencial. Cuatro de las seis especies analizadas mostraron una tendencia a perder área de distribución potencial en el futuro. Las especies más afectadas son *Aneides lugubris* y *Pseudacris cadaverina*, las cuales perderían entre el 27 y 29%, respectivamente, de su distribución potencial actual. Por otra parte, *Incilius alvarius* y *Lithobates forreri* presentaron una tendencia a aumentar sus áreas de distribución al futuro, de 31 a 186% y de 3 a 31%, respectivamente, dependiendo del escenario. En cuanto a los reptiles, de las 12 especies estudiadas, cinco presentaron una tendencia a perder área de distribución potencial hacia el futuro, cuatro tienden a ganar y tres mostraron patrones inconsistentes. Las especies *Crotaphytus dickersonae* y *Phyllodactylus unicus* son las que en general perderían más área de distribución potencial, con reducciones de entre 19 y 94%. *Eridiphas selvini*, *Crotalus*

cerastes y *Phyllorhynchus decurtatus*, serán favorecidas por el cambio climático, con aumentos de 5 a 96%, de 24 a 87% y de 16 a 74%, respectivamente, con respecto a su área de distribución potencial actual (Martínez-Meyer, 2017).

La distribución actual de las especies *Pseudoeurycea robertsi*, *P. leprosa* y *A. cephalica* proyecta efectos positivos debido a la cobertura forestal, con una contribución del 39%, 18% y 22% respectivamente. La distribución de estas especies también estuvo limitada por las temperaturas máximas, mientras que *I. bellii* tuvo una distribución más limitada por las temperaturas mínimas. Predijeron que las cuatro especies de salamandras enfrentarían una reducción en su distribución potencial y en la conectividad del paisaje en escenarios futuros de cambio climático y cobertura terrestre. Los escenarios y los diferentes modelos fueron inconsistentes para determinar qué distribución de especies sufriría la mayor reducción en el futuro. Sin embargo, *P. robertsi* sufrió la mayor reducción de conectividad en los escenarios del cambio climático (Vargas-Jaimes *et al.*, 2021).

Las investigaciones restantes (18) proyectan efectos negativos en un futuro para especies y géneros de anfibios y reptiles, bajo diferentes escenarios de cambio climático (Figura 1).

Anfibios

Para el año 2050 se proyecta que para *P. cephalica* y *P. leprosa* su distribución pierde 15% y 75% respectivamente. Considerando la deforestación actual y las proyecciones de la distribución actual prevista de *P. cephalica* su distribución futura se reduce al 68%. Para *P. leprosa* si no se considera la deforestación actual, el área de distribución pronosticada actual disminuye un 65%. También, se espera que ambas especies tengan ganancia en su distribución de 3.5% y 1.26% respectivamente, hacia las cumbres más altas de los volcanes como el Popocatepetl, Pico de Orizaba e Iztaccíhuatl, donde actualmente habita la especie, pero a una menor elevación. Sin embargo, la tendencia está más inclinada a tener pérdidas (Parra-Olea *et al.*, 2005)

Para los anfibios de México, el patrón de diversidad alfa en la línea base (2000) mostró una disminución general en la riqueza de especies con la latitud, asimismo, presentó valores particularmente altos para algunas cadenas montañosas. Las diferencias en los valores de diversidad alfa entre el 2000 y 2020 consistieron en gran medida en disminuciones netas en el número de especies en el norte, la costa norte del Pacífico, la costa sur de Golfo de México y en mayor parte de la península de Yucatán; mientras que los incrementos en el número de especies ocurren a lo largo de la Sierra Madre Oriental y en el sur. Para el 2020 el patrón de diversidad sigue siendo similar al estimado para el año 2000, con un valor máximo de 40 especies. Se espera que para el año 2050 la riqueza de especies se concentre en el sur, con un valor de diversidad alfa más alto a 37 especies. Los cambios principales de diversidad alfa son las extinciones en el norte y la Península de Yucatán. Entre 2050 y 2080, se proyectó que las reducciones en el número de especies se concentrarán en el noroeste, mientras que los aumentos sucederán en el sur. De acuerdo con los modelos, el total de especies de anfibios en México disminuye desde 333 especies en el año base, a 300 en el

2020 (29 endémicas extintas), a 258 (14 endémicas extintas) en 2050 y por último a 254 (2 endémicas extintas) especies en 2080.

Los valores más altos de diversidad beta se observan principalmente en las faldas y laderas de las cordilleras. Para el 2000 y 2020, se sugirió que la diversidad beta aumentaría en la mayor parte del país, con disminuciones concentradas en el norte. Para el 2050, la diversidad beta se piensa que disminuirá, principalmente en la parte sur de la costa del Pacífico. Desde 2050 hasta el 2080, las simulaciones muestran que aproximadamente la mitad del país aumentaría y la otra mitad disminuirá en los valores de diversidad beta. Para 2080 la diversidad beta muestra un aumento en su valor máximo a 9.52 (Ochoa-Ochoa *et al.*, 2012).

Se estima que para el año 2080, los puntos críticos de riqueza potencial de anfibios en el Occidente de México serán más pequeños y aislados de lo que están actualmente. Los valores de riqueza potencial más altos se ubican en altitudes más bajas para el año 2050, con puntos críticos, donde podrían casi desaparecer para el año 2080 en elevaciones altas. Además, los resultados sugieren una reducción promedio de alrededor del 64% en el área geográfica actual de todos los anfibios endémicos en el bosque seco tropical para el año 2080 como consecuencia del cambio climático. Sumado a esto, para los años 2050 y 2080 el 13 y 50% de los anfibios endémicos tendrán reducciones superiores al 40 y 60%, respectivamente, en sus áreas de distribución actual en el occidente de México. Sin embargo, las especies *Craugastor occidentalis*, *Diaglena spatulata*, *Eleutherodactylus modestus* y *Exerodonta sumichrasti* aumentarán en extensión (García *et al.*, 2013).

En todos los escenarios, el promedio del área bajo la curva característica operativa del receptor para las ejecuciones aplicadas fue superior a $0,95 \pm 0,005$, lo cual indica un buen desempeño para las distribuciones geográficas actuales y proyectadas para *Ambystoma ordinarium*. Bajo el escenario más conservador con un área de 45,876 km², se definió un área de distribución potencial promedio de 5,627 km² en las condiciones actuales. De esta distribución se proyecta una disminución a 4,406 km² para BCC-CSM1-1 con RCP 2.6. y una disminución a 4,020 km² para CCSM4 en el escenario RCP 8.5. Las áreas más afectadas son la parte del este del lago de Pátzcuaro, el sureste del área del estudio y los parches aislados (Hernández-Guzmán *et al.*, 2019).

Leptodactylus se distribuye a lo largo de 13,4 millones de km², desde México hasta el centro de Argentina. Bajo el cambio climático, se espera observar una disminución general y un desplazamiento geográfico de los tamaños de rangos específicos, pero no de extinciones de especies. Estos patrones implican una disminución de la riqueza local de especies, lo que contrasta con un aumento regional de la heterogeneidad biótica (Medina *et al.*, 2020).

Los anfibios de la península de Yucatán proyectan una disminución en todas las dimensiones de la diversidad (taxonómica, filogenética y funcional) en los futuros escenarios de cambio climático en comparación con el momento actual (Castaño-Quintero *et al.*, 2022).

Reptiles

Para el año 2050 se espera que la distribución de *Uma exsul* sufra una importante reducción de hábitat y un alto grado de transformación antropogénica. Para *U. parapygas*, es menos severa la transformación de cubierta terrestre, pero se espera un colapso en sus distribuciones para un futuro debido al cambio climático. En general, los escenarios B2 fueron menos drásticos para ambas especies en cualquier periodo de tiempo y bajo este escenario, se espera una reducción del 40% del rango modelado de *U. exul* y 60% para *U. parapygas* para el 2020, mientras que bajo el escenario A2 se espera reducciones del 57% y 73%, respectivamente, para el mismo periodo de tiempo. En 2050 se prevé que el 70% y el 75.5% del área de distribución de *U. exsul* se perderá en B2 y A2, respectivamente, y se espera que todo el rango de *U. parapygas* colapse en ambos escenarios (Ballesteros-Barrera *et al.*, 2007).

En el periodo del 2020 al 2050, se espera que la distribución geográfica de las especies *Crotaphytus antiquus* y *Sceloporus cyanostictus* se vea afectada severamente, debido a que se proyectaron grandes cambios climáticos en el Desierto Chihuahuense central. En general, bajo el escenario A2 (un mundo muy heterogéneo), se espera una reducción del 25% del rango modelado de *C. antiquus* y del 61% para *S. cyanostictus* para el 2020. En 2050, el escenario parece ser inferior, debido a que el rango de *C. antiquus* se reducirá en 75% y para *S. cyanostictus* se reducirá un 84% (Gadsden *et al.*, 2012).

Los modelos proyectados para las especies de reptiles de Michoacán indican que para el 60% se esperarían reducciones mínimas del 4% en la extensión de sus áreas de hábitat apropiado y la durabilidad de sus áreas actuales de hábitat apropiado hasta en un 100%. Además, se espera que las especies migren hacia latitudes y altitudes más elevadas y pese a que para el grupo de reptiles, las variaciones en precipitación y temperatura pueden parecer favorables en un primer acercamiento, el análisis detallado de la capacidad de dispersión del grupo, así como la disponibilidad de factores abióticos y bióticos disponibles en las nuevas áreas de los escenarios proyectados, indican que el grupo podría encontrarse en una situación muy desfavorable (Nava González, 2014).

El análisis de *Anolis allisoni* indica que la efectividad de la termorregulación y el análisis de las horas de restricción sugieren que las altas temperaturas operativas registradas de 12:00 a 15:00 horas en el hábitat son hostiles y obligan a las lagartijas a refugiarse durante un periodo de tiempo de 3 horas de su tiempo diario de actividad, sin embargo, existe una escasez de oportunidades para encontrar sitios de refugios alternativos para la termorregulación en Banco Chinchorro, lo cual hace más vulnerables a los individuos y tienen un mayor riesgo de extinción local al considerar las predicciones futuras del aumento de las temperaturas ambientales (Medina *et al.*, 2016).

Se pronostica dentro de los próximos 50 años extinciones masivas y rápidas del 22% de las poblaciones de reptiles en México. Además, tres de las 15 familias de reptiles se extinguirán para el año 2070. Sin embargo, las extinciones pueden ser atenuadas por la cubierta forestal y la presencia de ambientes montañosos en las áreas de distribución. Si se seleccionan nuevas reservas montañosas adyacentes a los hábitats desérticos y de bosques

tropicales y al implementar controles globales sobre las emisiones atmosféricas de CO₂, las extinciones pueden reducirse por debajo del 11% de las especies y solo una familia de reptiles (Sinervo *et al.*, 2017).

Para *Thamnophis*, en todos los escenarios las variables juntas explican el 60% de la distribución potencial de las especies. La vegetación árida tuvo un efecto negativo importante en la idoneidad del hábitat para todas las especies y la temperatura mínima del mes más frío fue importante en cuatro de los cinco modelos. Todas las especies tuvieron una alta proporción de su distribución potencial en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Sin embargo, de acuerdo con los cálculos del área de alta idoneidad para el presente y el futuro, todas las especies de *Thamnophis* experimentaron reducciones en su distribución en esta región (González-Fernández *et al.*, 2018).

Los proyecciones para el año 2070 sugieren que ocurrirá una disminución primordial en el hábitat adecuado para todas las especies. Entre las especies más afectadas está *X. tzacualtipantecus*, no presentara las condiciones adecuadas para sus requerimientos de nicho climático y *X. phalaroanthereon* perderá el 85.75% de su zona adecuada actual. Además, encontraron valores bajos de conservadurismo del nicho climático entre las especies. Debido a la limitada capacidad de dispersión y la especificidad de hábitat de estas lagartijas, parece poco probable que se produzcan cambios rápidos en la distribución de estas especies frente al cambio climático (Berriozabal-Islas *et al.*, 2018).

En la mayoría de las poblaciones de *S. torquatus torquatus* el desempeño locomotor será poco óptimo, por lo que es probable que las poblaciones disminuirán en su distribución en el Valle de México hasta su desaparición total. Estas áreas presentan un mayor incremento en la temperatura y la precipitación. Asimismo, se indica que los estados que probablemente podrían mantener condiciones para que la especie pudiera sobrevivir en los periodos analizados son: Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Puebla, Jalisco, Oaxaca y San Luis Potosí (García, 2018).

Las especies *Anniella geronimensis* y *Bipes biporus* se enfrentan a un alto riesgo de extinción por el cambio climático en función a la idoneidad del hábitat térmico. Bajo el escenario de RCP 8.5, el pronóstico para la persistencia de las especies es más grave. El hábitat adecuado para *A. geronimensis* disminuye en su distribución en el sur, pero el potencial adecuado se expande hacia el norte. Para *B. biporus* el hábitat adecuado se contraerá significativamente con una reducción asociada en su distribución potencial. Es poco probable que exista un potencial de dispersión latitudinal y altitudinal para mitigar el riesgo de extinción a lo largo de la península de Baja California, debido a que ambas especies tienen poca movilidad y están restringidas a elevaciones altas (Lara-Reséndiz *et al.*, 2021).

Las proyecciones para *Aspidoscelis communis* indican que es muy probable que presenten disminuciones en su área de distribución para el año 2050, se espera que con las condiciones de RCP 2.6 el resultado sea el mismo. Sin embargo, si para ese mismo año se obtienen las conciliaciones máximas de RCP (8.5) el área de distribución disminuye aún más. Para el año 2070 con RCP 2.6 se podría presentar una mayor pérdida en el área de distribución, en comparación con la que se llegara a presentar 20 años antes, con

concentraciones de RCP 8.5 en ese mismo año, es muy probable que la idoneidad de hábitat estará comprometida severamente (Jaime Rosales *et al.*, 2021).

Se encontró que *C. biserialis*, *C. lineata* y *C. nasus* están restringidas por las temperaturas máximas y mínimas, ya que se adaptan a elevaciones altas y climas templados semifríos, por lo tanto, el clima es un factor determinante para la distribución de las especies. Las proyecciones para las especies de *Conopsis* de FVTM indican que se enfrentarán a reducciones en su distribución potencial. *C. lineata* posiblemente perderá 48.5% y *C. biserialis* perderá un 28.7%. Sin embargo, los modelos fueron insuficientes para determinar qué especies sufrirían la mayor reducción en la distribución para el futuro. También se encontró una reducción en la conectividad para las tres especies, mientras que la Sierra de las Cruces y el Corredor Biológico Chichinautzin se determinaron como áreas muy importantes en términos de conectividad (Sunny *et al.*, 2023).

Anfibios y reptiles con otros grupos

Las proyecciones de las especies evaluadas de las islas de México reflejan que, sin considerar ningún tipo de capacidad de dispersión, todas pierden área de distribución potencial. Esta pérdida se puede agravar a lo largo del tiempo. Si el escenario es más extremo (RCP 8.5) y el tiempo es más lejano (2075-2099) mayor vulnerabilidad presentan las especies. Las especies más vulnerables son *Phyllodactylus homolepidurus* y *Petrosaurus thalassinus* perderán (sin dispersión) más del 70% de área de condiciones climáticas óptimas, *Crotalus molossus* hacia final del siglo XXI y baja RCP 8.5 perderá 76% de las condiciones óptimas, ocurre lo mismo con *Lampropeltis zonata* y *Mastigodryas melanolomus*, su pérdida incrementará a lo largo del tiempo y entre escenarios. De las 14 especies que se evaluaron de anfibios todas presentaron pérdidas en su área de distribución potencial, si no se considera su dispersión. En cambio, si se considera la dispersión, existe la posibilidad de llegar a otras áreas que en el futuro tendrán las condiciones climáticas para que las especies se puedan establecer ahí. Las especies más vulnerables en este grupo son *Spea hammondi*, *Anaxyrus californicus* y *Anaxyrus punctatus* (Ureta, 2016).

Factores estudiados

El factor ambiental que es más analizado en los estudios de herpetofauna mexicana y cambio climático es la temperatura de los organismos y temperatura del ambiente, en la mayoría de los estudios se usó para generar modelos de distribución de especies, junto a estos factores también está la distribución y registro de presencia de las especies. También usaron en menor porcentaje los factores como: descripción morfológica, diversidad, deforestación, uso de tierra (agricultura), cobertura terrestre (distancia a bosques de *Abies*, *Quercus* y *Pinus*), diversidad filogenética, funcional, alfa y beta.

Discusión

Se sugiere que el conocimiento sobre los efectos del cambio climático en la herpetofauna mexicana es escaso, debido a que después de la búsqueda y análisis de literatura, hasta el momento se reportan solo 22 investigaciones sobre el tema, además, la literatura centra su interés en los efectos que el cambio climático tendrá en las especies en escenarios futuros.

De estas investigaciones, en el caso de las publicaciones que proyectan escenarios futuros hasta el año 2020, no se encontraron análisis que demuestren que los escenarios fueron correctamente proyectados. Sin embargo, diversos estudios han evidenciado que el cambio climático será de los principales impulsores de la disminución de poblaciones y la extinción de especies enteras en el próximo siglo (Thomas *et al.*, 2004), como se ha demostrado en 21 de las 22 investigaciones recopiladas.

El presente análisis representa una aproximación al impacto que el cambio climático tendrá sobre la distribución futura de una porción pequeña de herpetofauna en diversos sitios de la república mexicana. Es importante mencionar que los grupos que conforman la herpetofauna destacan como los vertebrados terrestres más amenazados, anfibios y reptiles (Hannah *et al.*, 2007). El 41% de los anfibios y el 21% de los reptiles a nivel mundial se encuentran en riesgo de extinción en las categorías de la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2021, por sus siglas en inglés). Conocer los riesgos de cada una de las especies sería lo ideal, pero para lograr esto es necesario poseer un gran conocimiento de la biología de cada una de las especies estudiadas, sin embargo, no se cuenta con esta información (Ureta, 2016). Puede resultar difícil llegar a un consenso sobre el estado de muchas especies debido a la diversidad, los datos históricos limitados y la variabilidad natural de las poblaciones (Lips *et al.*, 2005). Sin embargo, se podría llegar a un acercamiento comparando a las especies ya estudiadas con especies que poseen comportamientos similares.

Se espera que los impactos del cambio climático se intensifiquen por el aumento de la temperatura de la superficie global, que probablemente supere los 4 °C para el año 2100 si no se implementan medidas de mitigación (World Bank, 2014). Cuando el clima cambia, las especies responden, debido a esto, el cambio climático puede tener impactos negativos en cualquier nivel de biodiversidad (Ureta 2016). Sin embargo, se reconoce que no todas las especies responderán de la misma manera (Foden *et al.*, 2008). Como los resultados lo demuestran, solo se encontró que *D. dorsalis* (Lara-Reséndiz *et al.*, 2019) presenta efectos positivos en escenarios futuros, debido a que los modelos de distribución muestran un incremento en el área de hábitat adecuado. *D. dorsalis* demostró ser resiliente al cambio climático, por lo cual, especies que tengan capacidades similares a ella podrían ser igual de resistentes al aumento de la temperatura ambiental (Lara-Reséndiz *et al.*, 2014). En comparación con las 21 investigaciones restantes, se demostró que en gran parte los efectos del cambio climático serán negativos.

Los pronósticos indican que, debido al aumento de la temperatura ambiental, hasta un 37% de las especies del mundo podrían extinguirse para el año 2050 (Thomas *et al.*, 2004). Como se observa en los resultados, la mayoría de las proyecciones se realizaron en escenarios de cambio climático para el año 2050, el cual indica que las especies estudiadas para ese año se verán afectadas negativamente. Es importante analizar cómo este cambio climático afectará a las especies en el futuro, debido a que existe evidencia de que el clima rige la distribución de las especies, esto se origina del análisis de dos características de los límites de distribución de las especies, que son: 1) los límites de distribución con frecuencia se

correlaciona con combinaciones particulares de variables climáticas y 2) a menudo cambian a través del tiempo en sincronía con los cambios del clima (Peterson *et al.*, 2012).

Aunque hay investigaciones que proyectan que las especies pueden migrar de hábitat, resulta algo complejo, debido a que las especies que invaden nuevos hábitats, se caracterizan principalmente por ser consumidores generalistas, presentan altas tasas de crecimiento poblacional y de reproducción, no obstante, el éxito de la invasión depende también de las cualidades del ecosistema (Méndez *et al.*, 2021). Los datos de distribución de especies suelen ser incompletos, y en general sólo se cuenta con información de presencia (Toranza, 2011). Es complicado calcular con exactitud al área de distribución de las especies, debido a que es un fenómeno dinámico, ya que toda distribución experimenta una contracción y expansión espacial a lo largo del tiempo, influenciado por factores biogeográficos, biológicos y ecológicos (Maciel-Mata *et al.*, 2015). La pérdida de hábitat es la principal causa de la disminución de anfibios (Lips *et al.*, 2005), lo que aumenta su vulnerabilidad.

Una de las herramientas más usadas en la actualidad para estimar la distribución potencial son los “modelos de nicho” o “modelos de envoltura climática” (Toranza, 2011). Los cuales son una representación cartográfica de la idoneidad ambiental para una especie (Guisan y Zimmermann, 2000). El área de distribución de las especies ocasionalmente se ve afectada por el cambio climático, que es ocasionado por el incremento de alrededor de 0.7 °C en la temperatura del último siglo (IPCC, 2007), sin embargo, estos cambios suceden de manera muy lenta (Petitpierre *et al.*, 2012).

El modelo de nicho ecológico tiene como objetivo caracterizar las condiciones ambientales adecuadas para la especie, así como delinear geográficamente los lugares donde pueden estar los organismos, conocido como distribución potencial (Soberón *et al.*, 2017). Además, se busca una correlación entre observaciones de presencia y variables ambientales que no son afectadas por la presencia de la especie (Soberón y Nakamura, 2009). Ante el cambio climático, los modelos de distribución de especies se utilizan para cuantificar las respuestas de las especies (Newbold *et al.*, 2020). Los autores de las investigaciones, usaron esta herramienta para evaluar los posibles impactos ante el cambio climático en diferentes especies de herpetofauna, para así, predecir cambios en el área de distribución. Los escenarios estimados de cambio climático basados en proyecciones de modelos proporcionan una importante herramienta para analizar el grado de exposición de las poblaciones, especies o ecosistemas (Dawson *et al.*, 2011). Estos modelos son muy importantes en las evaluaciones preventivas de riesgos por efecto del cambio climático (Ureta, 2016).

Se deben de tomar una serie de consideraciones a la hora de utilizar los resultados de los modelos ya que existen desventajas que podrían ser importantes a la hora de interpretar los resultados. Las desventajas que tiene este tipo de métodos son que las correlaciones encontradas no incorporan mecanismos de interacción de la presencia de la especie con las variables, la respuesta a los cambios ambientales y las interacciones biológicas (Peterson *et al.*, 2001). Sin embargo, incorporar estas relaciones a los modelos resultaría difícil (Mateo *et al.*, 2011). Además, no se toma en cuenta las relaciones espaciales en la creación de los modelos de distribución de especies, ya que las coordenadas de cada presencia se utilizan

exclusivamente para extraer los valores de las variables independientes en ese punto, sin que se considere lo que se genera a su alrededor (Mateo *et al.*, 2011). También al generar modelos se asume que la población está en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales (Mateo *et al.*, 2011). Otra desventaja es hacer modelos fiables para especies generalistas (Peterson, 2003). Debido a que son fotografías de un instante y no reflejan ningún proceso histórico, no es posible tener en cuenta con facilidad factores históricos (componentes temporales) (Mateo *et al.*, 2011). La predicción que se obtiene resulta ser mayor o menor a la distribución verdadera (Maciel-Mata *et al.*, 2015). Por esto, es recomendable que al momento de ubicar áreas donde se predice la presencia de la especie, pero sin registros cercanos, se realice la corroboración en campo, para que la interpretación tenga mejores resultados. Es importante reconocer estas limitantes, debido a que la metodología empleada de los resultados es mediante modelos que proyectan la distribución de las especies bajo escenarios de cambio climático futuros en ciertas regiones del país. La fiabilidad real de un modelo de distribución potencial es prácticamente imposible de conocer, excepto con el uso de organismo virtuales (Mateo *et al.*, 2011).

Si las especies conservan su área de distribución ante el cambio climático puede estar involucrada una respuesta adaptativa o de aclimatación fisiológica, ajustándose rápidamente al cambio ambiental (Peterson *et al.*, 2001). Al no poder adaptarse o si tienen un intervalo de tolerancia restringido, éstas deberán desplazarse en el espacio geográfico para encontrar condiciones ambientales idóneas, dando lugar a los procesos de colonización o extinción (Foden *et al.*, 2007). Por lo tanto, si las especies dependen de su área de distribución, es importante proteger los hábitats de las especies o las futuras áreas de distribución. Por medio de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) se pueden ampliar corredores naturales, que permiten que las especies se adapten y ajusten sus áreas de distribución, frente a las nuevas condiciones climáticas (CONANP, 2023). Estudios regionales indican que las ANP serán de importancia crítica para proteger la herpetofauna bajo el cambio climático a nivel mundial, a pesar de la variación en el enfoque geográfico y los grupos taxonómicos explorados (Mi *et al.*, 2023). El cuidado de estas áreas es necesario para proteger a la gran diversidad de herpetofauna, sin embargo, esto no está asegurado, debido a que la mayoría de la herpetofauna que sobreviva después de presentarse estos escenarios tendrán áreas de distribución más pequeñas ya sea dentro o fuera de las ANP.

Conclusión

Se sugiere que la herpetofauna se enfrenta a situaciones críticas, ya que el cambio climático, junto a otras variables, puede representar un riesgo adicional para la supervivencia de las especies en un futuro cercano. Sin embargo, las consecuencias de este fenómeno no son del todo negativas para todas las especies, debido a que, para algunas, los cambios de temperatura les resultan favorecedores. Las proyecciones de los resultados servirán como un pronóstico para las demás especies de anfibios y reptiles, por lo cual, es fundamental generar más información detallada sobre la distribución de la herpetofauna. Asimismo, es necesario

realizar análisis estrictos para la protección de las especies y sus hábitats, especialmente para las que se pronostican que sufrirán las disminuciones más drásticas. Los resultados recopilados son un acercamiento para aumentar el conocimiento de la vulnerabilidad de las especies de herpetofauna mexicana ante el cambio climático. Por lo que se recomienda realizar más investigaciones sobre el tema, para evaluar y crear un plan de conservación de las especies.

Referencias

- Ávila-Nájera, D. M., Mendoza, G. D., Villarreal, O., y Serna-Lagunes, R. (2018). Uso y valor cultural de la herpetofauna en México: Una revisión de las últimas dos décadas (1997-2017). *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*, 34, 1-15.
- Ballesteros-Barrera, C., Martínez-Meyer, E., y Gadsden, H. (2007). Effects of Land-Cover Transformation and Climate Change on the Distribution of Two Microendemic Lizards , Genus *Uma* , of Northern Mexico. *Journal of Herpetology*, 41(4), 733-740.
- Beaumont, L. J., Pitman, A., Perkins, S., Zimmermann, N. E., Yoccoz, N. G., y Thuiller, W. (2011). Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(6), 2306-2311.
- Berriozabal-Islas, C., Rodrigues, J. F. M., Ramírez-Bautista, A., Becerra-López, J. L., y Nieto-Montes de Oca, A. (2018). Effect of climate change in lizards of the genus *Xenosaurus* (*Xenosauridae*) based on projected changes in climatic suitability and climatic niche conservatism. *Ecology and Evolution*, 8(14), 6860-6871.
- Blaustein, A. R., Walls, S. C., Bancroft, B. A., Lawler, J. J., Searle, C. L., y Gervasi, S. S. (2010). Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*, 2(2), 281-313.
- Cadena-Rico, S., Leyte-Manrique, A., y Hernández-Salinas, U. (2020). Herpetofauna de la cuenca baja del Río Temascatio, Irapuato, Guanajuato, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 36, 1-14.
- Camacho, H. M. (2012). Cambio climático y conducta de anidación de los *Crocodylia*. *Universidad y Conocimiento-SPAUNACH*, 2, 8-11.
- Camilloni, I. (2008). Cambio Climático. *Ciencia Hoy*, 18, 43-49.
- Castaño-Quintero, S. M., Escobar-Luján, J., Villalobos, F., Ochoa-Ochoa, L. M., & Yáñez-Arenas, C. (2022). Amphibian Diversity of the Yucatan Peninsula: Representation in Protected Areas and Climate Change Impacts. *Diversity*, 14(10), 813.
- Catenazzi, A. (2015). State of the World's Amphibians. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 91-119.
- CONABIO. (2020). Presencia de Reptiles en México. <https://www.gob.mx/profepa/es/articulos/presencia-de-reptiles-en-mexico?idiom=es>
- CONABIO. (2021). Anfíbios. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gfamilia/22654/index>
- CONANP. (2023). Áreas Naturales Protegidas. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-278226>
- Dawson, T. P., Jackson, S. T., House, J. I., Prentice, I. C., y Mace, G. M. (2011). Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 332(6025), 53-58.
- Foden, W. B., Mace, G. M., Vié, J. C., Angulo, A., Butchart, S. H., DeVantier, L., y Turak, E. (2008). Species susceptibility to climate change impacts. *Wildlife in a changing world-an analysis of the IUCN Red List of Threatened Species*, Gland, Switzerland: IUCN, 77.

- Foden, W., Midgley, G. F., Hughes, G., Bond, W. J., Thuiller, W., Hoffman, M. T., Kaleme, P., Underhill, L. G., Rebelo, A., y Hannah, L. (2007). A changing climate is eroding the geographical range of the Namib Desert tree *Aloe* through population declines and dispersal lags. *Diversity and Distributions*, 13(5), 645-653.
- Fredericksen, T. S., Ross, B. D., Hoffman, W., Ross, E., Morrison, M. L., Beyea, J., Lester, M. B., y Johnson, B. N. (2000). The Impact of Logging on Wildlife: A Study in Northeastern Pennsylvania. *Journal of Forestry*, 98(4), 4-10.
- Frías-Alvarez, P., Zúñiga-Vega, J. J., y Flores-Villela, O. (2010). A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians. *Biodiversity and Conservation*, 19, 3699-3742.
- Gadsden, H., Ballesteros-Barrera, C., de la Garza, O. H., Castañeda, G., García-De la Peña, C., y Lemos-Espinal, J. A. (2012). Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two endemic lizards, *Crotaphytus antiquus* and *Sceloporus cyanostictus*, of northern Mexico. *Journal of arid environments*, 83, 1-9.
- García, A., Ortega-Huerta, M. A., y Martínez-Meyer, E. (2013). Potential distributional changes and conservation priorities of endemic amphibians in western Mexico as a result of climate change. *Environmental Conservation*, 40(1), 1-12.
- García Trejo, P. J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático en la distribución y el desempeño locomotor de *Sceloporus torquatus torquatus* (Squamata: *Phrynosomatidae*) en el Valle de México. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional] Repositorio Dspace.
- Gibbons, J. W., Scott, D. E., Ryan, T. J., Buhlmann, K. A., Tuberville, T. D., Metts, B. S., y Winne, C. T. (2000). The Global Decline of Reptiles, Déjà vu amphibians. *Bioscience*, 50(8), 653-666.
- González-Elizondo, M., Jurado, E., González E, S., Aguirre C, O., Jiménez P, J., y Navar, J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL*, 3, 377-386.
- González-Fernández, A., Manjarrez, J., García-Vázquez, U., Addario, M. D., y Sunny, A. (2018). Present and future ecological niche modeling of garter snake species from the Trans-Mexican Volcanic Belt. *PeerJ*, 1-20.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pág.
- IPCC. (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Guisan, A., y Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution model in ecology. *Ecological Modelling*, 147-186.
- Hannah, L., Midgley, G., Andelman, S., Araújo, M., Hughes, G., Martínez-Meyer, E., Pearson, R., y Williams, P. (2007). Protected area needs in a changing climate. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(3), 131-138.
- Hernandez-Guzman, R., Escalera-Vazquez, L. H., y Suazo-Ortuno, I. (2019). Predicting *Ambystoma ordinarius* distribution under different climate scenarios in central Mexico. *Herpetological Journal*, 29(2), 71-81.

- Hickling, R., Roy, D. B., Hill, J. K., Fox, R., y Thomas, C. D. (2006). The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology*, 12(3), 450-455.
- Hocking, D. J., y Babbitt, K. J. (2014). Amphibian Contributions to Ecosystem Services. *Herpetological Conservation and Biology*, 9(1), 1-17.
- Hughes, L. (2000). Biological consequences of global. *Trends in Ecology and Evolution*, 15(2), 56-61.
- IUCN. (2021). The IUCN red list of threatened species. <http://www.iucnredlist.org/>
- Jaime Rosales, A., Martínez Sifuentes, A. R., y Puentes Gutiérrez, J. (2021). Efecto del cambio climático en la distribución espacial de la lagartija *Aspidoscelis communis* (Cope, 1878) bajo concentraciones RCP 2.6 y 8.5. En *Biodiversidad y ecología mexicana Nuevos conocimientos y tecnologías para los retos actuales*, pp. 110-115.
- Janzen, F. J. (1994). Climate change and temperature-dependent sex determination in reptiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(16), 7487-7490.
- Johnson, J. D., Wilson, L. D., Mata-Silva, V., García-Padilla, E., y DeSantis, D. L. (2017). The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology*, 4(3), 544-618.
- Lara-Reséndiz, R. A., Galina-Tessaro, P., Pérez-Delgado, A. G., Valdez-Villavicencio, J. H., y Méndez-de La Cruz, F. R. (2019). Efectos del cambio climático en una especie de lagartija termófila de amplia distribución (*Dipsosaurus dorsalis*): un enfoque ecofisiológico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1), 11.
- Lara-Reséndiz, R. A., Larraín-Barrios, B. C., Díaz de la Vega-Pérez, A. H., y Méndez-De la Cruz, F. R. (2014). Calidad térmica a través de un gradiente altitudinal para una comunidad de lagartijas en la sierra del Ajusco y el Pedregal de San Ángel, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(3), 885-897.
- Lara-Reséndiz, R. A., Galina-Tessaro, P., Sinervo, B., Miles, D. B., Valdez-Villavicencio, J. H., Valle-Jiménez, F. I., y Méndez-de La Cruz, F. R. (2021). How will climate change impact fossorial lizard species? Two examples in the Baja California Peninsula. *Journal of Thermal Biology*, 95, 102811.
- Laufer, G. (2012). Lista de especies de anfibios y reptiles de Uruguay vulnerables al cambio climático global. Ministerio de Educación y Cultura, Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, p. 22.
- Lips, K. R., Burrowes, P. A., Mendelson, J. R., y Parra-Olea, G. (2005). Amphibian population declines in latin America: A synthesis. *Biotropica*, 37(2), 222-226.
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P. y Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19.
- Martínez-Meyer, E. (2017). Actualización de la evaluación de impactos del cambio climático sobre la distribución potencial de especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y plantas que habitan las islas de México. PNUD México-INECC., 2, 26.
- Mattoon, A. (2000). El declive de los anfibios. *Worldwatch Institute*, 23, 10-21.
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., y Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240.
- Medina, M., Fernández, J. B., Charruau, P., Méndez de la Cruz, F., e Ibargüengoytía, N. (2016). Vulnerability to climate change of *Anolis allisoni* in the mangrove habitats of Banco Chinchorro Islands, Mexico. *Journal of Thermal Biology Journal*, 58, 8-14.
- Medina, R. G., Lira-Noriega, A., Aráoz, E., y Ponssa, M. L. (2020). Potential effects of climate change on a Neotropical frog genus: changes in the spatial diversity patterns of *Leptodactylus*

- (Anura, *Leptodactylidae*) and implications for their conservation. *Climatic Change*, 161(4), 535-553.
- Méndez, F., Fierro, N., Arenas, D., y Vera, M. (2021). Las especies endémicas de lagartijas de México ante el cambio climático. *Visiones Sobre la Habitabilidad Terrestre y Humana Frente al Cambio Climático. Una primera aproximación epistemológica* (pp. 187-205). Programa de Investigación en Cambio Climático, UNAM.
- Miller, G. (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*. Editores Internacional Thomson, 8.
- Nava González, B. A. (2014). Identificación de áreas prioritarias para la conservación de reptiles en Michoacán y evaluación del impacto del cambio climático. [Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio UMSNH.
- Newbold, T., Oppenheimer, P., Etard, A., y Williams, J. J. (2020). Tropical and Mediterranean biodiversity is disproportionately sensitive to land-use and climate change. *Nature Ecology and Evolution*, 4(12), 1630-1638.
- Ochoa-Ochoa, L. M., y Flores-Villela, O. A. (2006). Áreas de Diversidad y Endemismo de la Herpetofauna mexicana. Jiménez Editores/CONABIO/UNAM. México, D. F. 259 p.
- Ochoa-Ochoa, L. M., Rodríguez, P., Mora, F., Flores-Villela, O., y Whittaker, R. J. (2012). Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico. *Biological Conservation*, 150(1), 94-102.
- Oyervides, M. (2014). Effects of climate change on the potential distribution of 12 endemic lizards of the genus *Plestiodon* of Mexico. (Order No. 1559990). [Tesis de maestría, The University of Texas-Pan American]. ProQuest Central.
- Parra-Olea, G., Martínez-Meyer, E., y De León, G. P. P. (2005). Forecasting climate change effects on salamander distribution in the highlands of central Mexico 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(2), 202-208.
- Peterson, A. T., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Bartley, J., Buddemeier, R. W., y Navarro-Sigüenza, A. G. (2001). Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae. *Ecological modelling*, 144(1), 21-30.
- Peterson, A. T. (2003). Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *Quarterly Review of Biology*, 78(4), 419-433.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. y Araújo, M. (2012). *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton: Princeton University Press.
- Petitpierre, B., Kueffer, C., Broennimann, O., Randin, C., Daehler, C., y Guisan, A. (2012). Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders. *Science*, 335(6074), 1344-1348.
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L., y Masters, K. L. (2005). Responses of natural communities to climate change in a highland tropical forest. *Climate Change and Biodiversity*, 70-74.
- Renken, R. B., Gram, W. K., Fantz, D. K., Richter, S. C., Miller, T. J., Ricke, K. B., y Wang, X. (2004). Effects of Forest Management on Amphibians and Reptiles in Missouri Ozark Forests. *Conservation Biology*, 18(1), 174-188.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación
- Sinervo, B., Lara Reséndiz, R. A., Miles, D. B., Lovich, J. E., Ennen, J. R., Müller, J., y Méndez de la Cruz, F. R. (2017). Climate Change and Collapsing Thermal Niches of Mexican

- Endemic Reptiles. UC Office of the President: UC-Mexico Initiative. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/4xk077hp>
- Soberón, J., y Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106 (SUPPL. 2), 19644-19650.
- Soberón, J., Osorio-Olvera, L., y Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(2), 437-441.
- Sunny, A., Manjarrez, J., Caballero-Viñas, C., Bolom-Huet, R., Gómez-Ortiz, Y., Domínguez-Vega, H., y González-Fernández, A. (2023). Modelling the effects of climate and land-cover changes on the potential distribution of three Earthsnakes (Genus *Conopsis*, Günther, 1858) in a highly anthropized area of Mexico. PREPRINT (Version 2) available at Research Square
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., y Erasmus, B. F. N. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427, 145-148.
- Toranza, C., Brazeiro, A., y Maneyro, R. (2012). Efectos del Cambio Climático sobre la Biodiversidad: El caso de los anfibios de Uruguay. En *Espacio Interdisciplinario*, Uruguay.
- United Nations. (1992). United Nations framework convention on climate change. Artículo 1 (Inciso 2), 1-24.
- Urbina-Cardona, J. N. (2011). Gradientes Andinos en la diversidad y patrones de endemismo en anfibios y reptiles de Colombia: Posibles respuestas al cambio climático. *Facultad de Ciencias Básicas*, 7(1), 74-91.
- Ureta, C., Cuervo-Robayo, A. P., Calixto-Pérez, E., González-Salazar, C., y Fuentes-Conde, E. (2018). A first approach to evaluate the vulnerability of islands' vertebrates to climate change in Mexico. *Atmósfera*, 31(3), 221-254.
- Ureta Sánchez, C. (2016). Evaluación de impactos del cambio climático sobre algunas especies relevantes de las islas de México. Proyecto 86487 "Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México". 43 pp.
- United Nations. (1992). United Nations framework convention on climate change. Artículo 1 (Inciso 2), 24.
- Valencia-Aguilar, A., Cortés-Gómez, A. M., y Ruiz-Agudelo, C. A. (2013). Ecosystem services provided by amphibians and reptiles in Neotropical ecosystems. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 9(3), 257-272.
- Vargas-Jaimes, J., González-Fernández, A., Torres-Romero, J. E., Bolom-Hue, R., Manjarrez, J., Gopar-Merino, F., Pacheco, P. X., Garrido-Garduño, T., Chávez, C., y Sunny, A. (2021). Impact of climate and land cover changes on the potential distribution of four endemic salamanders in Mexico. *Journal for Nature Conservation*, 64, 1-13.
- Vitt, L. J. y J. P. Caldwell. (2014). *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. 4th edition. Academic Press. 776 pp.
- World Bank. (2008). *Biodiversity, Climate Change, and Adaptation: Nature-Based Solutions from the World Bank Portfolio*. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/6216>
- World Bank. (2014). *Turn Down the Heat: Confronting the New Climate Normal*. World Bank Publications.

Anexos

Apéndice

Resumen de las referencias analizadas.

1. Forecasting climate change effects on salamander distribution in the highlands of central Mexico

Parra-Olea *et al.* (2005) en su estudio plantea como objetivo principal, usar herramientas computacionales de alta gama para modelar los nichos ecológicos de dos especies de salamandras Plethodontidae y proyectar sus distribuciones potenciales bajo condiciones climáticas anticipadas en los próximos 50 años. Para predecir la distribución potencial de las especies en el enfoque del cambio climático utilizaron los modelos de nicho ecológico, usando el algoritmo GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production). La distribución fue proyectada bajo dos escenarios de cambio climático esperados, que ocurran en 50 años, basados en un escenario de cambio global conservativo y asumiendo una capacidad de dispersión moderada para las especies *Pseudoeurycea cephalica* y *Pseudoeurycea leprosa*.

Como resultado, para *P. cephalica* la distribución histórica pronosticada fue de 44,551 km² y se espera que para el año 2050 pierda el 15% de su distribución y tenga una ganancia de 3.5%. Si se considera la deforestación actual las cifras podrían ser menores para el año 2050. En cambio, si no se considera la deforestación actual, el área de distribución pronosticada actual disminuye 65%. Para *P. leprosa* el área prevista de distribución es de 27,025 km² y se reducirá un 75% para el año 2050. Al considerar la deforestación, la distribución actual prevista se reduce al 68% y el área ganada por la especie es de 1.26% hacia las cumbres más altas de los volcanes como el Popocatepetl, Pico de Orizaba e Iztaccíhuatl, donde actualmente habita la especie, pero a una menor elevación. Registraron 38 Áreas Naturales Protegidas (ANP) dentro del área de distribución prevista de *P. cephalica* y 31 para *P. leprosa*; se espera que las poblaciones se encuentren dentro de las ANP y permanezcan después del cambio climático y la deforestación.

El análisis sugiere que el cambio climático puede representar un riesgo adicional para ambas especies. Esto concuerda con los resultados obtenidos en especies con una capacidad limitada de dispersión dado que no responden a los cambios de clima desplazándose a zonas más favorables, sino que enfrenta una pérdida del área de distribución. La supervivencia de estas salamandras está en riesgo, sin embargo, ciertas áreas de distribución potencial están dentro de un número considerable de Áreas Naturales Protegidas. Es importante generar más información detallada sobre la distribución de las diferentes especies de anfibios para continuar elaborando modelos de distribución potencial que permitan generar datos empíricos que puedan ser utilizados por los creadores de políticas para establecer mejores acciones de conservación en el futuro cercano.

2. Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two microendemic lizards, genus *Uma*, of northern

En el análisis de Ballesteros-Barrera (2007) se evaluaron los impactos de la conversión de hábitat por las actividades humanas y los efectos del cambio climático global esperados para los años 2020 y 2050 en la distribución de *Uma exsul* y *U. paraphygas*. Utilizó el modelo de nichos ecológicos usando el algoritmo GARP, esto para estimar la distribución geográfica en

el año 2007 de cada especie. Realizaron un mapa de uso de la tierra para determinar las áreas donde el hábitat se ha modificado por las actividades, y también proyectaron modelos de nicho bajo dos escenarios climáticos simulados para el año 2020 y 2050. Por último, realizó un análisis de Jackknife utilizando el modelo de MaxEnt para estimar qué variables climáticas son más relevantes para determinar la distribución geográfica de las especies.

Los resultados de la distribución están representados por 10 localidades para *U. paraphygas* y 17 para *U. exsul*. Se indica un alto grado de transformación antropogénica del hábitat dentro de la distribución de *U. exsul* y una importante reducción de su distribución para el año 2050. Para *U. paraphygas*, es menos severa la transformación de cubierta terrestre, pero se espera un colapso en sus distribuciones para un futuro debido al cambio climático. Los resultados proyectan fuertes cambios climáticos en el desierto central de Chihuahua entre el periodo del 2020 al 2050, se espera un aumento alrededor de 2 °C y una reducción de las precipitaciones en la región para el año 2050, siendo más radical en el área de distribución de *U. paraphygas*. Esperando que estos cambios afecten drásticamente la distribución geográfica de las dos especies, sin embargo, comparando con dos escenarios diferentes estos resultados pueden variar. En un escenario que se describe como "un mundo en el que el énfasis está en las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y ambiental", el cambio es menos drástico para ambas especies en cualquier periodo de tiempo, se espera una reducción del 40% del rango modelado para *U. exsul* y 60% para *U. paraphygas*, en el año 2020. En otro escenario descrito como "un mundo muy heterogéneo", se esperan reducciones de 57% y 73%, respectivamente, en el mismo periodo de tiempo. Para 2050 el panorama se espera peor, debido a que se prevé que el 70% y el 75.5% del área de distribución de *U. exsul* se perderá en estos dos escenarios y se espera que todo el rango de *U. paraphygas* colapse en ambos escenarios.

En conclusión, ambas especies se enfrentan a una situación crítica, sin embargo, *U. exsul* estará en mayor riesgo debido a la transformación del hábitat, por lo tanto, es necesario un análisis más estricto para la protección de las dunas en esta área y posiblemente la elevación de su estado de conservación actual (2007) de "protección especial" a "en peligro crítico". Además, los resultados proporcionan una "alerta temprana" de un resultado posible si las actividades de uso de tierra y las tendencias climáticas continúan.

3. Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico

El objetivo principal en el artículo de Ochoa-Ochoa *et al.* (2012) fue "caracterizar a escala final los patrones de diversidad alfa y beta de los anfibios mexicanos y analizar cómo estos patrones podrían cambiar en un escenario de cambio climático moderado, destacando las consecuencias generales para la diversidad de anfibios a nivel de país". Para esto usaron una compilación de base de datos georreferenciada de museos de todo el mundo como base para los modelos de envoltura climática. Crearon seis modelos de conjuntos con los parámetros de umbral de presencia y capacidad de dispersión. Simularon la línea base del año 2000 y los escenarios para los años 2020, 2050 y 2080. Calcularon la diversidad beta, usando el análisis

de ventana móvil con los tamaños 9, 25, 100, 225 y 400 km². Por último, analizaron los cambios de los patrones espaciales de diversidad alfa y beta durante estos periodos y realizaron un análisis de sensibilidad para los patrones de diversidad beta.

Los resultados indican que la diversidad alfa en el análisis de referencia osciló entre 0 y 38 especies. El patrón de diversidad alfa en la línea base (2000) mostró una disminución general en la riqueza de especies con la latitud, asimismo, presentó valores particularmente altos para algunas cadenas montañosas. Las diferencias en los valores de diversidad alfa entre los años 2000 y 2020 consistieron en gran medida en disminuciones neta en el número de especies en el norte, la costa norte del Pacífico, la costa sur de Golfo de México y en mayor parte de la península de Yucatán; mientras que los incrementos en el número de especies ocurren a lo largo de la Sierra Madre Oriental y en el sur. Para el año 2020 el patrón de diversidad fue similar al estimado para el año 2000, con un valor máximo de 40 especies. Las mayores disminuciones, de aproximadamente 30 especies por celda en 1 km², ocurrirán entre el año 2020 y 2050, para la región costera del Golfo de México y la península de Yucatán. Los incrementos en el número de especies se observaron principalmente hacia la costa sur del Pacífico.

Se espera que para el año 2050 la riqueza de especies se concentre en el sur, con un valor de diversidad alfa más alto a 37 especies. Los cambios principales de diversidad alfa son las extinciones en el norte y la Península de Yucatán. Entre los años 2050 y 2080, se proyectó que las reducciones en el número de especies se concentrarán en el noroeste, mientras que los aumentos sucederán en el sur. Por último, para el 2080, el patrón latitudinal es ligeramente más pronunciado que en 2050. Aunque se proyecta que la diversidad alfa descienda en gran proporción en todo el país, los valores más altos aumentan a 4 especies. Las especies se concentran en la vertiente de Pacífico sur. De acuerdo con los modelos, el total de especies de anfibios en México disminuye desde 333 especies en el año base, a 300 en el año 2020 (29 endémicas extintas), a 258 (14 endémicas extintas) en el año 2050 y por último a 254 (2 endémicas extintas) especies en el año 2080.

Los valores más altos se observan principalmente en las faldas y laderas de las cordilleras. Para los años 2000 y 2020, se sugirió que la diversidad beta aumentaría en la mayor parte del país, con disminuciones concentradas en el norte. Para el año 2020, la diversidad beta mostraría un patrón espacial similar al del año 2000, pero con valores más altos y ligeramente desplazados hacia el oeste. Del año 2020 al año 2050, el patrón de cambios en la diversidad beta se invierte en gran medida con respecto al periodo anterior, y la mayoría de las partes muestran una disminución. Para el año 2050, la diversidad beta se piensa que disminuirá, principalmente en la parte sur de la costa del Pacífico. Desde el año 2050 hasta el año 2080, las simulaciones muestran que aproximadamente la mitad del país aumentaría y la otra mitad disminuirá en los valores de diversidad beta.

Entre los años 2000 y 2020, el tamaño medio de los rangos de distribución disminuyó a 43,447 km². Para el año 2050, el promedio de los rangos de distribución vuelve a disminuir a 31,665 km², como resultado de un patrón general de contracciones del rango y un gran número de extinciones de especies. Así, para el año 2080 el tamaño medio del rango de

distribución aumenta a 35,690 km². Mientras que el tamaño medio del rango disminuye del año 2020 al año 2050 y aumenta en el año 2080, la mediana crece constantemente de 3,452 a 6,228 km², esto es de interés, ya que se refleja la extinción de especies microendémicas.

En conclusión, el cambio climático junto a otras variables podría generar un escenario aún peor para la biodiversidad de anfibios, especialmente si se permite que la conectividad del hábitat disminuya aún más. La creación e implementación de programas de monitoreo es fundamental para evaluar cómo las comunidades de anfibios y sus distribuciones responden realmente a los cambios ambientales, especialmente en las zonas que se pronostican que sufrirán las disminuciones más drásticas.

4. Effects of land-cover transformation and climate change on the distribution of two endemic lizards, *Crotaphytus antiquus* and *Sceloporus cyanostictus*, of northern Mexico

En el estudio de Gadsden *et al.* (2012) se evaluó el efecto del cambio climático global y el cambio de cobertura terrestre esperado para los próximos 10 y 40 años en la distribución geográfica de *C. antiquus* y *S. cyanostictus*. Para esto se estimó la distribución geográfica actual (2012) de cada especie por medio de los modelos de nicho ecológico utilizando MaxEnt. Usaron un mapa de uso de tierra para determinar las áreas donde el hábitat ha sido transformado por las actividades humanas, y se proyectaron modelos de nicho bajo un escenario climático simulado y durante dos periodos de tiempo (2020 y 2050) para estimar las futuras distribuciones potenciales.

Los resultados indican que el área de distribución potencial estimada para *C. antiquus* es de 232 km², sin embargo, esta área se reduce al considerar el efecto de las actividades humanas, principalmente, la minería, los desarrollos residenciales y asentamientos humanos, el 12% del área ya ha sido impactada. La distribución potencial actual de *S. cyanostictus* es de 1,058 km², se reduce a un 22% cuando se eliminan las áreas que han sido transformadas. La precipitación en general y la temperatura mínima del mes más frío, fueron las variables más importantes en la distribución del hábitat de *C. antiquus*. Además, se proyectaron grandes cambios climáticos en el Desierto Chihuahuense central en las próximas décadas, particularmente en el periodo del 2020 al 2050. Se espera que los impactos de estos cambios afecten severamente la distribución geográfica de ambas especies. En general, bajo el escenario A2 (un mundo muy heterogéneo), se espera una reducción del 25% del rango modelado de *C. antiquus* y del 61% para *S. cyanostictus* para el año 2020. En el año 2050, el escenario parece ser inferior, debido a que el rango de *C. antiquus* se reducirá un 75% y para *S. cyanostictus* se reducirá un 84%.

Los autores consideran sus resultados como un enfoque particular de una “alerta temprana” de un posible resultado si continúan las tendencias climáticas y la transformación del uso de la tierra en el peor de los casos actuales. A pesar de la incertidumbre, las tendencias generales parecen altamente factibles y se recomiendan acciones de conservación inmediata.

5. Potential distributional changes and conservation priorities of endemic amphibians in western Mexico as a result of climate change

García *et al.* (2013) analizaron y modelaron los posibles patrones de distribución geográfica actuales y futuros de anfibios endémicos en el occidente de México bajo tres periodos de cambio climático para los años 2020, 2050 y 2080. Además, compararon esos patrones con la ubicación y extensión de las áreas protegidas actuales y las regiones terrestres prioritarias para la conservación. Realizaron un análisis de modelado de nicho ecológico, usando diversas variables climáticas. Obtuvieron los escenarios de proyecciones climáticas futuras del Centro de Distribución de Datos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. También usaron el Modelo Climático Global Acoplado CGCM2 y análisis del clima (CCCma). Usaron tres algoritmos para el modelado del nicho ecológico: MaxEnt, GARP y Bioclim, y 2,412 registros de localidad para 29 especies para modelar sus envolturas climáticas (indicador de las distribuciones potenciales) en las condiciones actuales y futuras (2020, 2050 y 2080).

Los resultados sugieren que los efectos climáticos serán potencialmente significativos sobre los futuros patrones de distribución geográfica de las especies endémicas y la riqueza potencial de los anfibios. Estimaron que para el año 2080, los puntos críticos de riqueza potencial serán más pequeños y estarán más aislados de lo que están actualmente. De manera similar, las áreas de riqueza potencial quedarán confinadas a aquellos hábitats más asociados con las predicciones de las condiciones climáticas actuales, como resultado de la disminución de la concurrencia de especies pronosticadas para el futuro; los valores de riqueza potencial más altos se ubican en altitudes más bajas para el año 2050, con puntos críticos, donde podrían casi desaparecer para el año 2080 en altitudes altas. Además, los resultados sugieren una reducción promedio de alrededor del 64% en el rango geográfico actual de todos los anfibios endémicos en el bosque seco tropical para el año 2080 como consecuencia del cambio climático. Sumado a esto, para los años 2050 y 2080 el 13% y 50% de los anfibios endémicos tendrán reducciones superiores al 40% y 60%, respectivamente, en sus áreas de distribución actual en el occidente de México. Sin embargo, las especies *Craugastor occidentalis*, *Diaglena spatulata*, *Eleutherodactylus modestus* y *Exerodonta sumichrasti* aumentarán en extensión.

Los modelos identificaron las áreas de conservación más importantes dentro de la región considerando las ANP y las Regiones Terrestres Prioritarias para la conservación (RTP) previamente reconocidas. La red de ese periodo de ANP incluye solo el 8% de las áreas que poseen la mayor riqueza potencial prevista y para el año 2050, los modelos indican que abarcan sólo el 3% de estas áreas. Las seis RTP incluyen el 44% de las áreas pronosticadas actualmente con la mayor riqueza potencial de especies, pero para el año 2050 los modelos predijeron que solo el 3% de dichas áreas persistirán dentro de un RTP.

Por último, los autores mencionan que el reconocimiento de los efectos potenciales del cambio climático y la consideración del valor de conservación de las seis regiones

terrestres prioritarias para la conservación identificadas en el estudio pueden contrarrestar las posibles consecuencias del cambio climático sobre la biodiversidad en México. Además, sugieren que estudios del mismo enfoque deberían incorporar información sobre cómo la estacionalidad climática y la vegetación afectan la actividad de reproducción, el momento metamórfico, tamaño de nidada y las relaciones intraespecíficas e interespecíficas dentro de la comunidad de anfibios, integrando información local y regional. También se requiere un análisis más completo para modelar los cambios en el hábitat que ocasiona en cambio climático, centrándose en los cambios de vegetación y no solo en el clima.

6. Análisis del impacto del cambio climático sobre el hábitat apropiado para las especies de reptiles en Michoacán

Nava-González (2014) en su análisis evaluó el impacto potencial del cambio climático sobre los patrones de distribución del hábitat apropiado para las especies de reptiles en Michoacán, y se planteó las siguientes preguntas a) ¿Cuál es el impacto potencial del cambio climático esperado para el año 2050 sobre los patrones de distribución de las especies de reptiles presentes en el área de estudio?; b) ¿Cómo puede afectar el cambio climático la distribución de áreas de coincidencia para la conservación de especies de reptiles en el área de estudio? y c) ¿Cuál va a ser el impacto del cambio climático sobre la proporción de área prioritaria para la conservación de reptiles contenida en las áreas naturales protegidas actualmente existentes en el área de estudio?. Para abordar esto creó modelos y proyecciones usando el algoritmo MaxEnt, registros de presencia para 58 especies de reptiles, 7 variables climáticas y una capa de sesgo. Realizó la comparación de los modelos proyectados para el año 2050, bajo los escenarios A2 considerado “pesimista” (del modelo CCC) y B1 considerado “optimista” (del modelo GFD), con los modelos obtenidos para el presente (2013).

Como resultado, los dos escenarios de cambio demostraron patrones muy semejantes. En cualquiera de los dos escenarios analizados, se esperaría que la extensión de las áreas de hábitat apropiado identificadas en el año 2013, se redujera en un máximo de 4% para el 60% de los modelos en el caso del escenario A2 y el 55% para el escenario B1. En cambio, los modelos restantes indicaron un incremento en la extensión de las áreas de hábitat apropiado. En el caso del escenario B1, el aumento varió entre el 1% y el 39%; mientras que la variación que tuvo el escenario A2 estuvo entre 1% y 20%.

A pesar de que identificó casos donde el área de hábitat apropiado aumenta, en el 60% de los modelos se esperaría que menos del 50% de extensión de las áreas de hábitat apropiado actual se conserve como áreas ambientalmente apropiadas para las especies en el 2050. Se identificó en la mayoría de los modelos ampliaciones en el área de hábitat apropiado que está ubicado seguido de las actuales áreas de hábitat apropiado donde se conserva más del 80% del hábitat apropiado actual. Por otra parte, hay modelos donde las “áreas nuevas” se despliegan en sitios muy apartados de donde se encuentran actualmente las áreas de hábitat apropiado de las especies.

Como consecuencia del cambio climático se espera que las especies migren hacia latitudes y altitudes más elevadas y pese a que para el grupo de reptiles, las variaciones en precipitación y temperatura pueden parecer favorables en un primer acercamiento, el análisis detallado de la capacidad de dispersión del grupo, así como la disponibilidad de factores abióticos y bióticos disponibles en las nuevas áreas de los escenarios proyectados, indican que el grupo podría encontrarse en una situación muy desfavorable.

Para finalizar, el análisis permitió definir una expectativa de cambio en la distribución y extensión del hábitat desde el punto de vista climático para los reptiles del estado de Michoacán. En términos generales, se predice un aumento en la extensión del hábitat apropiado, la posibilidad de que las especies tengan ventaja de este escenario potencial depende de su capacidad de dispersión, entre otras cosas. Esto es debido a que una importante porción del hábitat apropiado que se pronostica existirá en el futuro tendrá una baja coincidencia espacial con el actual.

7. Effects of climate change on the potential distribution of 12 endemic lizards of the Genus *Plestiodon* of Mexico

El objetivo principal en la tesis de Oyervides (2014) fue evaluar el impacto del cambio climático sobre el hábitat adecuado de 12 especies de eslizones del género *Plestiodon* (*P. bilineatus*, *P. brevirostris*, *P. colimensis*, *P. copei*, *P. dicei*, *P. dugesii*, *P. indubitus*, *P. lynxe*, *P. ochoterenae*, *P. parvulus*, *P. parviauriculatus*, *P. sumichrasti*) que son endémicas de México. Creó modelos de distribución de especies para evaluar los posibles efectos del cambio climático en la distribución de las 12 especies. Uso bases de datos en línea, literatura y datos de campo para obtener los registros de presencia de especies. Las ocurrencias se correlacionaron con 19 variables climáticas para modelar el hábitat adecuado actual de las especies. Posteriormente los modelos se proyectaron para el año 2050. Los pronósticos los realizó usando cuatro modelos circulares generales, dos escenarios IPCC y el software MaxEnt. Esto se replicó 10 veces usando la opción de validación cruzada en MaxEnt.

Los resultados indican que, como era de esperar, el cambio climático afectará negativamente la distribución del hábitat adecuado para nueve de las 12 especies (*P. bilineatus*, *P. brevirostris*, *P. copei*, *P. dicei*, *P. dugesii*, *P. indubitus*, *P. lynxe*, *P. ochoterenae* y *P. parviauriculatus*). Para todas las especies el valor de AUC fue > 0.9 , demostrando una alta precisión de los resultados del modelo. Para algunas especies, también es probable que se subestimen en las condiciones adecuadas, debido a que no se están considerando las interacciones bióticas y las barreras geográficas.

Con esta información, se puede identificar áreas adecuadas cercanas que no han sido censadas y averiguar si la especie está presente en esos sitios, debido a que estudiar gran parte o todas las áreas posibles en la que se puede encontrar alguna especie se puede obtener más información sobre el tamaño de la población, la ecología, el comportamiento y la distribución para ayudar a establecer programas de conservación de estas especies.

8. Vulnerability to climate change of *Anolis allisoni* in the mangrove

Medina *et al.* (2016) estudiaron la biología térmica de *Anolis allisoni*, y definen como hipótesis de su trabajo que el carácter especialista y la distribución restringida de *A. allisoni* los hacen vulnerables a los rápidos cambios ambientales. Para probar esta hipótesis, realizaron trabajo de campo en Cayo Centro, Banco Chinchorro, Quintana Roo, durante el inicio de la temporada de lluvias de abril y mayo del 2012 y abril de 2014. Registraron las temperaturas de los individuos en campo, las temperaturas del microambiente y del sustrato. En laboratorio realizaron experimentos de termorregulación, descripción morfológica y evaluación del dimorfismo sexual. También, registraron la longitud hocico-cloaca (SVL), longitud de la cabeza (HL), ancho de la cabeza (HW), altura de la cabeza (HH), ancho del cuerpo en la cloaca (WAV), longitud de la cola (TL) y la longitud entre las extremidades (IL, entre las axilares y las cintas pélvicas).

Los resultados muestran que las temperaturas ambientales promedio obtenidas de la estación meteorológica de Banco Chinchorro son similares en abril-mayo de 2012 y abril 2012-2014, pero ligeramente más altas en abril de 2014 que en mayo de 2012. Se encontró asociada *A. allisoni* con las especies de plantas *Cocos nucifera*, *Thrinax radiata*, *Pithecellobium keyense* y *Bursera simaruba*, también, es simpátrica con *Anolis sagrei* y *Aspidoscelis maslini*. Además, *A. allisoni* mostró que la temperatura corporal de campo (T_b) y temperatura preferente en laboratorio (T_{pref}) resultaron altas e idénticas (33°C), no significativamente diferentes a la temperatura operativa media [$T_e(32,15^\circ\text{C})$]. La efectividad de la termorregulación ($E=0.30$) y el análisis de las horas de restricción sugieren que las altas temperaturas de T_e ($40-6.5^\circ\text{C}$) registradas de 12:00 a 15:00 horas en el hábitat son hostiles y obligan a las lagartijas a refugiarse durante un periodo de tiempo de tres horas de su tiempo diario de actividad. El promedio de horas de restricción fue de $h_r=1.58$; y el promedio de horas de actividad diaria fue de 8.9 h.

Por último, los autores concluyen en que existe una escasez de oportunidades para encontrar sitios de refugios alternativos para la termorregulación en Banco Chinchorro, lo cual hace más vulnerables a los individuos y tienen un mayor riesgo de extinción local al considerar las predicciones futuras del aumento de las temperaturas ambientales globales.

9. Evaluación de los impactos del cambio climático sobre algunas especies relevantes de las islas de México

El objetivo general en el trabajo de Ureta-Sánchez *et al.* (2016) es evaluar el impacto del cambio climático sobre especies de vertebrados terrestres y plantas de islas mexicanas. Para esto usó datos de presencia georreferenciada para realizar los modelos de nicho ecológico. Cada especie fue modelada bajo el escenario de clima actual de 1961 a las 2000 y dos series de tiempo de 2015 a 2039 y de 2075 a 2099, con RCP de 4.5 y 8.5 a una resolución de 1 km^2 . Utilizó nueve variables para el modelado de nicho ecológico. Obtuvo 5 mapas por cada especie, uno representa la distribución potencial en el escenario actual, dos diferentes

posibilidades para el futuro cercano y dos para el futuro lejano. Los algoritmos usados fueron MaxEnt y GAM. Realizó 10 repeticiones por algoritmo y creó un ensamble para generar un mapa binario.

Se encontraron aproximadamente 285 especies de aves, 118 mamíferos, 163 reptiles, 42 anfibios y 229 plantas. De las especies de reptiles solo se modelaron 20 de ellas. Se espera que en el futuro las condiciones para las especies cambien o desaparezcan en comparación con las condiciones que en la actualidad son óptimas. Para algunas especies las condiciones que actualmente son óptimas para ellas en un futuro estas cambiarán de forma favorable, sin embargo, para otras pueden disminuir, en la que se verán muy restringidas a ciertas áreas, lo que potencialmente las hará más favorables. Sin considerar ningún tipo de capacidad de dispersión, todas las especies evaluadas pierden área de distribución potencial. Esta pérdida se puede agravar a lo largo del tiempo, esto se ve reflejado entre los dos escenarios de cambio climático. Si el escenario es más extremo (RCP 8.5) y el tiempo es más lejano (2075-2099) mayor vulnerabilidad presentará la especie.

Las especies *Phyllodactylus homolepidurus* y *Petrosaurus thalassinus* perderán más del 70% de área de condiciones climáticas óptimas (sin dispersión). *Crotalus molossus* hacia final del siglo XXI y baja RCP 8.5 perderá 76% de las condiciones óptimas y es de las pocas especies que presentan un mayor porcentaje de pérdida de las condiciones climáticas óptimas hacia el futuro, ocurre lo mismo con *Lampropeltis zonata* y *Mastigodryas melanolomus*, su pérdida incrementará a lo largo del tiempo y entre escenarios. Para *Drymarchon corais* el balance es negativo solo hasta el final de siglo y empeora ante un RCP 8.5 (-30.285%).

Se evaluaron 14 especies de anfibios y todas presentaron pérdida en su área de distribución potencial, si no se considera su dispersión, tendrán un impacto negativo por el cambio climático. En cambio, si se considera la dispersión existe las posibilidades de llegar a otras áreas que en el futuro tendrán las condiciones climáticas para que las especies se puedan establecer ahí. En esta situación, todas las especies muestran nuevas áreas de distribución potencial en el futuro. Las especies más vulnerables en este grupo son *Spea hammondi*, *Anaxyrus californicus* y *Anaxyrus punctatus*. Los porcentajes de disminución neta en el área de distribución son mayores, debido a que conforme va pasando el tiempo los escenarios se vuelven más pesimistas en cuanto al calentamiento de la Tierra. La vulnerabilidad de este grupo es mayor, en comparación con otros grupos de vertebrados como aves y reptiles. Sin embargo, con excepción de *A. californicus* no hay más especies de anfibios cuyo peligro ante el cambio climático sea tan evidente.

Finalmente, la mayoría de las especies serán afectadas de forma negativa por el cambio climático a lo largo del siglo XXI. Por lo tanto, este trabajo es un aporte importante sobre el grado de vulnerabilidad de las especies, que debe ser completado con información sobre los riesgos intrínsecos y extrínsecos de la biología de cada especie.

10. Climate Change and Collapsing Thermal Niches of Mexican Endemic Reptiles

En el análisis de Sinervo *et al.* (2017) predijeron extinciones dramáticas para el género *Sceloporus*, así como cambios en la distribución en el siguiente siglo, donde previamente ya contaban con datos sobre extinciones recientes de estos organismos. Los resultados los obtuvieron mediante las predicciones para 15 familias de reptiles, 142 especies de las provincias biogeográficas de México y California utilizando todos los registros de ocurrencia de museos y medidas detalladas sobre ecofisiología. Realizaron análisis multivariado de medidas repetidas, análisis de varianza del riesgo de extinción y comparando los diferentes escenarios climáticos del año 2070 bajo RCP de 8.5 contra el año 2070 bajo un RCP 45, utilizando variables geográficas.

Los resultados pronosticaron extinciones masivas y rápidas del 22% de las poblaciones de reptiles en México dentro de los próximos 50 años. Además, tres de 15 familias de reptiles (endémicas en las provincias biogeográficas de México y California) se extinguirán para el año 2070. Sin embargo, las extinciones pueden ser atenuadas por la cubierta forestal y la presencia de ambientes montañosos en las áreas de distribución. Si se seleccionan nuevas reservas montañosas adyacentes a los hábitats desérticos y de bosques tropicales y al implementar controles globales sobre las emisiones atmosféricas de CO₂, las extinciones pueden reducirse por debajo del 11% de las especies y solo una familia de reptiles.

Finalmente, los patrones de extinción en 15 familias de reptiles mexicanos servirán como un pronóstico para las demás especies de lagartos de bosques tropicales con distribuciones endémicas y montañosas de América Central.

11. Actualización de la evaluación de impactos del cambio climático sobre la distribución potencial de especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y plantas que habitan las islas de México

En el trabajo de Martínez-Meyer (2017) se establece como objetivo actualizar los estudios de impactos del cambio climático sobre la distribución potencial de especies relevantes de anfibios, reptiles, aves, mamíferos y plantas que habitan las islas mexicanas, a partir de la modelación de sus nichos ecológicos. Realizaron la distribución potencial de 46 especies que habitan (pero no son exclusivas a) diversas islas en México: 11 plantas, 6 anfibios, 12 reptiles, 7 aves y 10 mamíferos, bajo dos escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5, y tres horizontales temporales: cercano del año 2015 al 2039, medio del año 2045 al 2069 y lejano del año 2075 al 2099, creados por cuatro modelos generales de circulación. Los modelos de nicho se generaron con tres algoritmos de modelación GBM, GLM y MARS, que posteriormente fueron ensamblados para producir un modelo consensuado.

Como resultado, de las 46 especies analizadas, 22 mostraron una tendencia a reducir sus áreas de distribución potencial, 19 aumentaron y las últimas cinco sus patrones no fueron consistentes, debido a que en algunos escenarios mostraron pérdidas y en otros, ganancias. El grupo de los anfibios fue de los más afectados, donde 66% de las especies mostraron pérdida de área de distribución potencial. Cuatro de las seis especies mostraron una tendencia

a perder área de distribución potencial al futuro. Los diversos escenarios futuros para *Aneides lugubris* mostró una pérdida entre 27% y 99% de su distribución potencial actual, y para *Pseudacris cadaverina* las reducciones fueron de 29% a 96%, dependiendo del escenario. Sin embargo, el modelo de nicho de *A. lugubris* mostró bajo desempeño de acuerdo a las pruebas de validación. Por otra parte, *Incilius alvarius* y *Lithobates forreri* presentaron una tendencia a aumentar sus áreas de distribución al futuro, de 31 a 186% y de 3 a 31%, respectivamente, dependiendo del escenario

En cuanto a los reptiles, de las 12 especies estudiadas, cinco presentaron una tendencia a perder área de distribución potencial hacia el futuro, cuatro tienden a ganar y tres mostraron patrones inconsistentes. Las especies *Crotaphytus dickersonae* y *Phyllodactylus uncus* son las que en general perderían más área de distribución potencial, con reducciones de entre 46% a 85% y 19% a 94%, respectivamente, con respecto a su distribución potencial actual. *Eridiphas selvini*, *Crotalus cerastes* y *Phyllorhynchus decurtatus*, serán favorecidas por el cambio climático, con aumentos de 5% a 96%, de 24% a 87% y de 16% a 74%, respectivamente, con respecto a su área de distribución potencial actual.

Como conclusión, las consecuencias del cambio climático para las especies no es del todo negativo, debido a que hay especies que se pueden ver afectadas, hay otras que se verían beneficiadas. En este análisis, el balance fue relativamente simétrico, 22 presentaron una tendencia a reducir sus áreas potenciales de distribución y 19 incrementaron. Las especies que podrían ser potencialmente más afectadas por el cambio climático para reptiles: *Crotaphytus dickersonae* y *Phyllodactylus uncus*; y para anfibios fueron: *Aneides lugubris* y *Pseudacris cadaverina*, siendo los anfibios con mayor número de especies con reducciones de área de distribución potencial. De las 11 islas de mayor tamaño analizadas la tendencia general de los modelos mostró mayores pérdidas que ganancias potenciales de especies en los escenarios de cambio climático futuro.

12. Present and future ecological niche modelling of garter snake species from the Trans-Mexican Volcanic Belt

González-Fernández *et al.* (2018) en su análisis propusieron como objetivo responder las siguientes preguntas: 1) ¿Qué variables climáticas, topográficas y de uso de suelo determinan la distribución de cada especie?, 2) Teniendo en cuenta el uso de la tierra y el cambio climático, ¿cuáles son las distribuciones potenciales presentes y futuras de cada especie?, 3) ¿Qué cambios en el área disponible adecuada en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) experimentará cada especie en el futuro?, 4) ¿Qué cambios en el área disponible adecuada en todo el país sufrirá cada especie en el futuro?. Para responder estas preguntas se realizó trabajo de campo, obteniendo registros de las especies presentes y usaron el modelo MaxEnt para definir las variables ambientales más importantes, considerando la topografía, el clima y el uso de tierra, así como la distribución potencial (presente y futuro) y proyectaron los modelos al futuro considerando un escenario de cambio climático medio-moderado (RCP 4.5), uso de suelo y variables de vegetación para el año 2050.

Obtuvieron 267 registros de *Thamnophis cyrtopsis*, 247 de *T. eques*, 103 de *T. melanogaster*, 186 de *T. scalaris* y 76 de *T. scaliger*. En todos los casos las variables juntas explicaron el 60% o más de la distribución potencial de las especies. La vegetación árida tuvo un efecto negativo importante en la idoneidad del hábitat para todas las especies y la temperatura mínima del mes más frío fue importante en cuatro de los cinco modelos; esta variable fue la más importante que explica la distribución potencial de *T. cyrtopsis*, que fue la especie con menor tolerancia a las temperaturas mínimas (5 °C). El hábitat adecuado para *T. scalaris* y *T. cyrtopsis* disminuyó constantemente cuando aumentaron las temperaturas máximas. Los bajos porcentajes de agricultura fueron positivos para *T. eques* y *T. melanogaster*, sin embargo, con valores más altos (por encima del 30%), la agricultura tuvo un efecto negativo en la capacidad del hábitat para ambas especies. La elevación fue la variable más importante para explicar la distribución potencial de *T. eques* y *T. melanogaster*; resultó positiva para *T. melanogaster*, mientras que la capacidad del hábitat para *T. eques* fue óptima cerca de los 2.500 m sobre el nivel del mar. A medida que aumenta la distancia a los bosques de *Abies* disminuye la idoneidad del hábitat para *T. scalaris* y *T. scaliger*, lo que significa que la proximidad a los bosques de *Abies* resultaría positiva para ambas especies. La proximidad a los bosques de *Quercus* sería positiva para *T. cyrtopsis*.

Entre los años 2002 y 2011 hubo un aumento de casi 16,000 km² en la agricultura y unos 5,000 km² en las zonas urbanas, también hubo un aumento en los pastizales inducidos por el hombre. También se redujo la superficie de los bosques de *Pinus* y *Quercus*, y los bosques de *Abies* se mantuvieron. Se espera que para el año 2050 incrementen 82,865 km² en áreas agrícolas según el modelo, mientras que las áreas urbanas aumentarán en 20,392 km² y los pastizales inducidos aumentarán en 24,796 km².

Todas las especies tuvieron una alta proporción de su distribución potencial en la FVTM. Sin embargo, de acuerdo con los cálculos del área de alta idoneidad para el presente y el futuro, todas las especies de *Thamnophis* experimentaron reducciones en su distribución en esta región. *T. scaliger* solo se distribuyó en la FVTM, mientras que *T. scalaris* tuvo una pequeña parte de su distribución potencial en la Sierra Madre del Sur. *T. cyrtopsis*, *T. eques* y *T. melanogaster* se distribuyeron en las cordilleras de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y Oaxaca. A diferencia de la FVTM, estas regiones biogeográficas no sufrirán reducciones importantes en el hábitat adecuado para *T. eques* y *T. melanogaster* en el futuro. *T. cyrtopsis* sufrirá reducciones importantes en toda su distribución potencial, incluyendo los Altos de Chiapas. La distribución potencial de *T. melanogaster* se espera que incremente en el futuro, considerando todo el país, y *T. scalaris* sufrirá la mayor reducción de las cinco especies, reducciones de 54.08% para la FVTM y 54.30% para todo México.

Finalmente, como los autores predijeron, casi todas las especies de *Thamnophis* experimentaron reducciones en su distribución en la FVTM. Los estudios deben considerar variables del microhábitat como la fuente del agua y su calidad. También es fundamental realizar estudios de abundancia de *T. scalaris*, debido a que sufrirá la mayor reducción en su distribución potencial de las cinco especies. Los datos actualizados de la abundancia de esta

especie serán clave para decidir si es necesario un cambio en su estado de conservación. Debido a este hallazgo surge una preocupación especial, ya que estas reducciones que puede sufrir *T. scalaris*, sugiere que las especies de reptiles con distribuciones similares pueden padecer reducciones similares y para especies menos abundantes con distribuciones similares pueden resultar con reducciones aún mayores.

13. A first approach to evaluate the vulnerability of islands' vertebrates to climate change in Mexico

En el trabajo de Ureta-Sánchez *et al.* (2018) se establecieron los siguientes objetivos: generar una lista de especies registradas en la isla y modelar el posible impacto del cambio climático sobre la distribución potencial de las especies. Para cumplir con sus objetivos realizaron la modelación de los supuestos impactos con modelos de nicho ecológico. Reunieron información y crearon una lista de especies en la isla, los grupos de especies seleccionadas fueron: mamíferos, reptiles y anfibios. También, crearon modelos de nicho ecológico para 54 especies de vertebrados. Los modelos de nicho ecológico se modelaron bajo un escenario climático actual del año 1961 al 2000, y dos series temporales del año 2015 al 2039 y del año 2075 al 2099, bajo dos trayectorias de concentración RCP 4.5 Y 8.5. Los modelos los realizaron con los algoritmos MaxEnt y GAM.

De los grupos estudiados, los reptiles presentaron mayores pérdidas, siendo el grupo con más especies vulnerables. Considerando un escenario sin dispersión, todas las especies evaluadas tienen pérdida en su área de distribución potencial a futuro. En cambio, si se toma en cuenta un escenario de dispersión total, el valor de cambio resulta positivo en la mayoría de las especies. Por otra parte, los mapas de riqueza muestran cambios en el futuro, debido a que los grupos de mayor riqueza se desplazarán al este y al norte.

Para las 117 especies evaluadas de reptiles se registró que en todos los tiempos y escenarios perderán una fracción de su área actual de distribución y cómo transcurra el tiempo seguirán perdiendo más porcentaje de su área. Las especies con mayores cambios negativos son *Lampropeltis zonata*, *Mastigodryas melanolomus* y *Crotalus molossus*, su valor de cambio neto en el peor de los casos (RCP a largo plazo 8.5) a aumentando a 45.64%, 34.53% y 62.94% respectivamente. Pasa lo mismo con las 20 especies de anfibios, teniendo más de una especie con valores de cambio neto negativos. En un corto plazo, bajo RCP 4.5, solo *Anaxyrus cognatus* presentó un cambio neto de -6.043%, y bajo RCP 8.5 se registró sólo las especies *Anaxyrus cognatus* y *Aneides lugubris*. En un escenario de dispersión ilimitada, las especies *Anaxyrus californicus* e *Incilius alvarius* exhibieron mayores pérdidas, no tuvieron un cambio neto negativo ya que fue compensado con áreas de distribución potencial climáticamente nuevas.

Los autores concluyen que su estudio es un esfuerzo por aumentar el conocimiento de la vulnerabilidad de las especies de las islas mexicanas al cambio climático. Además, es posible tener una mejor idea de la diversidad de vertebrados terrestres que habitan las islas y se representa que es necesario tener más información sobre estas especies. Asimismo, los

resultados son relevantes para que se tenga en cuenta qué medidas se deben tomar para evitar que el cambio climático afecte de manera negativa a la biodiversidad de las islas.

14. Effect of climate change in lizards of the genus *Xenosaurus* (Xenosauridae) based on projected changes in climatic suitability and climatic niche conservatism

Berriozabal-Islas *et al.* (2018) evaluaron en su trabajo: a) la extensión de áreas con condiciones climáticas adecuadas para la ocurrencia de las especies de *Xenosaurus* en un futuro cercano (2070), considerando que estas lagartijas conservan su nicho climático; y b) si la diversidad de especies de *Xenosaurus* tienen diferentes nichos climáticos, lo que podría ser evidencia de falta de conservadurismo de nicho, favoreciendo taxones con áreas reducidas con condiciones de vida adecuadas en el futuro. Utilizaron un enfoque de máxima entropía para modelar el nicho climático de las 10 especies bajo un hábitat adecuado en el presente y futuro, considerando un contexto de conservadurismo del nicho climático. Finalmente, realizaron un análisis de similitud del nicho climático entre cada especie.

Los resultados de los modelos de distribución mostraron un valor de AUC superior a 0,74 para las 10 especies de *Xenosaurus* (*X. agrenon*, *X. grandis*, *X. mendozai*, *X. newmanorum*, *X. phalaroanthereon*, *X. platyceps*, *X. rackhami*, *X. rectocollaris*, *X. sanmartinensis* y *X. tzacualtipantecus*), lo cual sugiere que los modelos obtenidos tenían una alta calidad. Considerando un escenario de conservadurismo de nicho climático, todas las especies mostraron una disminución en sus áreas de idoneidad de hábitat para el futuro. *X. tzacualtipantecus* mostró la menor área adecuada (55.13 km²) mientras que *X. rackhami* tuvo la mayor área adecuada (16,203.11 km²) en las condiciones climáticas actuales. Sin embargo, los modelos proyectados para el año 2070 mostraron una pérdida de área del 100% para *X. tzacualtipantecus*, mientras que *X. rackhami* mantuvo la mayor área adecuada (11,333.18 km²). Además, *X. phalaroanthereon* perderá el 85,75% de su hábitat adecuado actual. También, encontraron valores bajos de conservadurismo del nicho climático entre las especies, esto también sugiere que las especies podrán tener la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones ambientales originadas por el cambio climático.

Finalmente, las especies de *Xenosaurus* enfrentarán fuertes reducciones en su área climática adecuada debido al cambio climático, y se sugiere que podrían responder a cambios ambientales locales por los bajos valores obtenidos de los índices de similitud climática entre las especies. La persistencia de las especies depende de diversos factores como, la accesibilidad de las áreas para migrar, la velocidad del cambio climático, la tasa de dispersión, las tolerancias térmicas, la estructura de la vegetación y el cambio en las dimensiones del nicho biótico. Por lo tanto, los hallazgos optimistas de cambio de nicho podrían no ser suficiente para que prevalezcan las especies. Por último, proponen mantener las condiciones específicas del hábitat para amortiguar los efectos del cambio climático. También es importante revisar cuidadosamente el estado de conservación de estas especies para mantener poblaciones saludables.

15. Evaluación del impacto del cambio climático en la distribución y el desempeño locomotor de *Sceloporus torquatus torquatus* (Squamata: Phrynosomatidae) en el Valle de México

García (2018) en su tesis planteó como objetivo, evaluar el impacto del cambio climático sobre la distribución y el desempeño locomotor de *Sceloporus torquatus torquatus* en el Valle de México. Utilizó métodos mecanicistas y correlativos en conjunto, primero obtuvo datos para los modelos mecanicistas mediante análisis de ecología térmica. Realizó pruebas de desempeño locomotor a distintas temperaturas, para general capas ecofisiológicas que sirvieron para los análisis mecanicistas finales. Además, se realizó un análisis correlativo con puntos de solo presencia y las 19 capas de WorldClim y la capa altitudinal a 30 arcos de segundo. Finalmente, los análisis de nicho correlativo y mecanicista se proyectaron a los periodos del año 2050 y el año 2070.

En general, los resultados demuestran que para estos periodos el desempeño locomotor en la mayoría de las poblaciones será poco óptimo, por lo que es probable que las poblaciones disminuirán su distribución en el Valle de México hasta su desaparición total. Estas áreas presentan un mayor incremento en la temperatura y la precipitación. Asimismo, se indica que los estados que probablemente podrían mantener condiciones para que la especie pudiera sobrevivir en los periodos analizados son: Guerrero, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro, Puebla, Jalisco, Oaxaca y San Luis Potosí.

De acuerdo a los datos de laboratorio como de campo, se sugiere que la especie se comporta como un termorregulador activo. Tampoco observaron plasticidad fenotípica en el patrón de respuesta de las curvas de desempeño locomotor de la especie, por lo que asumen que tienen un comportamiento similar. Asimismo, los efectos del cambio climático sobre el desempeño locomotor de *S. torquatus torquatus* serán negativos para los años 2050 y 2070. Por lo tanto, sugieren que sería importante realizar trabajos futuros para evaluar un plan de rescate de la especie en los sitios afectados.

16. Efectos del cambio climático en una especie de lagartija termófila de amplia distribución (*Dipsosaurus dorsalis*): un enfoque ecofisiológico.

Lara-Reséndiz *et al.* (2019) realizaron un estudio donde su objetivo fue, evaluar los posibles impactos directos del cambio climático global a lo largo de la distribución de *Dipsosaurus dorsalis* mediante un modelo ecofisiológico y biofísico, debido a que es una lagartija termófila y su distribución es amplia, encontrándose en el Desierto de Sonora, Desierto San Felipe, Desierto de Vizcaíno y El Comitán-El Mogote, por lo cual la convierte en un modelo ejemplar para evaluar los efectos del calentamiento global en ambientes extremos. El trabajo de campo lo realizaron de septiembre de 2016 a septiembre de 2018, durante este periodo recolectaron 129 individuos de *D. dorsalis*, en los cuatro sitios. Crearon modelos de vulnerabilidad usando un enfoque mecanicista combinando variables ecofisiológicas y

biofísicas. Para esto registraron las temperaturas corporales de campo y operativas; después construyeron dos capas ecofisiológicas de acuerdo a las horas de actividad, restricción y precipitación, y por último crearon modelos para el presente (2050) y futuro (2070) bajo dos escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.

Como resultados obtuvieron que la temperatura corporal de *D. dorsalis* fue de 40.3 ± 0.22 °C, la más alta de 45.9°C y la más baja de 29.2°C. Estas temperaturas se consideraron como el intervalo voluntario térmico de *D. dorsalis* para calibrar los modelos ecofisiológicos. El periodo de actividad fue de 09:15 a 19:10 horas. Cuando la T_o fue de 29.5 °C, se registró como inicio de su actividad y finalizó cuando llegó a 29.8 °C. Los modelos de distribución de *D. dorsalis* mostraron un valor de AUC inferior a 0.93. Este modelo ecofisiológico en condiciones ambientales presentes tuvo un área de 208,771.68 km². En todos los escenarios futuros se muestra un incremento en el área del hábitat adecuado, para el escenario 2050-RCP 4.5 (escenario de estabilización) su distribución crecerá un 89.9%, en 2070-RCP 4.5 crecerá un 103.05%, en 2050-RCP 8.5 (modelo de alta cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero) crecerá 125.02% y finalmente, en 2070-RCP 8.5 se registró un aumento potencial de 239.39%.

En conclusión, los resultados de la investigación demostraron que *D. dorsalis* debido a su alta tolerancia térmica y a los modelos, es resiliente al calentamiento global, siendo muy tolerante a las temperaturas cercanas a los límites críticos, esto le permite hacer uso efectivo de los microhábitats disponibles, esto sugiere que el cambio climático global podrá tener un impacto positivo en la especie.

17. Predicting *Ambystoma ordinarium* distribution under different climate scenarios in central Mexico

En el trabajo de Hernández-Guzmán *et al.* (2019) el objetivo fue pronosticar cambios en la distribución de la salamandra de montaña *Ambystoma ordinarium*, utilizando diferentes escenarios climáticos. Modelaron la distribución potencial actual y de dos escenarios basados en proyecciones climáticas para el año 2070 con RCP 2.6 y RCP 8.5, usando el algoritmo MaxEnt y tres modelos climáticos globales (BCC-CSM1-1, CCSM4 y HadGEM2-ES). Los tres escenarios los simularon usando la presencia de entrenamiento del percentil 10 como regla de umbral.

La distribución potencial promedio de la especie fue de 5,630 km², 12.3% del área total del estudio (45.876 km²). Además, los resultados sugieren tres fragmentos principales con alta idoneidad de hábitat y varios parches aislados de menor extensión, el parche más grande se encuentra en la parte montañosa central del área de estudio, el segundo se ubica al sur del lago de Pátzcuaro y el último sigue una banda angosta a través de la parte central y sureste del sistema montañoso. Es importante mencionar que, de los 3,515 km² del bosque, 731 km² presentan algún grado de perturbación. Se espera una disminución a 4410 km² con RCP 2.6. Sin embargo, la mayor pérdida se pronostica con RCP 8.5, disminuyendo a 4,020 km². Las áreas más afectadas son la parte del este del lago de Pátzcuaro, el sureste del área

del estudio y los parches aislados. Para todas las simulaciones, el área que se espera que permanezca sin cambios es de aproximadamente 270 km², mientras que la pérdida de hábitat climático proyectada para el año 2070, solo proyectada en el escenario actual es de aproximadamente 1,880 km².

Para finalizar, los autores mencionan que su estudio representa el primer intento regional de predecir el rango de distribución de *A. ordinariarium* y sus cambios en escenarios climáticos futuros. Además, proporcionan una herramienta de conservación que se pueden utilizar para identificar hábitats prioritarios para la conservación de esta especie. Si su información se encuentra fácilmente disponible para los administradores del paisaje, los esfuerzos de planificación de la conservación estarán más informados y serán potencialmente más efectivos, de aquí su importancia.

18. Potential effects of climate change on a Neotropical frog genus: changes in the spatial diversity patterns of *Leptodactylus* (Anura, Leptodactylidae) and implications for their conservation

En el estudio de Medina *et al.* (2020) se analizó las posibles consecuencias del cambio climático en los patrones de diversidad y co-ocurrencia de *Leptodactylus*, utilizando el análisis de rango-diversidad por sitios combinado con los modelos de nicho ecológico. Dedujeron las respuestas individuales de las especies al cambio climático como cambios en el tamaño de su rango y posición geográfica, y evaluaron cómo los cambios de las especies impactan en los patrones de biodiversidad al evaluar el cambio de la diversidad beta. También, extrapolaron los posibles cambios en la diversidad dentro de las áreas protegidas. Y para concluir analizaron el efecto del cambio climático en un contexto filogenético.

Los resultados del patrón de diversidad actual (2020) indican que la distribución geográfica de potencial de las especies de *Leptodactylus* abarca desde el sur de Estados Unidos hasta el centro de Argentina (aproximadamente 13.4 millones de km²). Los rangos geográficos de las especies variaron entre 17 sitios. Se encontraron los sitios con mayor riqueza en los Bosques húmedos latifoliados tropicales y subtropicales, sabanas tropicales, Bosques secos subtropicales latifoliados y Sabanas tropicales y subtropicales. Los sitios con menor riqueza se encuentran en tierras tropicales y hacia los límites latitudinales como México, América Central y Argentina Central. La mayoría de los sitios albergaron entre una y ocho especies, con un promedio de cinco especies por sitio y los sitios con mayor riqueza albergaron 15 especies.

Encontraron cuatro tipos de sitios que representan categorías de interés para la conservación: (A) regiones con bajo R y S; (B) regiones con R y S medios; (C) regiones con R media y S alta; (D) regiones con alto R y bajo S. S es la “riqueza proporcional de especies” y R “el campo de dispersión”, que es el tamaño total del área de distribución de la comunidad. Los sitios A se encontraron principalmente en América Central y del Sur; los sitios B y D están principalmente en las tierras bajas de América del Sur; los sitios C ocurrieron en Bolivia y los sitios D se concentran en latitudes más altas. Los sitios A tuvieron una variación

negativa con los demás sitios. Por otra parte, los sitios B, C y D tuvieron una covariación positiva y las regiones C tuvieron la covariación más alta.

Los patrones de diversidad de *Leptodactylus* variaron entre escenarios climáticos actuales y futuros. Las distribuciones futuras proyectaron una disminución en la covarianza máxima y un aumento en el índice de Whittaker del presente de 11.11 a 14.90 con RCP 2.6 y de 14.34 con RCP 8.5. Se proyecta que S y R disminuirían en la mayoría de los sitios. En el sur de México y América Central, los patrones de diversidad de *Leptodactylus* no cambiaron drásticamente. Los sitios con riqueza decreciente fueron más recurrentes en el escenario RCP 8.5. Sin embargo, en algunas regiones S y R aumentaron en ambos escenarios climáticos. Se proyecta que las condiciones climáticas futuras afectarán a S, R y la covarianza promedio en casi todas las regiones de interés. Los sitios dentro de las áreas protegidas mostraron una tendencia similar al patrón general, con disminuciones de S, R y covarianza. Se proyecta que los tamaños de los rangos disminuyan entre 21% y 26%, en promedio, en escenarios climáticos futuros. El cambio geográfico de las distribuciones de *Leptodactylus* fue de aproximadamente 34% en el escenario de bajas emisiones y 43% en el escenario de altas emisiones. Por último, no encontraron ninguna señal filogenética del efecto del cambio climático en *Leptodactylus*.

Se espera observar bajo el cambio climático una disminución general y un desplazamiento geográfico de los tamaños de rango específicos, pero no extinciones de especies. Estos patrones implican una disminución de la riqueza local de especies, lo que contrasta con un aumento regional de heterogeneidad biótica. Se debe de considerar que estos resultados deben de contrarrestarse y complementarse con los obtenidos de otros taxones regionales para que se permita llegar a conclusiones y recomendaciones rigurosas para la optimización de los recursos disponibles con enfoques de gestión y conservación de la biodiversidad.

19. Impact of climate and land cover changes on the potential distribution of four endemic salamanders in Mexico

Vargas-Jaimes, *et al.* (2021) en su estudio se plantearon las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Qué variables climáticas, topográficas y de uso de suelo determinan la distribución actual de cada especie de salamandra?, 2) ¿Qué tan similares son los nichos ambientales de las cuatro especies?, 3) ¿Cuáles son las distribuciones potenciales actuales y futuras de las cuatro salamandras? y 4) ¿La distribución potencial y la conectividad del paisaje de las cuatro especies de salamandras experimentará una expansión o una reducción y en qué grado?. Para responder a sus preguntas realizaron un modelo de distribución de especies para evaluar los escenarios futuros esperados de cambio climático y de cobertura terrestre y cómo podrían influir en la distribución geográfica y la conectividad del hábitat de las especies *Aquiloerycea cephalica*, *Isthmura bellii*, *Pseudoeurycea robertsi* y *Pseudoeurycea leprosa*, endémicas de la FVTM. Utilizaron el Community Climate System Model (CCSM4) con RCP 4.5 y RCP 8.5 y dos métodos de modelado, MaxEnt en ENMeval y modelo de conjunto biomod2. También se determinaron las variables ambientales más importantes de los nichos ambientales entre ellas.

Los resultados demuestran que una de las variables más importantes que explica la distribución actual de *P. robertsi* (contribución del 39%), *P. leprosa* (contribución del 18%) y *A. cephalica* (contribución de 22%), es la cobertura forestal de *Abies*, con efecto positivo. La distribución de estas especies, también estuvo limitada por las temperaturas máximas, mientras que *I. bellii* tuvo una distribución más limitada por las temperaturas mínimas. Los nichos ambientales de *P. leprosa* y *A. cephalica* fueron significativamente similares, así como los nichos ambientales de *P. robertsi* y *P. lepros*. Predijeron que las cuatro especies de salamandras enfrentarían una reducción en su distribución potencial, y en la conectividad del paisaje, entre 4.93% y 73.92% en escenarios futuros de cambio climático y cobertura terrestre.

Los escenarios y los diferentes modelos fueron inconsistentes para determinar qué distribución de especies sufriría la mayor reducción en el futuro. Sin embargo, *P. robertsi* sufrió la mayor reducción de conectividad en los escenarios del cambio climático. De igual manera, los resultados sugieren que la Sierra de las Cruces y el Corredor Biológico Chichinautzin son áreas muy importantes en términos de conectividad. Entre los años 2011 y 2014 desafortunadamente se predijo grandes pérdidas de bosques de *Abies* y *Pinus*.

De acuerdo con los resultados, los bosques de *Abies* de la FVTM son el hábitat principal de algunas salamandras, por lo cual, la protección de estos bosques son un factor clave para la conservación de las especies. Además, se considera que la Sierra de las Cruces y el Corredor Biológico Chichinautzin deben ser priorizados en los programas de conservación, debido a que estas áreas revelaron una alta idoneidad para las salamandras y niveles más altos de conectividad paisajística para estas especies endémicas.

20. How will climate change impact fossorial lizard species? Two examples in the Baja California Peninsula

El objetivo de Lara-Reséndiz *et al.* (2021) en su artículo es evaluar las posibles consecuencias del cambio climático global en la futura distribución y persistencia de dos especies fosoriales (*Anniella geronimensis* y *Bipes biporus*). Registraron la distribución de las especies, estudiaron su ecología térmica y crearon modelos basados en el modelo ecofisiología utilizando las condiciones ambientales actuales y simulaciones para el año 2050 y 2070 con RCP de 4.5 y 8.5.

Los resultados sugieren que ambas especies se enfrentan a un alto riesgo de extinción por el cambio climático en función de la idoneidad del hábitat térmico. Bajo el escenario de RCP 8.5, el pronóstico para la persistencia de las especies es más grave. El hábitat adecuado para *A. geronimensis* disminuye en su distribución en el sur, pero el potencial adecuado se expande hacia el norte. Para *B. biporus* el hábitat adecuado se contraerá significativamente con una reducción asociada en su distribución potencial. Es poco probable que exista un potencial de dispersión latitudinal y altitudinal para mitigar el riesgo de extinción, debido a que ambas especies tienen poca movilidad y están restringidas a elevaciones altas. Por lo cual, las especies estarán en gran peligro en un futuro, debido a que tienen requisitos térmicos especializados y prefieren ciertos tipos de suelos a los que se adaptan. Estos modelos fisiológicos en combinación con el tipo de suelo son fundamentales en el desarrollo de estrategias de conservación.

21. Efecto del cambio climático en la distribución espacial de la lagartija *Aspidoscelis communis* (Cope, 1878) bajo concentraciones RCP 2.6 y 8.5

El estudio de Jaime-Rosales *et al.*, (2021) tiene la finalidad de conocer el rango de distribución espacial de *Aspidoscelis communis* y como se verá influenciado por el cambio climático bajo concentraciones RCP 2.5 y 8.6 para los años 2050 y 2070. Analizaron la distribución potencial *A. communis* en todo el territorio mexicano, considerando el clima actual y bajo el escenario de cambio climático RCP 2.6 y 8.5.

Obtuvieron 524 registros de la base de datos HerpNet para *A. communis*, dentro del área propuesta de distribución, las proyecciones indican que es muy probable que presenten disminuciones en su área de distribución para el año 2050, se espera que con las condiciones de RCP 2.6 el resultado sea el mismo. Sin embargo, si para ese mismo año se obtienen las conciliaciones máximas de RCP 8.5 el área de distribución disminuye aún más. Para el año 2070 con RCP 2.6 se podría presentar una mayor pérdida en el área de distribución, en comparación con la que se llegara a presentar 20 años antes, con concentraciones de RCP 8.5 en ese mismo año, es muy probable que la idoneidad de hábitat estaría comprometida severamente. Está claro que se podrá presentar una drástica disminución en el área de distribución de esta especie para finales de este siglo si se reportan concentraciones de RCP 8.5. Esta especie es considerada como endémica, lo que podría afectar la estabilidad de sus poblaciones.

22. Amphibian Diversity of the Yucatan Peninsula: Representation in Protected Areas and Climate Change Impacts

Los autores Castaño-Quintero *et al.* (2022) en su estudio describieron los patrones espaciales y las relaciones geográficas entre la diversidad taxonómica (TD), diversidad filogenética (PD) y diversidad funcional (FD) de anfibios en la Península de Yucatán, México, en un contexto de cambio climático. Para estimar la diversidad taxonómica aplicaron modelos de distribución potencial actuales y futuros, con base en la filogenia y rasgos funcionales se estimó la diversidad filogenética y funcional, estas métricas también se obtuvieron de manera independiente mediante la aplicación de modelos nulos. Evaluaron la efectividad de las áreas protegidas en la protección de las dimensiones de la diversidad en todos los escenarios.

Los resultados indican que los valores más altos de TD se encuentran en la base de la península y hacia el este, a lo largo de Quintana Roo, mientras que los valores más bajos se encuentran en Yucatán y norte de Campeche. Las dimensiones de diversidad se superponen parcialmente, aunque las zonas con valores altos de PD y FD se superponen con algunas áreas de TD alto. En general, las tendencias de los modelos mostraron que habría una contracción de las parejas de alta TD a través de los diferentes marcos de tiempo hacia la zona este de la península. En escenarios futuros se puede observar una pérdida máxima de TD entre 43% y 61%, con respecto al escenario actual. Las áreas con ganancia máxima de

TD mostraron solo 33% más en las áreas pequeñas del norte de la Península de Yucatán. Las zonas filogenética y funcionalmente diversas estarían reducidas y ubicadas en las zonas norte y sureste de la Península de Yucatán. Las áreas con las mayores pérdidas en escenarios futuros son considerablemente más grandes que las áreas con ganancias, en PD perderán de 25% a 28% y FD de 21% a 24%, pasa lo mismo con TD. La PD y FD presentaron correlaciones positivas, siendo la correlación mayor en el presente y fluctuante para los escenarios futuros. En el escenario actual PD y FD se correlacionaron moderadamente con TD. Esto sugiere aproximadamente el 38% y el 50% de la variación espacial de PD y FD, respectivamente, no se explica por TD, la dinámica de estas relaciones varía en los modelos proyectados para el futuro. En los escenarios, la explicación de PD por TD varió del 51% al 79%, mientras que TD explicó la variación de FD del 6% al 57%.

En todos los escenarios identificaron zonas con agrupamiento filogenético o funcional. En el escenario actual, los conglomerados filogenéticos se encuentran principalmente sobre parte de la costa suroeste y sur de Campeche y a lo largo de la costa este y algunas áreas dispersas de Quintana Roo. En la costa suroeste y centro de la península de Yucatán las zonas con agrupamiento funcional están ampliamente distribuidas. Para escenarios futuros, se proyectan variaciones entre expansiones y contracciones de zona agrupados filogenéticamente o funcionalmente.

En general, se proyecta una disminución en todas las dimensiones de la diversidad en los futuros escenarios de cambio climático en comparación con el momento actual. De las áreas protegidas evaluadas ninguna fue efectiva en la protección de las dimensiones de la diversidad, se destaca la necesidad de completar la red de áreas protegidas existentes.

23. Modelling the effects of climate and land-cover changes on the potential distribution of three Earthsnakes (Genus *Conopsis*, Günther, 1858) in a highly anthropized area of Mexico

Sunny *et al.* (2023) evaluaron cómo los escenarios esperados de cambio climático y de cobertura terrestre futuros podrían influir en la distribución geográfica y la conectividad del hábitat de tres serpientes terrestres *Conopsis* endémicas de México: *C. biserialis*, *C. lineata* y *C. nasus*. Utilizaron dos modelos climáticos, CNRM-CM5 (CN) y MPI-ESM-LR (MP), con RCP 8.5 y el método de modelado MaxEnt en ENMeval. Determinaron cuáles son las variables ambientales más importantes que afectan la distribución de las especies y la superposición del nicho ambiental entre ellas.

Los resultados indican que las tres especies de *Conopsis* están restringidas por temperaturas máximas y mínimas, debido a que se adaptan a elevaciones altas y climas templados semifríos, por lo cual, el clima fue un factor determinante principal para la distribución de las especies. Se predijo que todas las especies de *Conopsis* enfrentarían una reducción en su distribución potencial, *C. lineata* posiblemente perderá 48,5% y *C. biserialis* perderá un 28,7%. Sin embargo, los modelos fueron insuficientes para determinar qué especies sufrirían la mayor reducción en la distribución para el futuro. También se encontró

una reducción en la conectividad para las tres especies, mientras que la Sierra de las Cruces y el Corredor Biológico Chichinautzin se determinaron como áreas muy importantes en términos de conectividad. Entre 2011 y 2014 se perdieron grandes áreas de bosques de *Abies* y *Pinus* en estas zonas y aumentó la actividad agrícola que compromete las poblaciones de estas especies. La mayor parte de la distribución potencial de estas especies se encuentra fuera de las áreas protegidas y muy cerca de la agricultura, por lo cual, es muy importante crear áreas protegidas para las especies de reptiles que habitan en estas áreas del centro de México.