



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN
DE ESPECIES DEL ORDEN SQUAMATA EN EL OESTE DE LA
REGIÓN NEÁRTICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

KARINA ASTUDILLO PAVÓN



**DIRECTOR DE TESIS:
BIÓL. JOSÉ GERARDO RODRÍGUEZ TAPIA
CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2018**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno

Astudillo

Pavón

Karina

55 11 93 98 94

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

307010285

2. Datos del tutor

Biólogo

José Gerardo

Rodríguez

Tapia

3. Datos del sinodal 1

Doctora

Tania

Escalante

Espinosa

4. Datos del sinodal 2

Doctora

Patricia

Illoldi

Rangel

5. Datos del sinodal 3

Doctora

Niza

Gámez

Tamariz

6. Datos del sinodal 4

Doctora

Leticia Margarita

Ochoa

Ochoa

7. Datos del trabajo escrito

Efectos del cambio climático en la distribución de especies del orden Squamata en el Oeste de la región Neártica

82 pp.

2018

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que desde el primer día que entré en la ENP 6 “Antonio Caso” ha sido mi casa, a la Facultad de Ciencias que me ha visto crecer y convertirme en quien soy ahora, por mi formación profesional dentro de la mejor universidad del país. A mis maestros, que han forjado en mí una visión y pensamiento crítico, me han enseñado a dudar y forjarme un pensamiento propio, por mostrarme las maravillas de la vida en todas sus formas y el amor a la ciencia.

Al instituto de Ecología (UNAM), en especial A la Unidad de Geomática, que me ha abierto sus puertas y me ha dado las facilidades para realizar este trabajo, porque me han permitido mejorar como persona y como estudiante y aprender de mis errores. A mi tutor Gerardo Rodríguez Tapia, por la paciencia y por los consejos académicos y personales, por las historias, por ser un ejemplo y por ser un equipo conmigo, por darme toda la confianza y por creer en mí y en mi trabajo.

A mis sinodales, por darse el tiempo de apoyarme y darme sus valiosos consejos, por su apoyo para hacer de este trabajo una realidad. A la Dra. Patricia Illoldi y a la Dra. Leticia Margarita Ochoa Ochoa por sus comentarios para mejorar este trabajo.

Al taller de Biogeografía de la conservación, por darme las herramientas para realizar esta tesis, a cada uno de los profesores que forman parte de dicho taller, por las clases, los aportes y enseñanzas, a la Dra. Tania Escalante, por todo el aprendizaje, y por estar siempre apoyándome en los momentos de duda.

A la Dra. Leticia Ochoa Ochoa por apoyarme con la lista de especies de la zona a considerar dentro de este trabajo y a la Dra. Niza Gámez Tamariz por su apoyo en la realización de la sumatoria de mapas y por enseñarme a usar R.

Personales.

A mis papás, porque a pesar del tiempo, aquí está este trabajo, por su apoyo y paciencia, por creer en mí y enseñarme el valor del trabajo duro y constante, por enseñarme a dar lo mejor de mí.

A Tania por molestarme a veces, por los momentos divertidos, por lanzarme pingüinos y pasarla bien, por ser cómplice y mi hermani.

A mi familia, que siempre ha estado al pendiente y me ha apoyado.

A mis amigos, y mi familia del G193, porque seguro sin ustedes, yo no estaría aquí, me han enseñado a amar el medio natural, a tener carácter y a tener la convicción de dejar un mundo mejor.

A Rubí, porque desde hace años y a pesar de todo, siempre has estado conmigo, porque eres y siempre serás mi persona, por tus palabras, consejos y apoyo en más de una ocasión. A Fernando, por ayudarme a descifrar los jeroglíficos de programas que no entendía, por las hamburguesas y las miles de horas de plática. A Jorge, que siempre me ha dado ánimo y a Oscar, porque vamos tras ese millón de sueños.

A Guillermo, por haber sido más que un amigo y compañero, por recordarme que hacer ciencia no es como hacer gorditas de chicharrón, que la ciencia es hermosa y que avanza en base a ensayo y error, por acompañarme en parte del camino y creer en mí, cuando ni yo misma lo hacía.

A Erwin, por ayudarme a reencontrar conmigo misma, porque no importa el tiempo sino la intensidad, por creer en mí, por ser tan importante desde hace tanto tiempo, por estar conmigo a través del miedo, por permitirme ser parte de ti y de tu familia.

En memoria de mamá Pilar, por creer en mí y por estar orgullosa, por tus historias, tu fortaleza y por todo.

ÍNDICE

	Página
Introducción	1
Antecedentes	2
1. El clima	2
1.1. El clima y el cambio climático global	2
1.2. Modelos de circulación general	4
1.3. El clima y su influencia en las especies	6
2. Nicho ecológico y modelos de distribución potencial	7
2.1. El área de distribución y el nicho ecológico	7
2.2. Modelos de distribución potencial y su proyección en el tiempo ...	9
Justificación	12
Objetivos	14
3.1. Objetivo general	14
3.2. Objetivos particulares	14
Hipótesis	14
Área de estudio	15
4.1. Biogeografía	15
4.2. Orografía	16
4.3. Clima	17
4.4. Vegetación	18
Métodos	19
5.1. Selección de especies e integración de la base de datos	19
5.2. Delimitación del área de estudio	20
5.3. Modelos de distribución potencial	21
5.4. Análisis de los modelos obtenidos	24
Resultados	26
6.1. Datos biológicos	26
6.2. Distribución conocida	28
6.3. Modelos de distribución potencial	30
6.4. Tendencias de cambio por zona	38
Discusión	41
Conclusiones	49
Referencias	50
Anexos	59

INTRODUCCIÓN

Dentro de la gran diversidad biológica que posee México, el grupo parafilético Reptilia, representado actualmente por los clados Archosauria (cocodrilos y aves), Chelonia (tortugas) y Lepidosauria (tuátaras, anfibenias, lagartijas y serpientes, estos tres últimos dentro del grupo Squamata) (Vitt y Caldwell, 2014) posicionan al país en el segundo lugar a nivel mundial con 864 especies, de las cuales 417 pertenecen al grupo Lacertilia, tres al grupo Amphisbaenia y 393 a Serpentes (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014).

Debido a la accidentada topografía y a la variedad climática presente en el país, existe una gran cantidad de condiciones ecológicas distintas, y en el caso de los reptiles, esto ha permitido procesos de preservación, diferenciación y radiación de especies; aunque muchas de éstas no se encuentran distribuidas de manera homogénea dentro del territorio nacional (Flores-Villela, 1993a), hay especies que son muy abundantes en áreas específicas (Savage, 2002).

En nuestro país se encuentran representadas 44.9% de las familias de reptiles registradas en el mundo, poco más de la mitad de las especies son endémicas (57%) y aproximadamente el 53% de las especies son de distribución restringida (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014). Esto debido a que en general, los reptiles suelen presentar características que los hacen vulnerables a cambios drásticos en el ambiente, y su tolerancia a factores climáticos extremos suele ser restringida (Flores-Villela, 1993b). Aunque desde hace varios años, se ha documentado el decremento en poblaciones mundiales de anfibios y reptiles, la herpetofauna no suele ser tomada en cuenta como objetivo de conservación (Urbina-Cardona, 2008) a pesar de que este taxón constituye el grupo de vertebrados terrestres mayormente amenazados (Urbina-Cardona y Flores-Villela, 2010).

Desde hace varios años, se han detectado los factores que amenazan la sobrevivencia de los reptiles en áreas naturales, y entre los distintos factores de riesgo se mencionan: el crecimiento demográfico, la contaminación acuática y terrestre, la introducción de especies exóticas, el cambio de uso de suelo, el deterioro del hábitat por pérdida de vegetación y fragmentación, las enfermedades causadas por microorganismos patógenos y el cambio climático (Urbina y Reynoso, 2005), de hecho este fenómeno se ha considerado una amenaza latente para la conservación de la biodiversidad y el correcto funcionamiento de los ecosistemas (IPCC, 2007).

Debido a la influencia del clima ante las especies, es necesario contar con distintos estudios para así determinar cambios en la precipitación y la temperatura, pues éstas son las dos variables principales que determinan el clima (Lennox, 2011). Por un lado, en zonas áridas, la escasa precipitación es la que regula la disponibilidad de agua y alimento, por lo que si existen cambios en

la precipitación anual, se puede incrementar la duración e intensidad de las condiciones de sequía, lo que tiene un impacto directo en la distribución de muchas especies (Barrows *et al.*, 2011). Por otro lado, debido al carácter ectotérmico que presentan los reptiles, únicamente tienen la capacidad de regular su temperatura corporal dentro de cierto rango térmico (Vitt y Caldwell, 2014).

Especialmente en la península de Baja California, se presenta un alto grado de endemismo y gran diversidad biológica como consecuencia de su compleja historia geológica (Riemann y Ezcurra, 2005; Anderson *et al.*, 2009), por lo que es necesario contar con un estudio que considere los cambios a futuro de las distintas variables climáticas para cada una de las especies de reptiles encontradas en la península, pues éstas no se encuentran establecidas de la misma forma a lo largo de todo el territorio.

ANTECEDENTES

1. El clima

1.1. El clima y el cambio climático global

Tradicionalmente, se conoce al *clima* como el promedio de las condiciones atmosféricas o el resultado de patrones de temperatura y humedad que afectan la distribución de los organismos (Magaña, 2004) en un punto determinado de la superficie terrestre (INEGI, 2008), aunque actualmente se no se considera al clima como algo estático, ya que debido a sus interacciones con el mar y los continentes, es un estado dinámico de la atmósfera a diversas escalas espaciales y temporales (Magaña, 2004).

Existen elementos que por las condiciones atmosféricas y geográficas, pueden influir o modificar el clima de un lugar; dichas condiciones se denominan factores climáticos, y entre algunos de ellos se encuentran: la latitud, la altitud, la distancia al mar, la continentalidad, las corrientes marinas y los vientos (INEGI, 2008). Por su parte, la temperatura juega un papel importante en las condiciones del clima al afectar los niveles de evaporación, transpiración, el ciclo hidrológico y la radiación absorbida por la superficie terrestre (Ekström *et al.*, 2005), por lo que cambios en aquella, pueden tener consecuencias directas en los ecosistemas (Stern, 2008). Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura salen de su valor medio, se habla de una anomalía climática (Magaña, 2004).

Se sabe que el clima de la Tierra es cambiante y que a lo largo de la historia se han presentado variaciones, pero se ha demostrado que desde la Revolución Industrial, la composición atmosférica se ha modificado a un ritmo acelerado (IPCC, 2007; Figura 1). Los análisis climáticos, a escalas de miles o millones de años, ponen en evidencia que las concentraciones de gases de efecto invernadero han cambiado significativamente de manera natural, produciendo por consiguiente variaciones en la temperatura; sin embargo, se considera que estos cambios se produjeron a una escala de tiempo mayor a diferencia de los tiempos actuales, en los que los cambios en el clima se producen en un corto tiempo (Magaña, 2004), lo que puede llegar a tener efectos mayores en las próximas décadas, resultando en eventos climáticos extremos como sequías, precipitaciones torrenciales, aumento de la intensidad de ciclones tropicales y cambios en los patrones de viento (Malcolm *et al.*, 2006; IPCC, 2007).

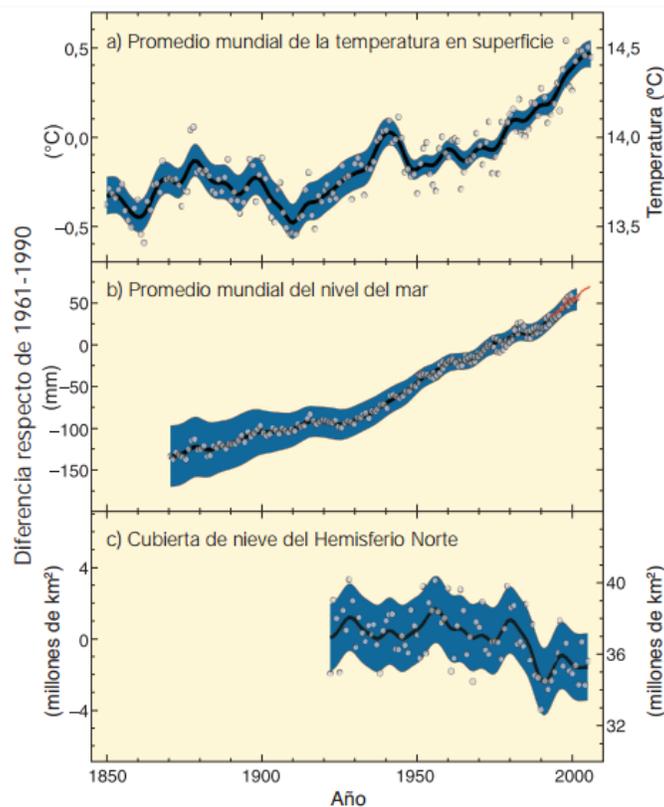


Figura 1. Muestra el aumento en la temperatura superficial, el nivel del mar y la reducción de los glaciares a través del tiempo (Tomada de IPCC, 2007).

Diversas organizaciones han definido de diferentes formas el *cambio climático*; para el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), es la variación estadísticamente significativa del valor medio de las condiciones climáticas o de la variación de sus propiedades que se mantiene a lo largo del tiempo (IPCC, 2007); por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) considera a la actividad humana como causante directa o

indirectamente del cambio en la composición de la atmósfera mundial, que sumada a la variabilidad climática natural produce un cambio en el clima. Este organismo hace una distinción entre *cambio climático*, atribuible a las actividades humanas que alteran la composición natural de la atmósfera y *variabilidad climática*, atribuida a causas naturales (CMNUCC, 1992).

Entre las causas más importantes del *cambio climático* (CC) se encuentran: la variación de las concentraciones de gases efecto invernadero [dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), vapor de agua (H₂O), ozono (O₃) y halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono)], la radiación solar y los aerosoles en la atmósfera. Estos factores son capaces de alterar el equilibrio energético del sistema climático, lo que conduce a lo que se denomina como *calentamiento global*. Este es un incremento en el valor promedio de la temperatura atmosférica en la superficie terrestre y la tropósfera, lo que contribuye al cambio en los patrones climáticos globales (IPCC, 2007). A nivel regional, el cambio en el clima puede deberse a procesos naturales internos o a factores externos resultado de actividades humanas, como el cambio de uso de suelo, la combustión de biomasa o la utilización de combustibles fósiles, lo que puede causar cambios duraderos en la composición atmosférica (Magaña, 2004).

1.2. Modelos de circulación general

Para explorar los escenarios climáticos futuros, se utilizan los *Modelos de Circulación General* (MCG), los cuales son modelos matemáticos cuya función es realizar simulaciones del clima global mediante la evaluación del cambio de la atmósfera bajo sus principios climáticos (Stanley *et al.*, 1990). Para formular los escenarios climáticos, es necesario el uso de la información que proporcionan los escenarios de emisiones de los gases de efecto invernadero y aerosoles, entre muchas otras variables; con éstas, es posible calcular las concentraciones globales y la radiación a través del tiempo, con el fin de proyectar los cambios en la temperatura global usando un modelo climático (Conde *et al.*, 2011). Además, dentro de los modelos se consideran diversas posibilidades acerca del desarrollo global, en cuanto al estado y crecimiento de la población y su respectiva economía (Tol, 1998), así como las implicaciones de diferentes estrategias de mitigación y adaptación, ya que se ha reconocido que la composición natural de la atmósfera se ha alterado paulatinamente debido a la acción humana al aumentar las emisiones de los gases de efecto invernadero (Moss *et al.*, 2010).

De acuerdo con el IPCC (IPCC-WGI, 2007), los escenarios climáticos están definidos como “representaciones plausibles y simplificadas del clima futuro, basado en un conjunto de relaciones

climatológicas construidas para investigar las consecuencias potenciales del cambio climático”, por lo que son descripciones consistentes, coherentes y plausibles de un posible estado futuro del mundo y que sirven como modelos de impacto (Buenfil, 2009).

Los modelos de circulación general se realizan considerando distintos conjuntos de escenarios de emisiones, en los cuales se asume una posibilidad diferente respecto a tres ejes principales: desarrollo tecnológico, poblacional y económico, además de otros parámetros físicos, por lo que al realizar estudios de CC y utilizar ciertos modelos climáticos y un MCG determinado, el resultado representará sólo una alternativa del futuro. Los MCG se deben entender como estimaciones de cómo sería el comportamiento del clima bajo ciertas condiciones dadas, además, proveen un mejor entendimiento de las interacciones entre las condiciones naturales, los procesos climáticos inducidos por los humanos, la adaptación de la sociedad a los cambios y los costos y beneficios potenciales de las políticas de mitigación (Moss *et al.*, 2010).

Los modelos de circulación general simulan procesos que ocurren a grandes escalas espaciales y temporales para estimar los posibles cambios en el clima global. Toda esta información se integra en lo que se denominan “Vías de Concentración Representativas” (RCP: *Representative Concentration Pathways*) RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5 (Moss *et al.*, 2010); cada una resulta de diferentes combinaciones de características económicas, tecnológicas, demográficas, políticas e institucionales. (Cuadro 1)

Cuadro 1: Características de los 4 RCPs*

Nombre	Forzamiento radiativo	Concentración (p.p.m.)	Vía
RCP 8.5	>8.5 W m ⁻² en el año 2100	>1,370 CO ₂ o su equivalente en el año 2100	Aumento
RCP 6.0	~ 6 W m ⁻² al estabilizarse después del año 2100	~ 850 CO ₂ o su equivalente y estabilización después del año 2100	Estabilización sin exceso
RCP 4.5	~ 4.5 W m ⁻² al estabilizarse después del año 2100	~ 650 CO ₂ o su equivalente y estabilización después del año 2100	Estabilización sin exceso
RCP 2.6	Máximo de ~3 W m ⁻² antes del 2100 y posterior decline	Máximo de ~ 490 CO ₂ o su equivalente antes del año 2100 y posterior decline	Máximo y decline

*Modificado de Moss *et al.*, 2010

1.3. El clima y su influencia en las especies

Como respuesta a cambios ambientales en determinadas áreas, algunas especies de reptiles han sufrido el aislamiento de sus poblaciones, fluctuaciones en la duración de sus periodos reproductivos, y pérdida de sitios para este fin, pérdida de diversidad genética, cambios en las tasas de crecimiento y en los patrones de actividad (Urbina-Cardona, 2008). Para la mayoría de estos organismos, el rango de temperatura anual y temperatura diurna media son especialmente importantes debido a que éstos afectan directamente el ambiente térmico y, por ende, la eficiencia de estos organismos para su termorregulación, por lo que pueden ser mayormente afectados por el CC (Urbina-Cardona y Flores-Villela, 2010).

Aunque algunas especies (bajo algún tipo de presión) son capaces de cambiar su distribución de acuerdo con los cambios ambientales (por ejemplo, dirigirse hacia mayores latitudes o elevaciones), la fragmentación del hábitat puede dificultar dicha medida; y en ciertos casos, la tasa de cambio de temperatura superficial es mayor que la tasa de adaptación poblacional y tolerancia a temperaturas mayores (Vitt y Caldwell, 2014; IPCC, 2007). Se debe tomar en cuenta que el clima es el factor principal capaz de controlar las pautas estructurales y de desarrollo de la vegetación, así como la productividad de los ecosistemas (IPCC, 2002), por lo que los cambios drásticos en las condiciones climáticas, y, por ende, ambientales, pueden tener repercusiones importantes en la biodiversidad, aumentando la probabilidad de extinciones locales (IPCC, 2001).

Se ha documentado que las especies afectadas por modificaciones en el clima tienden a mostrar tres posibles patrones de respuesta en sus áreas de distribución: 1) las especies cambian su distribución conforme los regímenes ambientales a los que están adaptados; 2) las especies se adaptan a las nuevas condiciones; 3) si la especie no pueden desplazarse geográficamente o adaptarse, su distribución se limita a los sitios que mantengan las condiciones propicias y en casos extremos las especies se extinguirán (Holt, 1990), debido a que las variables climáticas imponen límites fisiológicos a la capacidad de los organismos a persistir en determinada área (MacArthur, 1972).

2. Nicho ecológico y modelos de distribución potencial

2.1. El Área de distribución y el nicho ecológico

El área de distribución geográfica de una especie constituye el espacio geográfico que ésta ocupa y en el que existen interacciones con los elementos bióticos y abióticos, resultando la combinación de distintos factores (Soberón, 2010; Brown *et al.*, 1996); cada especie se encuentra en un espacio geográfico en el que existe un conjunto determinado de condiciones ecológicas, y es incapaz de persistir o dispersarse hacia condiciones extremas o muy distintas a las que existen en sus sitios de ocupación (Wiens, 2004). Por ello, se ha llegado a la conclusión de que la distribución de las especies puede ser inferida por factores climáticos a escalas espaciales grandes (Mateo *et al.*, 2011), pues cada especie es capaz de generar un patrón espacial de distribución (Guisan y Zimmermann, 2000). Esto es posible mientras los organismos se encuentren relacionados con factores geográficos limitantes o mientras dichos factores sean potencialmente explicativos, es decir, que muestren una variabilidad significativa en el área de estudio y que sean independientes entre sí (Graham, 2003).

Se ha propuesto que existen cuatro clases de componentes básicos que interactúan de manera dinámica determinando el lugar en el que puede encontrarse una especie: 1) las condiciones abióticas, es decir, las condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento de la población, 2) las interacciones con otras especies (competidores, depredadores, patógenos), 3) las regiones accesibles considerando las capacidades de dispersión de cada especie, y 4) la capacidad de las poblaciones para adaptarse a nuevas condiciones (Soberón y Peterson, 2005; Brown, 1995).

Una manera de inferir o aproximarse al área de distribución de una especie es a través de los modelos de nicho ecológico. Hutchinson, propuso en 1957 que el nicho debería ser visualizado como un hiper-volumen definido por un sistema de coordenadas n-dimensional, en el que cada eje representa una variable ecológica, fisiológica o biológica y en el que las especies son capaces de sobrevivir. En otras palabras, el nicho incluye todos los factores bióticos y abióticos con los que cualquier organismo se relaciona en un tiempo y espacio determinado (Illoldi-Rangel y Escalante, 2008), y determina en gran medida su distribución y abundancia (Peterson *et al.*, 1999).

Hutchinson nombró "*nicho fundamental*" a todas aquellas condiciones apropiadas para que el individuo sobreviva, mientras aquella porción en la que los individuos existen y se desenvuelven fue definida como "*nicho realizado*" (Hutchinson, 1957; Martínez-Meyer y Peterson, 2006). Además, distinguió entre dos tipos de variables del entorno ecológico: las scenopoéticas, que no pueden ser modificadas por los organismos y las variables que afectan la adecuación de la población y que

pueden ser consumidas o modificadas; por otro lado, consideró la existencia de factores bióticos que afectan a la población de manera regulatoria (Meszena *et al.*, 2006).

Vázquez (2005) propuso la integración de distintas visiones para la definición del *nicho fundamental*, tomando en cuenta el conjunto de los factores bióticos y las condiciones abióticas en las que cada uno de los distintos niveles ecológicos (individuo, población o especie) es capaz de persistir. Esa definición puede usarse a diferentes niveles de organización, desde individual a específico y se le ha integrado la perspectiva de la movilidad de las poblaciones (Soberón y Peterson, 2005).

Una de las formas de representar gráficamente los factores que intervienen en la distribución de una especie es usado el modelo BAM (Biotic, Abiotic and Movements) (Figura 2); el cual contempla las interacciones bióticas (B), las abióticas o scenopoéticas que afectan la adecuación de los organismos, en la cual las especies no tienen impacto, como son las variables climáticas y topográficas (A) y el movimiento (M) de la especie durante un intervalo de tiempo en el espacio geográfico (G). La región G_0 representa el área de distribución actual, mientras G_1 es el área que podría ser ocupada si ocurriesen cambios en la dispersión poblacional, ya que la distribución se encuentra restringida debido a barreras geográficas (Soberón y Peterson, 2005; Soberón, 2010).

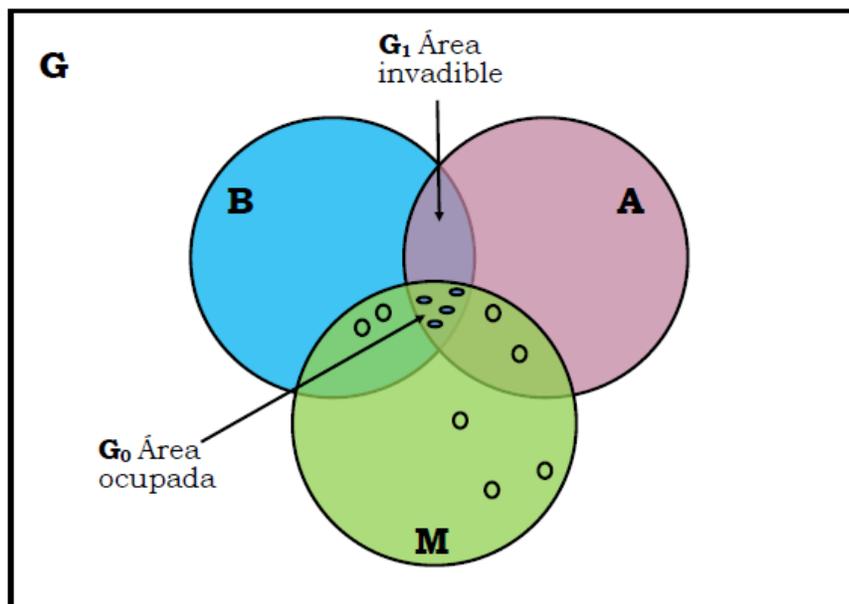


Figura 2. Diagrama BAM (Biotic, Abiotic and Movements). Modificada de Soberón, 2010.

Para abordar el estudio del nicho ecológico de las especies, es necesario cuantificarlo por medio de la elaboración de modelos, simplificaciones de la realidad en las que se conjuntan los factores ambientales en los cuales las poblaciones pueden persistir de manera exitosa (Holt y Gomulkiewicz, 1996), representando el espacio geográfico y el conjunto de propiedades ambientales que satisfacen las necesidades de los organismos (Martínez-Meyer y Peterson, 2006).

Se ha observado que muchas especies tienden a mantener sus características ecológicas ancestrales, lo que se conoce como *conservadurismo de nicho* (Wiens y Graham, 2005). En tales casos, ante alteraciones climáticas importantes, las especies tienden a mantenerse dentro del espacio geográfico en el que se encuentran las condiciones ambientales para las que dichas especies están adaptadas (Peterson *et al.*, 1999).

Debido al conservadurismo de nicho, los cambios importantes en la distribución de las especies, se llevan a cabo a través de largos periodos de tiempo ecológico como consecuencia de la falta de variabilidad genética, lo que frena la evolución de poblaciones que se encuentran bajo presiones de selección (Bradshaw, 1991); en algunos casos, esto también es consecuencia de la presencia de barreras geográficas que los individuos son incapaces de franquear, lo que impide la dispersión (Martínez-Meyer *et al.*, 2004; Wiens, 2004).

Wiens (2004) plantea la existencia de distintos factores fuera del nicho que reducen la adecuación de la especie fuera de sus límites ancestrales, por lo que es la selección natural la que favorece la conducta de permanecer dentro del hábitat; por tanto, considera la existencia de cuatro procesos que limitan la adaptación a nuevos ambientes: 1) falta de variabilidad, 2) la selección natural, 3) efectos pleiotrópicos y 4) flujo génico.

Al ser el nicho una propiedad intrínseca de las especies en tiempos evolutivos y restringe su distribución y dispersión, se considera que los estudios de las distribuciones y movimientos de las especies a través del tiempo, son espacialmente explícitos y potencialmente predictivos, aún bajo escenarios de calentamiento global y cambio climático (Martínez-Meyer *et al.*, 2004). De hecho, la teoría del nicho ecológico ha servido para explicar por qué algunas especies cercanas entre sí presentan una distribución más amplia que otras (Hadly *et al.*, 2009).

2.2. Modelos de distribución potencial y su proyección en el tiempo

Considerando que existen factores que determinan la distribución geográfica de las especies y también que hay factores que limitan la dispersión, es posible expresar matemáticamente la

distribución de las especies si se toman en cuenta los factores ambientales, elementos reguladores y movilidad de los organismos (Soberón, 2010). Por ello, para entender el impacto del cambio climático (CC) en las distribuciones, es importante realizar modelos con los cuales sea posible comparar las distribuciones potenciales actuales y a futuro de las especies (Beaumont *et al.*, 2005).

Para lograr lo anteriormente planteado, se utilizan los modelos de distribución potencial, modelos basados en la propuesta del nicho ecológico, con los que se relacionan los registros de localización de los organismos y los datos ambientales (Elith *et al.*, 2006) a través de una respuesta estadística (Guisan y Zimmermann, 2000; Duellman, 1996). De esa manera se considera que el área que satisface todas las condiciones que requiere el nicho fundamental de una especie, representa su distribución potencial.

En los modelos de distribución de especies, los datos acerca de la distribución actual de los organismos o los puntos de colecta, se asocian con variables independientes que describen las condiciones ambientales (Mateo *et al.*, 2011), asumiendo que la distribución actual es el mejor indicador de los requerimientos ambientales y climáticos de una especie (Pearson y Dawson, 2003), de la misma forma, se asume la existencia de un equilibrio entre el medio ambiente y la riqueza específica de cierto lugar (Nogués, 2003). De esta manera se obtiene un valor que se interpreta como la probabilidad del espacio geográfico de contar con las características ambientales ideales para que dicha especie se encuentre establecida (Mateo *et al.*, 2011; Elith *et al.*, 2006).

Al extrapolar la relación de distribución y factores ambientales al área de estudio, se obtiene un valor que se interpreta como la probabilidad de presencia de especie en cada punto del espacio geográfico (Mateo *et al.*, 2011; Elith *et al.*, 2006; Espinosa *et al.*, 2001); por tanto, también permite extrapolar esta relación a zonas geográficas no muestreadas y a diferentes tiempos, ya que se toman en cuenta los valores ambientales que determinan la distribución espacial de los organismos (Jayat, y Pacheco, 2006). Por ello estos modelos son relevantes para la conservación de ciertos grupos que carecen de información sobre su ecología, demografía e historia natural (Arribas *et al.*, 2012).

En los modelos de distribución potencial, se realiza una inferencia de las áreas que presentan mayor probabilidad de que el taxón estudiado se encuentre presente (Espinosa *et al.*, 2001) de acuerdo con las variables empleadas para generar cada modelo (Mateo *et al.*, 2011). Las variables empleadas suelen ser geológicas, topográficas o climáticas y son usadas para delimitar las condiciones favorables para la especie o comunidad estudiada (Guisan y Zimmermann, 2000). De tal manera que el mapa resultante puede interpretarse como la distribución potencial de la especie o grupo de especies en cuestión (Soberón y Peterson, 2005; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001).

Para cada modelo se representa la idoneidad del espacio geográfico, ésta se define como la relación matemática entre la distribución real conocida y las variables independientes usadas como indicadores (Guisan y Zimmermann, 2000). Con este valor se puede medir la influencia de cada variable sobre la distribución geográfica de una especie (Arribas *et al.*, 2012), de manera que el conjunto de variables puede reflejar los factores climáticos actuales o estimar valores para tiempos pasados o futuros o se pueden trasladar hacia áreas distintas (Martínez-Meyer *et al.*, 2004).

En la correlación realizada para obtener el modelo de distribución potencial, además de las variables abióticas, se incluyen los efectos de las interacciones bióticas (Soberón y Peterson, 2005), ya que se ha propuesto que a ciertas escalas, el componente biótico está dominado por el medio ambiente (Pearson y Dawson, 2003; Soberón, 2007).

Es posible que los modelos bioclimáticos sean usados para la detectar las localidades propicias para el establecimiento de distintas especies bajo distintos escenarios climáticos a futuro (Pearson *et al.*, 2006), pues se ha demostrado que existe una correlación entre el cambio climático y los distintos cambios en la distribución de las especies: expansión, reducción o desaparición de sitios adecuados para ciertos organismos (Hughes, 2000; Perry *et al.*, 2005). Por lo tanto, se ha concluido que debido al cambio climático, podrían existir cambios en los patrones de diversidad (Malcolm *et al.*, 2006) y riqueza de especies en determinados sitios (Ochoa-Ochoa *et al.*, 2012).

Las predicciones resultantes, permiten identificar regiones distintas que podrían ser ambiental y climáticamente favorables en el futuro bajo distintos escenarios y que por tanto a futuro podrían actuar como áreas receptoras (Arribas *et al.*, 2012). Igualmente pueden ayudar a predecir posibles extinciones y otros cambios en la distribución de las especies (Wiens y Graham, 2005), y otorgan una aproximación al espacio climático que define la distribución de las especies y que puede ser proyectada bajo diversos escenarios (Elith *et al.*, 2011).

JUSTIFICACIÓN

Entre los vertebrados, los reptiles diurnos son particularmente sensibles al CC debido a su ectotermia, su comportamiento relativamente sedentario y el hecho de que las altas temperaturas y sequías pueden acercarlos a sus límites fisiológicos (Barrows *et al.*, 2011; D' Amen y Bombi, 2009).

Debido a que el clima tiene un papel fundamental en la distribución natural de las especies, es posible que el CC tenga una gran influencia sobre la distribución de muchas de ellas, ya sea mediante la expansión o contracción de sus áreas de distribución (Pearson y Dawson, 2003; Perry *et al.*, 2005), además, tiene el potencial para impactar a escalas mayores en el futuro (Parmesan, 2006). En muchas otras especies, el CC puede ser una prueba para la persistencia de ciertas especies en determinadas áreas, ya que mientras algunas serán capaces de adaptarse a los cambios ambientales, para otras excederá su capacidad de dispersión y no podrán sobrevivir a la aclimatación, lo que podría conducir a extinciones locales (Peterson *et al.*, 2005), por lo que son necesarios estudios que analicen los posibles efectos de este en la distribución de las especies de reptiles, proporcionando elementos para llevar a cabo estrategias de conservación y manejo de la fauna, tomando en cuenta especialmente a las especies endémicas de la región.

Especialmente para especies amenazadas y en peligro de extinción, los estudios de CC, son clave para llevar a cabo planes de manejo y conservación de la biodiversidad (Wright *et al.*, 2016). De las 21 especies consideradas para este estudio, 11 se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), debido a la existencia de factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que es imperante la necesidad de propiciar su recuperación; algunas de estas especies pueden encontrarse en peligro de extinción a corto o mediano plazo, por lo que es necesaria su protección y conservación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especies consideradas para este estudio, dentro de alguna categoría de riesgo.

Especie	Categoría de riesgo		Distribución en México
	IUCN	NOM-059	
<i>Crotalus enyo</i>	Preocupación menor	Amenazada	Endémica
<i>Eridiphas slevini</i>	Preocupación menor	Amenazada	Endémica
<i>Masticophis lateralis</i>	Preocupación menor	Amenazada	Endémica

Cuadro 2. Continuación

Especie	Categoría de riesgo		Distribución en México
	IUCN	NOM-059	
<i>Urosaurus nigricaudus</i>	Preocupación menor	Amenazada	Endémica
<i>Crotalus mitchellii</i>	-	Amenazada	No endémica
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	Preocupación menor	Amenazada	No endémica
<i>Thamnophis hammondi</i>	Preocupación menor	Amenazada	No endémica
<i>Bipes biporus</i>	Preocupación menor	Sujeta a protección especial	Endémica
<i>Petrosaurus thalassinus</i>	Preocupación menor	Sujeta a protección especial	Endémica
<i>Sceloporus zosteromus</i>	Preocupación menor	Sujeta a protección especial	Endémica
<i>Crotalus ruber</i>	Preocupación menor	Sujeta a protección especial	No endémica

OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Cuantificar los efectos potenciales que el cambio climático tendrá en la distribución geográfica de algunas especies de reptiles presentes en la Península de Baja California y el Oeste de Estados Unidos de América para los años de 2050 y 2070.

3.2 Objetivos particulares

1. Modelar el área de distribución potencial actual de las 21 especies de reptiles presentes en la Península de Baja California y el Oeste de Estados Unidos de América.
2. Estimar los cambios en la distribución geográfica de las 21 especies de reptiles para los años 2050 y 2070, con los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 empleando el modelo de circulación general CGCM3.
3. Cuantificar los cambios en el área de distribución geográfica de las especies para los años 2050 y 2070, de acuerdo con los dos posibles escenarios de cambio climático.
4. Identificar el patrón de respuesta de las especies ante los dos escenarios de cambio climático

HIPÓTESIS

El cambio climático repercutirá en los intervalos altitudinales y latitudinales de la distribución geográfica de las especies, con una tendencia hacia intervalos superiores. Al subdividir el área total, se podrán observar más claramente los patrones de cambio en la distribución geográfica de las especies consideradas en este estudio. Este cambio se traducirá en una reducción de las áreas de distribución de las especies presentes en la Sub-área Mexicana (Área A1) y por el contrario, se espera observar expansión del área de distribución México-Estadounidense (Área C1) hacia el noreste de Estados Unidos de América. En ninguno de los dos casos se espera que se presenten extinciones potenciales significativas a nivel local.

ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Biogeografía

Hasta hace aproximadamente 5.5 millones de años, lo que ahora se conoce como la Península de Baja California se encontraba unido a la costa oeste de México, hasta que, debido a diversos movimientos tectónicos, sufrió una fragmentación geográfica que derivó en su desprendimiento de la parte continental (Grismer, 2002).

La transferencia de la península de la placa tectónica Norteamericana a la placa tectónica del Pacífico y su posterior migración por aproximadamente 300 km al noroeste a lo largo de la Falla de San Andrés (Grismer, 2002; Leaché y Mulcahy, 2007) fue un proceso gradual que atravesó por distintos estados de elevación, sub-emergencia y fragmentación geográfica (Grismer, 2002). Este proceso llevó al surgimiento del mar de Cortés por la expansión de los límites de las placas Pacífico y Norteamericana hace aproximadamente 5.5 millones de años (Holt *et al.*, 2000), y a la posterior separación de la región del cabo en el Mioceno (Leaché y Mulcahy, 2007).

Por la historia geológica de la región, el desierto peninsular suele ser considerado como un subconjunto del Desierto Sonorense, teoría que se ha sustentado con estudios de ADNmt para especies como *Sceloporus magister*, para las cuales, el Desierto se considera su área ancestral (Leaché y Mulcahy, 2007). De la misma forma, se ha tomado en cuenta la similitud de plantas presentes en ambas zonas y el hecho de que existen algunos vertebrados que se consideran co-específicos de especies continentales (Riddle *et al.*, 2000).

La historia dinámica de desarrollo en la península, tuvo un profundo efecto en la evolución, distribución y estructura genética de los vertebrados terrestres, además, esta región vio favorecida la especiación biológica debido a la heterogeneidad geográfica presente y al aislamiento de la parte continental por el mar de Cortés (Grismer, 2000).

Riddle y colaboradores, en el 2000, consideraron que en ocasiones los eventos vicariantes suelen ser subestimados y la dispersión es sobrestimada, y propusieron para la Península de Baja California tres eventos de vicarianza: el primero en la parte norte del Golfo de Baja California, como resultado de la extensión del Golfo de California durante el Pleistoceno Tardío. Al mismo tiempo el Istmo de la Paz se encontró inundado, lo que llevó al segundo evento vicariante y algunos millones de años más tarde, ocurrió el último evento en la parte central de Baja California, como resultado del canal medio-peninsular a mediados del Pleistoceno (Figura 3).

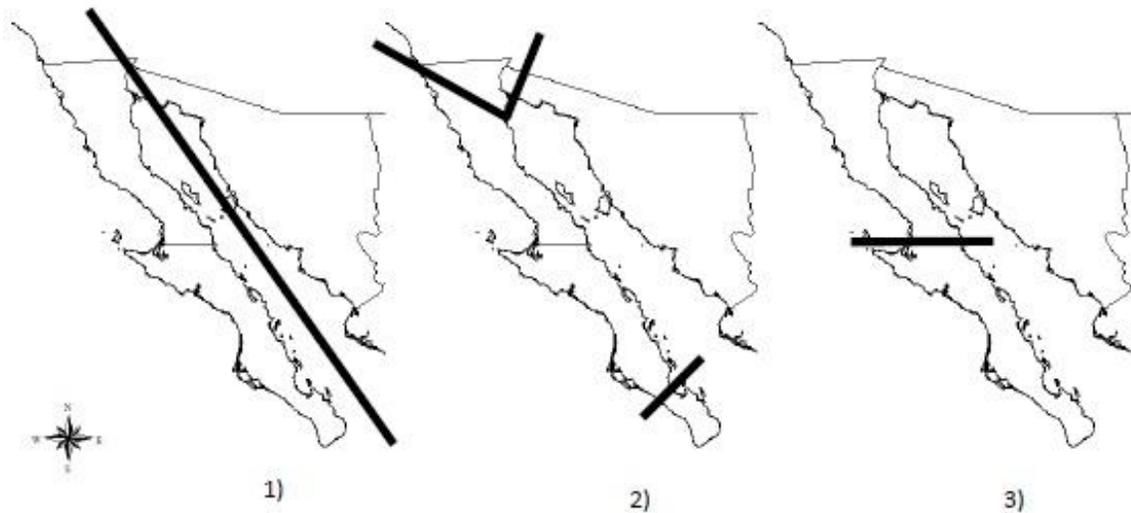


Figura 3: Eventos de vicarianza en la península de Baja California: 1) Hace 4 millones de años. 2) Hace 3 millones de años, en la parte norte y el cabo. 3) Hace menos de 1.6 millones de años, en la parte central de la península. Modificada de Riddle *et al.*, 2000.

De la misma forma, Leaché y Mulcahy en el 2007 propusieron que entre la región del cabo y la parte norte de Baja California existía una región inundable con un nivel fluctuante de agua, por lo que en múltiples ocasiones pudo cortarse la comunicación entre estas dos zonas, dando la oportunidad a la diversificación de algunas especies.

4.2. Orografía

En la llanura Sonorense existen sierras paralelas con orientación nor-noroeste, separadas entre sí por llanuras extendidas hacia la costa. Las laderas montañosas tienen fuertes pendientes y huellas de erosión (INEGI, 2008). Al oriente se localiza una zona de dunas casi desprovista de vegetación (González, 2004).

Geológicamente, la península de Baja California se encuentra caracterizada por su relieve, el cual es correspondiente con las regiones con volcanes alineados, que crean grandes elevaciones y cercados de lava, y la remoción de rocas por acción de la erosión fluvial (Grismer, 2000). Existen planicies marginales a las montañas y formas como fosas tectónicas, terrazas y líneas de costa de erosión marina (Lugo, 1990). En esta provincia se presentan escarpes abruptos hacia el Golfo y pendientes suaves hacia el Pacífico, mientras la costa oeste es rocosa.

En la península, las fallas que corren paralelas al Golfo de California se encuentran en forma de laderas muy pronunciadas de gran extensión y el sistema tectónico une la parte posterior del Pacífico-Este y el sistema de fallas de San Andrés en California (Michaud *et al.*, 2005). En dicho

estado se encuentra la Sierra Nevada, un sistema montañoso que recorre más de 700 kilómetros desde el Lago Almanor en el norte, hasta la sierra de Tehachapi en el sur (DeCourten, 2009).

Al oeste de California se encuentran las montañas Klamath, con una orientación predominante al noroeste, y que presentan una altura de entre 1,500 y 2,150 msnm. Se ha considerado una extensión de las tendencias de la Sierra Nevada (DeCourten, 2009).

Entre la Sierra Nevada al este y las montañas del oeste, se encuentra el Gran Valle, que, debido a los movimientos de los ríos, se han depositado sedimentos aluviales; lo que ha producido uno de los suelos más fértiles en el mundo (DeCourten, 2009). Dentro de la provincia *Basin and Range* se encuentra la gran cuenca, caracterizada por su sistema de drenaje interior, que se encuentra conformado por una combinación de más de 200 áreas hidrográficamente separadas (Eaton, 1982).

En los altiplanos de Colorado, se pueden encontrar formaciones geológicas esculpidas por la erosión causada por el agua, creando altiplanos, mesetas, colinas, cañones y desfiladeros de entre 1,500 hasta 3,350 metros de altura; en esta provincia se pueden encontrar formaciones sedimentarias casi horizontales, en las que la superficie se encuentran flujos de lava y depósitos glaciales (Leydsman y McGinty, 2009).

4.3. Clima

La provincia Sonorense se considera de clima árido, ya que escasea la lluvia, por lo que la región es seca. Dentro de la península de Baja California el clima se clasifica como seco a muy seco, aunque en determinadas estaciones llega a ser templado subhúmedo (INEGI, 2008). En su región norte, hasta llegar a California, existe una región de tipo mediterránea con presencia de bosque y niebla, mientras que al sur la región se vuelve más árida y seca (Vidal, 2005), tal clima es debido a la corriente fría proveniente del Océano Pacífico, debido a los vientos húmedos provocan la aridez de la zona (García, 2003).

La precipitación en la península de Baja California varía en función de la elevación, presentando entre 160 mm y 600 mm dependiendo la altitud (González-Abraham *et al.*, 2010), presentando la mayor tasa de precipitación los meses de julio a octubre (Cabazos, 2008), ya que la faja subtropical y de alta presión se mueve hacia el sur, por lo que dominan los vientos del oeste procedentes del Océano Pacífico (García, 2003) y se presenta una alta radiación solar. La parte sur de la península se ve afectada por ciclones tropicales, lo que provoca un clima semiseco con precipitaciones en verano, mientras la región norte es influenciada por la corriente de California, lo que le confiere un clima mediterráneo con precipitaciones en invierno (Grismer, 1994).

4.4. Vegetación

La península de Baja California es reconocida por su gran riqueza biológica, por su alto grado de endemismo y por contar con áreas silvestres bien conservadas (INEGI, 2008). Latitudinalmente al norte, los géneros dominantes en la vegetación son *Pinus quadrifolia* y *Pinus Jeffrey*, además de *Abies sp.*, por lo que existen grandes pasajes forestales.

En los lugares húmedos de la región de niebla, a través de la Sierra San Pedro Mártir, existen bosques de *Populus tremuloides*; en la región del Cabo existe el matorral desértico y matorral xerófilo, con elementos suculentos como el bardón barbón (*Pachycereus pecten*), el cardón (*P. pringlei*) y comúnmente se encuentran las *Opuntias*. De la misma forma se pueden encontrar *Bursera microphylla*, *Jatropha cinerea* y *J. cuneata*, que se consideran especies semisuculentas; y en cuanto a especies arborescentes, existen el palo verde (*Parkinsonia florida*), palo chino (*Havardia mexicana*), palo amarillo (*Esenbeckia flava*) y mezquite (*Prosopis articulata*) (González-Abraham *et al.*, 2010).

En el sur de California, la vegetación característica, es el chaparral de hoja perenne, es decir, una comunidad de matorrales leñosos con un sistema de raíces extenso en proporción a la talla de la planta; las hojas son relativamente pequeñas y quitinosas, la especie característica es *Adenostoma fasciculatum*, formando una comunidad pura o con diferentes especies de *Quercus*, *Ceanothus*, *Cercocarpus*, *Garrya*, *Rhus* o *Arctostaphylos*. Las especies dominantes del chaparral son típicamente arbustos de raíces poco profundas, raramente mayores a 1.5 m, entre las especies más comunes se encuentran: *Artemisia californica*, *Encelia californica*, *Lotus scoparius*, *Eriogonum fasciculatum*, *Viguera laciniata* y algunas especies del género *Eriodictyon*. Aunque estos dos tipos de vegetación no se encuentran siempre geográficamente contiguas, se encuentran fuertemente asociadas (Harrison *et al.*, 1971).

MÉTODOS

El presente análisis se realizó siguiendo la serie de pasos que se presenta a continuación:

- a) Selección de especies y obtención de los registros únicos de ocurrencia
- b) Definición del área de estudio
- c) Definición y procesamiento de las variables ambientales utilizadas
- d) Elaboración de los modelos de distribución potencial actuales y futuros bajo escenarios de cambio climático para cada una de las especies
- e) Análisis de los modelos obtenidos

5.1. Selección de especies e integración de la base de datos

La selección de especies a incluir en el análisis se realizó a partir de los taxones recopilados en L. L. Grismer (2002), en donde se llevó a cabo un recuento y descripción de la herpetofauna presente en Baja California. También se tomó en cuenta la lista de especies que Ochoa-Ochoa y Flores-Villela (2006) usaron para llevar a cabo un estudio de áreas de diversidad y endemismo para la herpetofauna del país. Esto llevó a seleccionar diversas especies, todas ellas dentro del orden Squamata.

Se consideraron para este estudio, aquellas especies de reptiles del orden Squamata presentes en la península de Baja California y que contaran con más de 15 registros únicos, debido a que los modelos no son significativos con tamaños de muestra menores a 15 puntos (Peterson *et al.*, 1999), obteniendo un total de 21 especies que posteriormente se dividieron para formar dos bases de datos; la primera, con 8 especies presentes mayor o únicamente en el territorio mexicano y la segunda con 13 especies presentes en México y Estados Unidos de América. Las bases de datos incluyeron las coordenadas geográficas (latitud y longitud) y las localidades en las cuales los organismos fueron colectados, datos taxonómicos y su número de catálogo, con lo que se conformó un total de 5,324 registros.

La información fue obtenida de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB, <http://www.conabio.gob.mx/remib>; Fecha de acceso: 4 de junio de 2016) de la CONABIO, que a su vez integra las bases de datos de museos nacionales e internacionales. Además se incluyeron registros obtenidos en GBIF (Global Biodiversity Information Facility, <http://www.gbif.org>; Fecha de acceso: 4 de junio de 2016), sitio que reúne y facilita información

biológica de todo el mundo y finalmente; de la base de datos presente en HerpNet (<http://www.herpNet.org/>; Fecha de acceso: 16 de junio de 2016), sitio que establece una red global en la que se pueden obtener datos de colecciones herpetológicas.

Durante el proceso de depuración geográfica de la base de datos se eliminaron los registros repetidos o sin datos geográficos y se georeferenciaron los registros que únicamente contaban con la descripción de la localidad en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView GIS 3.2 (ESRI, 1999), ubicando el nombre, municipio y estado de la localidad de registro, tomando en cuenta la distancia y orientación reportada. Posteriormente se realizó la depuración nomenclatural de los nombres de las especies mediante el catálogo propuesto por el ITIS (Integrated Taxonomic Information System, <http://www.catalogueoflife.org>; Fecha de acceso: 8 de julio de 2016) para descartar sinonimia o errores en los nombres.

Los registros de ambas bases de datos se corrigieron y se corroboró la distribución de cada una de las especies de acuerdo con Douglas *et al.* (2006), Leaché y Mulcahy (2007), Grismer (2002) y Samaniego *et al.* (2007).

5.2. Delimitación del área de estudio

Para llevar a cabo la delimitación del área de estudio, los polígonos utilizados se elaboraron a partir de los mapas de provincias fisiográficas, ya que esta regionalización toma en cuenta distintos criterios topográficos para dividir el territorio en provincias y secciones, por lo que el recorte de los polígonos mantiene criterios geográficos.

Se obtuvieron los mapas de las provincias fisiográficas de México (INEGI, 2008) y de Estados Unidos de América (USGS, <https://www.usgs.gov>) para realizar los polígonos que constituirían el área de estudio.

Para el primer grupo de especies, que presenta especies que se encuentran mayor o únicamente México, se realizó un polígono al que se denominó área A1. Al construir tal polígono, se tomaron en cuenta ocho provincias mexicanas y siete secciones de provincias estadounidenses.

Se creó un segundo polígono para el que se tomaron en cuenta 8 provincias mexicanas y 20 secciones de provincias estadounidenses, al que se denominó área C1, el cual resulta en el área de estudio para el grupo de especies que se presenta tanto en México como en Estados Unidos de América.

Para ambas áreas de estudio, se consideró que los polígonos deberían cubrir la totalidad de los puntos de colecta, y deberían presentar congruencia geográfica con las especies seleccionadas

para el estudio, dejando también un margen para la expansión de las áreas de distribución, si es que ésta se presentaba (Figura 4).

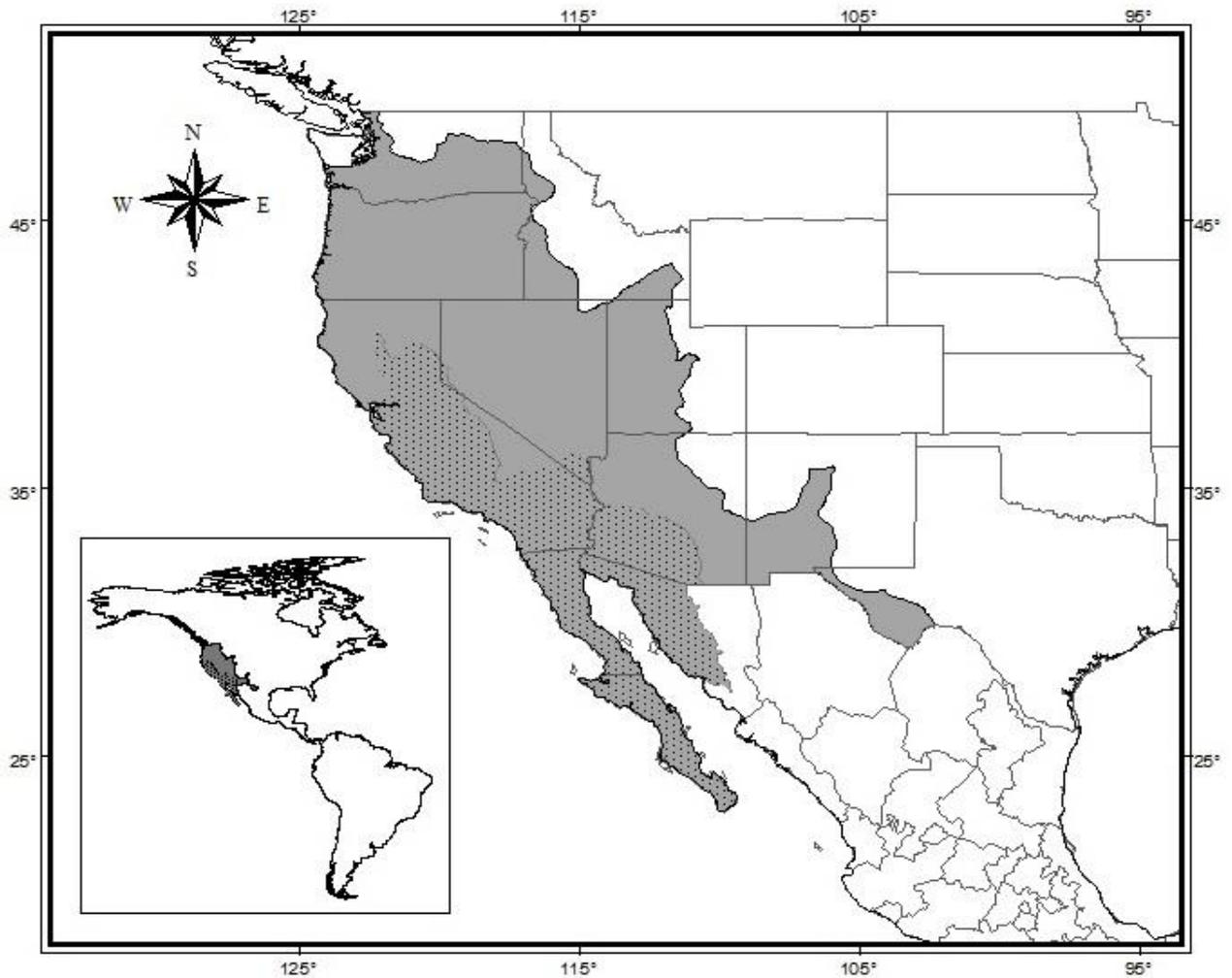


Figura 4. Representación del sitio de estudio; en gris se presenta el polígono utilizado para especies de ambos países (C1). El segundo polígono se encuentra anidado (A1) y se presenta punteado.

5.3. Modelos de distribución potencial.

Se obtuvieron de WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) las 19 variables bioclimáticas a usarse para elaborar los modelos de distribución de especies. Estas variables se realizan con el recuento de los valores mensuales de temperatura y precipitación; por lo que representan las tendencias anuales, estacionalidad, y otros factores que pueden limitar la distribución de las especies (Urbina-Cardona y Flores-Villela, 2010; Hijmans *et al.*, 2005).

Posteriormente se realizó una intersección entre cada variable bioclimática y cada uno de los registros de las especies para obtener sus respectivos valores ambientales. Previo a este proceso, para cada una de las especies se eliminaron los registros que coincidieran en el mismo pixel, para ello se usó un mapa en formato raster con el mismo tamaño de pixel, esto con la finalidad de evitar un sesgo debido a la densidad de puntos en un mismo sitio, de manera que se encontrara únicamente un registro en cada pixel; de la misma forma, se identificaron los registros que se encontraban fuera del área del mapa raster; de manera que se obtuvo un archivo de datos por especie con los valores correspondientes de las variables para cada uno de los registros (Anexo I).

Para hacer la selección de las variables bioclimáticas a usarse para cada especie, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para una matriz impropia en el software estadístico R-Studio, con el cual se seleccionaron las variables que aportaran la mayor parte de la varianza asociada a los datos mediante la proporción acumulativa. Posteriormente se seleccionaron las variables con alta contribución al componente y que se encontraran no correlacionadas, mediante un análisis de correlación de Spearman realizado en SPSS-Statistics ($r < 0.85$) con el fin de evitar la redundancia en las variables (Castellanos-Morales *et al.*, 2015; Elith *et al.*, 2006).

Para cada especie se usó un conjunto de variables distinto, el primer polígono considera especies presentes tanto en México como en Estados Unidos de América (Cuadro 3).

Cuadro 3. Conjunto de variables bioclimáticas usadas por especie para el polígono C1

Especie	Variables bioclimáticas
<i>Crotalus enyo</i>	Bio1, Bio7, Bio16, Bio18
<i>Crotalus mitchellii</i>	Bio1, Bio3, Bio7, Bio9, Bio12, Bio14
<i>Crotalus ruber</i>	Bio2, Bio4, Bio5, Bio8, Bio13, Bio19
<i>Lampropeltis zonata</i>	Bio1, Bio3, Bio4, Bio5, Bio10, Bio13, Bio14
<i>Masticophis lateralis</i>	Bio5, Bio7, Bio9, Bio10, Bio11, Bio13, Bio15, Bio18
<i>Phrynosoma coronatum</i>	Bio2, Bio3, Bio4, Bio6, Bio7, Bio9, Bio10, Bio11, Bio13
<i>Sceloporus orcutti</i>	Bio1, Bio2, Bio3, Bio4, Bio7, Bio9, Bio10, Bio16
<i>Sceloporus zosteromus</i>	Bio1, Bio4, Bio7, Bio13, Bio18
<i>Tantilla planiceps</i>	Bio1, Bio2, Bio4, Bio8, Bio13, Bio14, Bio17, Bio18
<i>Thamnophis hammondi</i>	Bio1, Bio2, Bio5, Bio7, Bio10, Bio13, Bio14
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	Bio1, Bio3, Bio4, Bio8, Bio10, Bio14, Bio16, Bio18, Bio19
<i>Urosaurus nigricaudus</i>	Bio2, Bio3, Bio4, Bio10, Bio11, Bio13, Bio18
<i>Xantusia vigilis</i>	Bio1, Bio4, Bio7, Bio9, Bio13, Bio15, Bio18

Para el segundo polígono se consideran especies presentes únicamente en México (Cuadro 4).

Cuadro 4. Conjunto de variables bioclimáticas usadas para cada especie del polígono A1

Especie	Variabes bioclimáticas
<i>Bipes biporus</i>	Bio1, Bio7, Bio13, Bio14, Bio17, Bio18
<i>Bogertophis rosaliae</i>	Bio1, Bio3, Bio4, Bio6, Bio8, Bio13, Bio14
<i>Coleonyx switaki</i>	Bio1, Bio7, Bio9, Bio12
<i>Crotaphytus vestigiium</i>	Bio2, Bio4, Bio14, Bio18, Bio19
<i>Eridiphas slevini</i>	Bio6, Bio9, Bio10, Bio15, Bio16, Bio19
<i>Gambelia copeii</i>	Bio1, Bio2, Bio3, Bio4, Bio7, Bio9, Bio10, Bio13, Bio19
<i>Petrosaurus thalassinus</i>	Bio2, Bio7, Bio8, Bio10, Bio11, Bio12, Bio13, Bio18
<i>Pituophis catenifer</i>	Bio2, Bio4, Bio16, Bio18, Bio10, Bio19

Los modelos de distribución para cada una de las especies fueron generados con el programa MaxEnt versión 3.3.3k (Maximum Entropy Species Distribution Modeling; Phillips *et al.*, 2004), el cual está basado en un algoritmo que funciona bajo el principio probabilístico de máxima entropía, es decir, el modelo resultante tiende a aproximarse a la distribución más uniforme a lo largo del área de estudio (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2004). MaxEnt pesa cada variable ambiental al multiplicarla por una constante y la divide para asegurar valores de probabilidad entre 0 y 1; este algoritmo realiza una convergencia para llegar a la distribución probabilística óptima, iniciando con una distribución uniforme de la probabilidad a la vez que altera el peso de una variable a la vez para maximizar la similitud de los datos de ocurrencia, por lo que existe una correspondencia entre las localidades de ocurrencia y las variables ambientales seleccionadas (Phillips *et al.*, 2004, Phillips *et al.*, 2006).

Se crearon los mapas de distribución de especies usando los datos de presencia y las variables bioclimáticas seleccionadas en MaxEnt, modelando también las curvas de respuesta, y el análisis de Jackknife. Se realizaron 20 réplicas con 1000 iteraciones para cada especie, se desactivó la extrapolación y se realizó el análisis de MESS. Se utilizó el *bootstrapping* para las réplicas, esta es una técnica de validación en la que se realiza un muestreo con reemplazo, por lo que los puntos de presencia pueden usarse una o varias veces; para ello se usó el 80% de los registros de presencia como datos de entrenamiento, y el 20% restante, como datos de validación.

Para evaluar la precisión del modelo, se utilizó el área bajo la curva (*Area under the curve*, AUC). Con este índice, se comparan los errores de omisión y comisión, al evaluar el desempeño del modelo, comparando un punto de presencia y un punto tomado al azar, contra la distribución real

conocida de la especie, lo que se considera como idoneidad, dando como resultado un valor entre cero y uno y puede tomarse como la exactitud del modelo resultante. Se considera un buen modelo si el índice AUC es mayor a 0.8 (Phillips *et al.*, 2006). Para este estudio, se acotó la distribución de las especies al modelo promedio, que fue el que se utilizó (Castellanos-morales *et al.*, 2015).

Para proyectar las condiciones futuras, se utilizó el modelo climático MRI-CGCM3 del Meteorological Research Institute, el cual ha resultado tener un buen rendimiento a nivel global y regional de acuerdo con Conde *et al.* (2011) y ha sido usado previamente para evaluar patrones espaciales de diversidad bajo escenarios de CC (Ochoa-Ochoa *et al.*, 2012). Se descargaron de WorldClim las capas correspondientes a dos periodos de tiempo (2050 y 2070) y para cada uno, dos vías de concentración representativas (RCP 4.5 y RCP 8.5), debido a que el RCP 8.5 se ha considerado la vía más consistente con las tendencias de emisión observadas y representa un escenario extremo de CC severo (Peters *et al.*, 2013). El escenario 4.5 representa el escenario conservativo, en el que los efectos de CC son leves. Todos los escenarios ambientales se realizaron a una resolución de 30 arcossegundos (~1 km²).

5.4. Análisis de los modelos obtenidos

Para cada periodo de tiempo, se creó un mapa de presencia/ausencia para cada especie empleando el 90% de los datos de presencia, asumiendo que el 10% de los datos usados son susceptibles a error. Para identificar las áreas con condiciones ambientales adecuadas, se efectuó una sumatoria de mapas con cada modelo resultante creando para ello mapas binarios, en el que a cada periodo de tiempo se le asignó un número (1 = actual; 3 = 2050 y 5 = 2070), de tal manera que el número resultante tras la sumatoria, se podría traducir en permanencia, desaparición o medio para colonización. Con lo cual, a la pérdida de especies del periodo actual al futuro, se le asignó un número 1; a las áreas ambientalmente adecuadas en los periodos de 2050 y 2070, un valor de 8 y el número 9 representa la presencia de las especies en los tres periodos de tiempo. Lo anterior permitió comparar la dinámica de cada celda entre los tres periodos de tiempo (Castellanos-Morales *et al.*, 2016). Con esos datos se cuantificó de manera porcentual el cambio en la distribución de cada especie, la estabilidad del área y el tamaño resultante del área de distribución futura.

Debido a la compleja conformación de la península de Baja California y su aislamiento de la parte continental, las distintas especies presentes cuentan con distribuciones diferentes (Riemann, 2005). Se sabe que en esta zona existe una gran cantidad de especies animales y vegetales endémicas, a causa de la historia geológica y la heterogeneidad de la península, por ello las 21 especies consideradas para el presente estudio fueron divididas en tres categorías: norte, sur y

centro, de acuerdo a su distribución actual. Esto debido a que previamente se ha sugerido la independencia y diferenciación de especies de mamíferos presentes en la zona norte y la zona sur de la península (Riddle *et al.*, 2000), sin embargo esto no se ha comprobado previamente con otros grupos, y tampoco se han determinado los efectos del cambio climático en dichas áreas.

Para definir cada área, se consideraron los eventos de vicarianza propuestos por Riddle y sus colaboradores en el 2000 y se utilizaron distintas subprovincias fisiográficas de México y Estados Unidos de América, de tal manera que el área norte consta de la provincia del Borde Pacífico y sus diferentes subprovincias. El área centro cuenta con la provincia del desierto San Sebastián Vizcaíno y la sierra de Baja California Norte, mientras que el sur está conformada por la subprovincia El Cabo, Llanos de la Magdalena y la Sierra la Giganta.

Al delimitar cada área, se identificó la distribución preferente de cada especie, es decir, que más de la mitad de su distribución potencial, perteneciera a la zona; de manera que para el área norte se tomaron en cuenta 9 especies, para la zona centro 4 especies, y la zona sur contó con 8 especies. Al definir cada área, se realizó una sumatoria de las distribuciones potenciales de cada grupo de especies para los dos RCPs y para el tiempo actual, con el fin de comparar las áreas de convergencia de las especies, para así determinar las tendencias de cambio por área, y finalmente comparar dicha superficie con las áreas naturales protegidas existentes en cada zona, mediante la comparación del mapa de áreas naturales protegidas (<http://sig.conanp.gob.mx>; Fecha de acceso: 4 de junio de 2017) con el área resultante de la sumatoria.

RESULTADOS

6.1. Datos biológicos

Se obtuvieron un total de 32,197 registros puntuales, de los cuales los registros únicos sumaron un total de 5,324, con al menos 15 registros únicos, para tres grupos de especies (Cuadro 5); para el grupo Serpentes se obtuvo el mayor número de registros, tanto totales como registros únicos.

Cuadro 5. Registros totales y registros únicos, obtenidos para cada grupo de especies

	Registros totales	Registros únicos georeferidos
Amphisbaenia	84	40
Lacertilia	21,576	2,371
Serpentes	10,537	2,913
Total	32,197	5,324

La primera base de datos consta de 287 registros únicos para ocho especies cuya distribución se encuentra preferentemente en México. Para cada una de las especies, se obtuvieron entre 15 y 82 registros únicos georeferidos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Especies incluidas con distribución geográfica en el área de estudio A1, grupo al que pertenecen, registros totales y registros únicos con georreferencia.

	Especie	Registros totales	Registros únicos georeferidos
Amphisbaenia	<i>Bipes biporus</i>	84	40
Lacertilia	<i>Coleonyx switaki</i>	179	24
	<i>Crotaphytus vestigium</i>	366	82
	<i>Gambelia copeii</i>	205	53
	<i>Petrosaurus thalassinus</i>	246	20
Serpentes	<i>Bogertophis rosaliae</i>	73	20
	<i>Eridiphas slevini</i>	71	15
	<i>Pituophis catenifer</i>	136	33
			Total: 287

La segunda base de datos, que contiene especies presentes tanto en México como en Estados Unidos de América, para el área C1, consta de 5,037 registros únicos para 13 especies (Cuadro 7), de los cuales, la mayor cantidad de registros se obtuvo por parte de la especie *Phrynosoma coronatum* con 1169, y *Trimorphodon biscutatus* presentó el menor número de registros, con únicamente 44.

Cuadro 7. Especies con distribución geográfica en el área de estudio C1 (áreas mexicanas y estadounidenses) incluidas, grupo al que pertenecen, registros totales y registros únicos con georeferencia.

	Especie	Registros totales	Registros únicos
Lacertilia	<i>Phrynosoma coronatum</i>	6690	1169
	<i>Sceloporus orcutti</i>	4737	391
	<i>Sceloporus zosteromus</i>	1450	177
	<i>Urosaurus nigricaudus</i>	6890	348
	<i>Xantusia vigilis</i>	813	107
Serpentes	<i>Crotalus enyo</i>	621	124
	<i>Crotalus mitchellii</i>	1551	558
	<i>Crotalus ruber</i>	3741	541
	<i>Lampropeltis zonata</i>	778	328
	<i>Masticophis lateralis</i>	1268	660
	<i>Tantilla planiceps</i>	332	167
	<i>Thamnophis hammondi</i>	1872	423
	<i>Trimorphodon biscutatus</i>	94	44
		Total:	5,037

6.2. Distribución conocida

Dentro de la lista total de especies analizadas, las especies *Crotalus enyo*, *Eridiphas slevini*, *Petrosaurus thalassinus*, *Pituophis catenifer* y *Sceloporus zosteromus*, se distribuyen únicamente dentro del territorio mexicano; las cuatro primeras especies son catalogadas como endémicas de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, mientras el resto de las especies presentan datos de colecta que llegan al Oeste de Estados Unidos de América.

Se obtuvieron y modelaron los puntos de colecta para todas las especies; resultando así un total de 287 puntos para el área A1 (Figura 5).

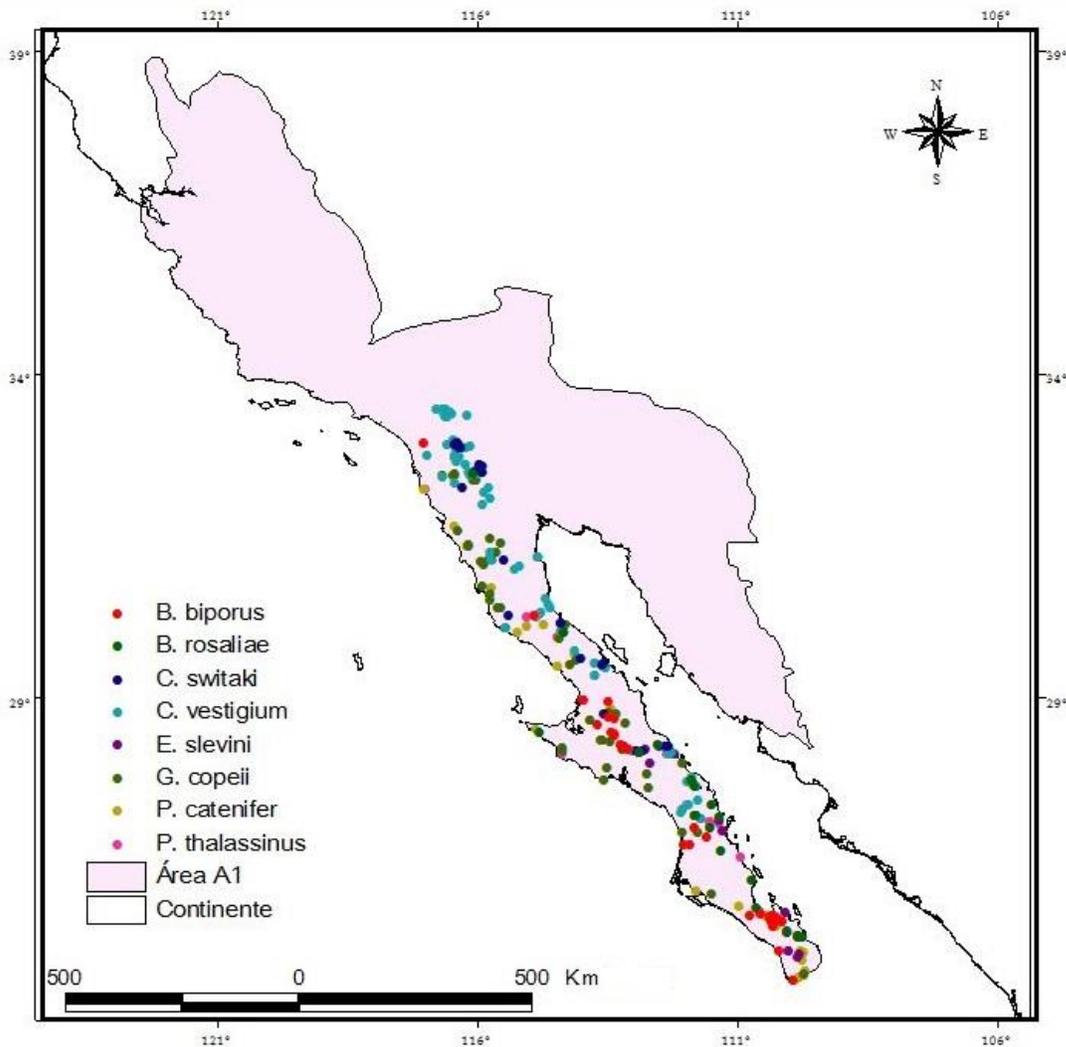


Figura 5. Representación de los puntos de ocurrencia para las especies presentes en el área A1.

El mapa de ocurrencia del área C1, con base en los puntos de colecta mostró 5,037 puntos en total (Figura 6).

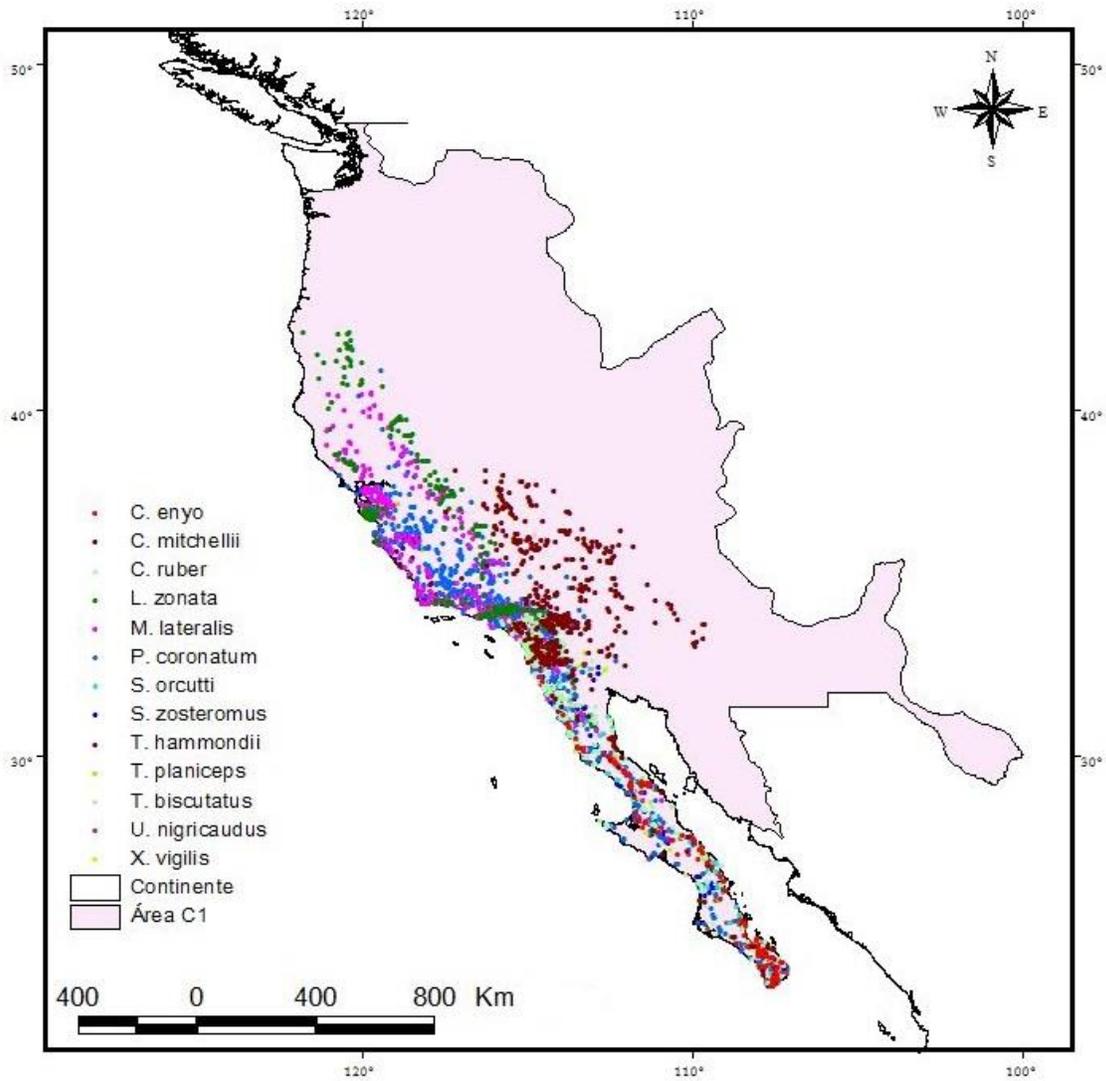


Figura 6. Representación de los puntos de ocurrencia para las especies presentes en el área C1.

6.3. Modelos de distribución potencial

En el cuadro 8 se indica la cuantificación de la superficie estimada del modelo de distribución potencial actual y el área total de cada una de las áreas para cada especie, y se compara la estabilidad de las áreas actuales estimadas, con el modelo futuro. La especie *C. switaki* presentó la mayor extensión geográfica (362,164 km²) y *P. catenifer* la menor (72,757 km²) para el área A1, mientras que para el área C1, *C. mitchellii* presentó la mayor extensión geográfica (729,895 km²) y *T. biscutatus* la menor extensión de área (43,283 km²).

En cuanto a la estabilidad del área, en la mayoría de las especies, más del 80% del área permanece constante, siendo las únicas excepciones *B. rosaliae*, y *C. enyo*. La especie *P. catenifer* presentó el área más estable para el RCP 4.5, conservando el 99.24% de su área estimada actual y para el RCP 8.5, *M. lateralis* conserva el 97.06% de su área actual. Para ambos RCPs, *B. rosaliae* presenta la mayor afectación de área, conservando constante el 73.03% para el RCP 4.5 y 62.26% para el RCP 8.5 en el tiempo futuro (Cuadro 8). Para todos los modelos para el tiempo presente, el AUC fue mayor a 0.8 (Anexo 3)

Cuadro 8. Cuantificación del área de distribución para cada una de las especies y porcentaje de estabilidad del hábitat potencial para el año 2070 bajo RCP 4.5 y RCP 8.5

Especie	Área	Tamaño del polígono (Km ²)	Distribución potencial actual (Km ²)	Área estable (2070)	
				RCP 4.5	RCP 8.5
<i>Bipes biporus</i>	A1	831492	89597	93.95% (84176)	90.09% (80720)
<i>Bogertophis rosaliae</i>	A1	831492	133130	73.03% (97222)	62.26% (82885)
<i>Coleonyx switaki</i>	A1	831492	362164	89.44% (323910)	95.70% (346589)
<i>Crotaphytus vestigium</i>	A1	831492	201694	95.12% (191843)	95.28% (192164)
<i>Eridiphas slevini</i>	A1	831492	139343	88.00% (122624)	90.97% (126767)
<i>Gambelia copeii</i>	A1	831492	129561	91.04% (117950)	85.62% (110925)
<i>Petrosaurus thalassinus</i>	A1	831492	135294	96.75% (130894)	96.63% (130731)
<i>Pituophis catenifer</i>	A1	831492	72757	99.24% (72205)	94.41% (68689)
<i>Crotalus enyo</i>	C1	2723442	95080	73.49% (69871)	89.58% (85175)
<i>Crotalus mitchellii</i>	C1	2723442	729895	94.08% (686717)	92.12% (672405)

<i>Crotalus ruber</i>	C1	2723442	143779	90.57% (130225)	91.63% (131741)
<i>Lampropeltis zonata</i>	C1	2723442	154832	91.65% (141907)	90.56% (140213)
<i>Masticophis lateralis</i>	C1	2723442	196367	96.80% (190079)	97.06% (190592)
<i>Phrynosoma coronatum</i>	C1	2723442	374714	95.88% (359265)	94.63% (354585)
<i>Sceloporus orcutti</i>	C1	2723442	173522	90.72% (157416)	90.70% (157376)
<i>Sceloporus zosteromus</i>	C1	2723442	147332	90.58% (133453)	90.29% (133026)
<i>Tantilla planiceps</i>	C1	2723442	109846	81.72% (89770)	80.04% (87919)
<i>Thamnophis hammondi</i>	C1	2723442	185018	96.01% (177628)	94.25% (174387)
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	C1	2723442	43283	87.68% (37951)	88.13% (38144)
<i>Urosaurus nigricaudus</i>	C1	2723442	122879	94.44% (116048)	92.62% (113806)
<i>Xantusia vigilis</i>	C1	2723442	73478	82.22% (60414)	93.87% (68972)

En todos los casos, las especies analizadas presentaron cambios en la distribución estimada. A excepción de la especie *P. catenifer*, cuya ganancia fue del 19.21% para el RCP 4.5 y de 10.17% para el RCP 8.5, en el resto de las especies del área A1, la ganancia fue menor al 10%. En dicha área, la especie *B. rosaliae* únicamente mostró una ganancia de 56 Km², lo que corresponde al 0.04% del área original para el RCP 4.5; mientras que para el RCP 8.5, la especie que presentó una menor ganancia fue *G. copeii*, cuyo aumento fue de 0.24%, lo que corresponde a 311 km² del área de distribución proyectada.

En cuanto a las pérdidas, para el RCP 4.5, las especies: *B. rosaliae*, *C. switaki*, *E. slevini*, *C. enyo*, *T. planiceps*, *T. biscutatus* y *X. vigilis*, presentaron una reducción de área mayor al 10% del original; en cuyo caso *P. catenifer* presentó el menor porcentaje de pérdida, con el 0.76%, lo que equivale a 552 km², y fue *B. rosaliae* la especie que presenta una mayor pérdida de área, con el 26.97%, lo que representan 35908 km² del área estimada inicialmente. Para el RCP 8.5, las especies que presentaron pérdidas mayores al 10%, fueron: *B. rosaliae*, *G. copeii*, *C. enyo*, *T. planiceps* y *T. biscutatus*. Al igual que con el RCP 4.5, *B. rosaliae* fue la especie que presentó una pérdida más severa, siendo ésta del 37.74% de su área, lo que equivale a 50245 km²; por el contrario, se estima que *M. lateralis* sea la especie que presente un menor porcentaje de pérdida, con el 2.94%, o 5775 km² (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cuantificación de la ganancia y pérdida potencial en kilómetros cuadrados y porcentajes para el año 2070, con respecto a su modelo de distribución actual.

Especie	Área	Actual (Km ²)	Ganancia (2070)		Pérdida (2070)	
			RCP 4.5	RCP 85	RCP 4.5	RCP 8.5
<i>Bipes biporus</i>	A1	89597	2.48% (2220)	0.68% (605)	-6.05% (5421)	-9.91% (8877)
<i>Bogertophis rosaliae</i>	A1	133130	0.14% (184)	1.93% (2576)	-26.97% (35908)	-37.74% (50245)
<i>Coleonyx switaki</i>	A1	362164	3.05% (11039)	3.17% (11465)	-10.56% (38254)	-4.30% (15575)
<i>Crotaphytus vestigium</i>	A1	201694	0.89% (1795)	0.76% (1530)	-4.88% (9851)	-4.72% (9530)
<i>Eridiphas slevini</i>	A1	139343	0.04% (56)	0.46% (636)	-12.00% (16719)	-9.03% (12576)
<i>Gambelia copeii</i>	A1	129561	1.66% (2149)	0.24% (311)	-8.96% (11611)	-14.38% (18636)
<i>Petrosaurus thalassinus</i>	A1	135294	9.06% (12264)	7.64% (10337)	-3.25% (4400)	-3.37% (4563)
<i>Pituophis catenifer</i>	A1	72757	19.21% (13980)	10.17% (7400)	-0.76% (552)	-5.59% (4068)
<i>Crotalus enyo</i>	C1	95080	2.65% (2516)	2.77% (2635)	-26.51% (25209)	-10.42% (9905)
<i>Crotalus mitchellii</i>	C1	729895	2.22% (16236)	2.73% (19916)	-5.92% (43178)	-7.88% (57490)
<i>Crotalus ruber</i>	C1	143779	4.63% (6662)	5.36% (7703)	-9.43% (13554)	-8.37% (12038)
<i>Lampropeltis zonata</i>	C1	154832	5.26% (8150)	5.60% (8676)	-8.35% (12925)	-9.44% (14619)
<i>Masticophis lateralis</i>	C1	196367	2.41% (4725)	2.76% (5425)	-3.20% (6288)	-2.94% (5775)
<i>Phrynosoma coronatum</i>	C1	374714	1.99% (7450)	2.10% (7855)	-4.12% (15449)	-5.37% (20129)
<i>Sceloporus orcutti</i>	C1	173522	8.02% (13913)	9.36% (16240)	-9.28% (16106)	-9.30% (16146)
<i>Sceloporus zosteromus</i>	C1	147332	1.87% (2762)	2.39% (3521)	-9.42% (13879)	-9.71% (14306)
<i>Tantilla planiceps</i>	C1	109846	2.29% (2511)	1.75% (1922)	-18.28% (20076)	-19.96% (21927)
<i>Thamnophis hammondi</i>	C1	185018	3.57% (6606)	1.51% (2798)	-3.99% (7390)	-5.75% (10631)
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	C1	43283	2.63% (1138)	7.49% (3243)	-12.32% (5332)	-11.87% (5139)
<i>Urosaurus nigricaudus</i>	C1	122879	2.45% (3010)	1.74% (2141)	-5.56% (6831)	-7.38% (9073)
<i>Xantusia vigilis</i>	C1	73478	2.84% (2087)	4.18% (3068)	-17.78% (13064)	-6.13% (4506)

Se observa una tendencia general por parte de la mayoría de las especies hacia la pérdida de su área de distribución, en cuyo caso la especie *C. mitchellii* fue la que presentó una pérdida de área mayor, con 43178 km² (2.22% del área) y 57490 km² (2.73% del área) para los RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente, aunque es esta misma especie la que presenta ganancias de área mayores, con 16236 para el RCP 4.5 y de 19916 para el RCP 8.5, lo que representa un 5.92% y 7.88% del área respectivamente. A pesar de que los porcentajes no son los más elevados en cuanto al cambio de área, representa el cambio más grande en cuanto a extensión geográfica. La especie *E. slevini* presenta una menor ganancia en cuando a kilómetros cuadrados, con únicamente 56 para el RCP 4.5 y de 636 para el RCP 8.5. Se observa que los mayores cambios de área, ya sea de ganancia o pérdida, se presentan preferentemente al modelar el RCP 8.5 (Figura 7).

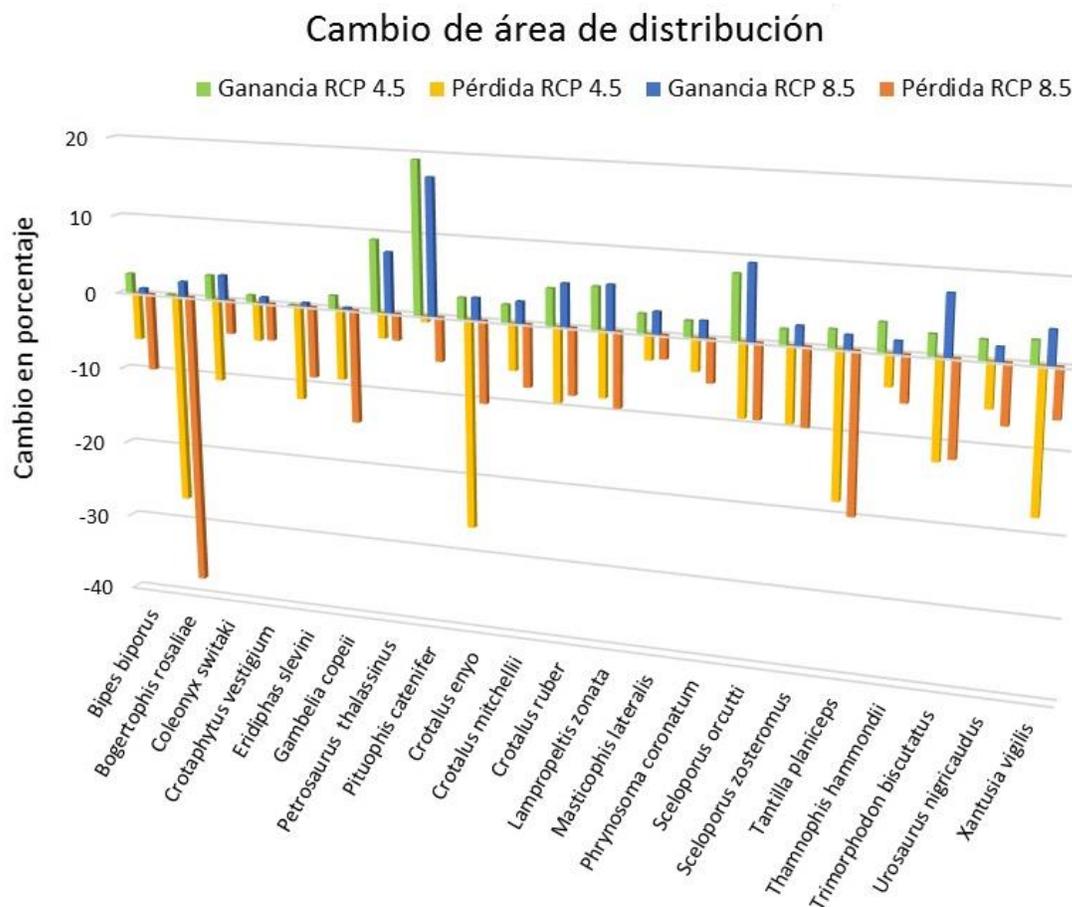


Figura 7. Ganancia y pérdida, medida en porcentaje para cada una de las especies, en los dos RCP

Al realizar los modelos, es posible conocer el porcentaje de área que cada especie gana y el que pierde, ya que puede existir dicha ganancia en determinado punto geográfico y presentar pérdida en un área distinta. Al mostrar una misma especie ganancia y pérdida, se puede determinar el movimiento de un área de distribución, ya que una parte del área deja de ser

adecuada para la especie, mientras una sección diferente del espacio geográfico comienza a mostrar condiciones adecuadas. Con el fin de cuantificar los cambios totales del área de distribución, se realizó la suma de la ganancia y la pérdida de área (en kilómetros y porcentaje). Se puede observar que únicamente son dos especies (*P. catenifer* y *P. thalassinus*) del área A1 las que tienen un cambio positivo importante, mientras que para el resto de las especies, la pérdida de área supera a la ganancia (Figura 8).

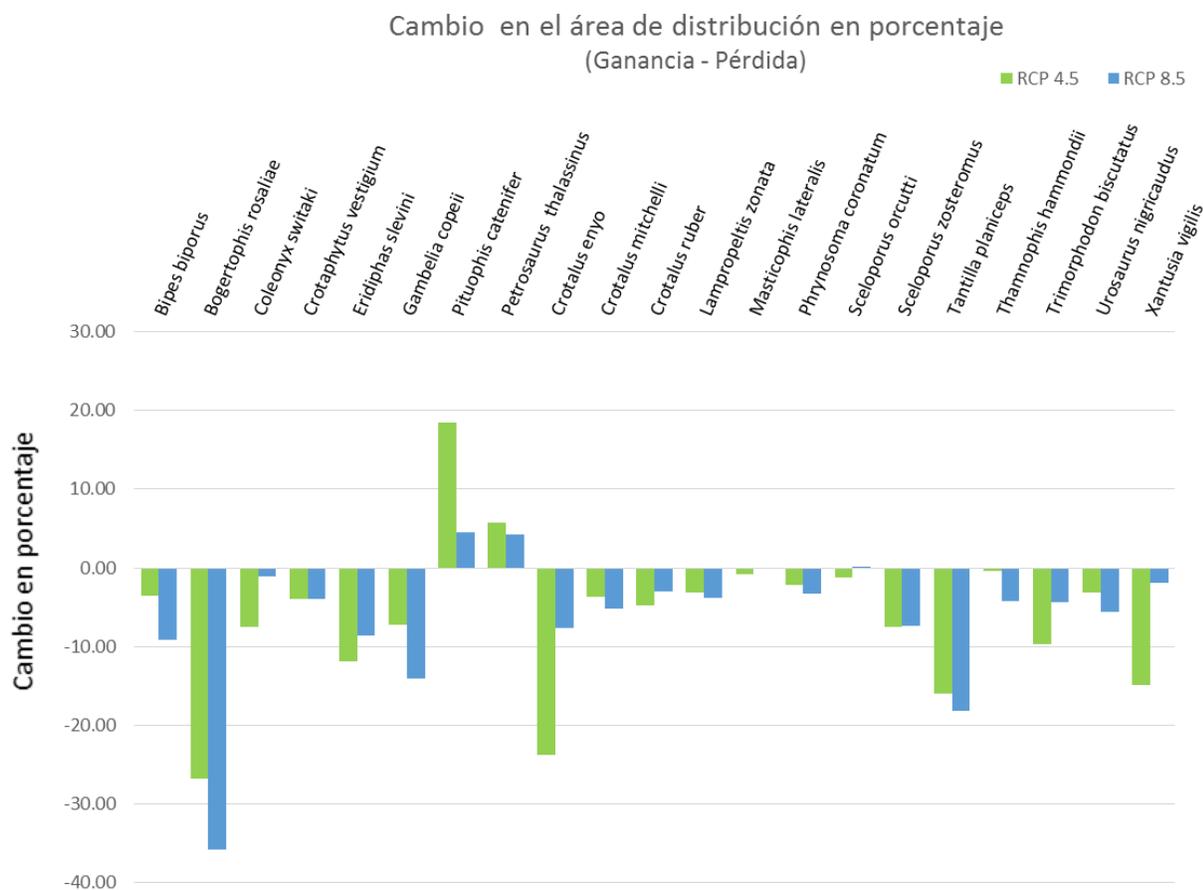


Figura 8. Muestra una sumatoria del cambio en la distribución de cada especie, de la ganancia menos la pérdida, medida en kilómetros cuadrados

En la sumatoria total de cada área de distribución para observar el tamaño final de las áreas, se observa que la mayoría de las especies presentan una reducción del tamaño de su área de distribución. En las especies: *B. rosaliae*, *E. slevini*, *C. enyo*, *T. planiceps* y *X. vigilis* el decremento de área es mayor al 10% de la previamente modelada para el tiempo presente, bajo el RCP 4.5. Para el segundo RCP, las especies que presentan un decremento mayor al 10% son: *B. rosaliae*, *G. copeii*, y *T. planiceps*. La especie *P. catenifer* presenta el mayor aumento de área para ambos RCP, con 18.46% y 4.58% respectivamente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cuantificación de la dimensión total de cada área de distribución para el año 2070, y el efecto que se presenta para cada distribución

Especie	Ganancia - Pérdida		Área total		RCP 4.5			RCP 8.5		
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	Ganancia	Pérdida	Cambio <5%	Ganancia	Pérdida	Cambio <5%
<i>Bipes biporus</i>	-3.57%	-9.23%	86396 (96.43%)	81325 (90.77%)			X		X	
<i>Bogertophis rosaliae</i>	-26.83%	-35.81%	86396 (96.43%)	85461 (64.19%)		X			X	
<i>Coleonyx switaki</i>	-7.51%	-1.13%	334949 (92.49%)	358054 (98.87%)		X				X
<i>Crotaphytus vestigiium</i>	-3.99%	-3.97%	193638 (96.01%)	193694 (96.03%)			X			X
<i>Eridiplias slevini</i>	-11.96%	-8.57%	122680 (88.04%)	127403 (91.43%)		X			X	
<i>Gambelia copeii</i>	-7.30%	-14.14%	120099 (92.70%)	111236 (85.86%)		X			X	
<i>Petrosaurus thalassinus</i>	5.81%	4.27%	86185 (105.81%)	76089 (104.27%)	X					X
<i>Pituophis catenifer</i>	18.46%	4.58%	143158 (118.46%)	141068 (104.58%)	X					X
<i>Crotalus emyo</i>	-23.87%	-7.65%	72387 (76.13%)	87810 (92.35%)		X			X	
<i>Crotalus mitchelli</i>	-3.69%	-5.15%	702953 (96.31%)	692321 (94.85%)			X		X	

Cuadro 10. Continuación

Especie	Ganancia - Pérdida		Área total		RCP 4.5			RCP 8.5		
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	Ganancia	Pérdida	Cambio <5%	Ganancia	Pérdida	Cambio <5%
<i>Crotalus ruber</i>	-4.8%	-3.01%	136887 (95.2%)	139444 (96.99%)			X			X
<i>Lampropeltis zonata</i>	-3.08%	-3.84%	150057 (96.92%)	148889 (96.16%)			X			X
<i>Masticophis lateralis</i>	-0.80%	-0.18%	194804 (99.20%)	196017 (99.82%)			X			X
<i>Phrynosoma coronatum</i>	-2.13%	-3.28%	366715 (97.87%)	362440 (96.72%)			X			X
<i>Sceloporus orcutti</i>	-1.26%	0.05%	171329 (98.74%)	173616 (100.05%)			X			X
<i>Sceloporus zosteromus</i>	-7.55%	-7.32%	136215 (92.45%)	136547 (92.68%)		X			X	
<i>Tantilla planiceps</i>	-15.99%	-18.21%	39089 (84.01%)	41387 (81.79%)		X			X	
<i>Thamnophis hammondi</i>	-0.42%	-4.23%	184234 (99.58%)	177185 (95.77%)			X			X
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	-9.69%	-4.38%	92281 (90.31%)	89841 (95.62%)		X				X
<i>Urosaurus nigricaudus</i>	-3.11%	-5.64%	119058 (96.89%)	115947 (94.36%)			X		X	
<i>Xantusia vigilis</i>	-14.94%	-1.96%	62501 (85.06%)	72040 (98.04%)		X				X

Con dichos cambios en el área de distribución potencial, *C. mitchellii* es la especie que podría tener un área de distribución mayor para el año 2070, con 702935 km² para el RCP 4.5 y 692321 km² para el RCP 4.8; y la especie con un área de distribución potencial menor, fue *T. planiceps*, con 39089 km² para el RCP 4.5 y para el RCP 8.5, 41387 km²

De todas las especies analizadas, *B. rosaliae* y *C. mitchellii* son las especies en las que se registran los cambios más importantes en la superficie del área de distribución: para las dos especies y para los RCPs, se registra una reducción del área de distribución; mientras que para *P. thalassinus* se observa un incremento en el área de distribución potencial al modelar ambos RCPs. Cuando se modela el RCP 8.5, frecuentemente el área de distribución de las especies suele ser similar o menor que al modelar el RCP 4.5 (Figura 9).

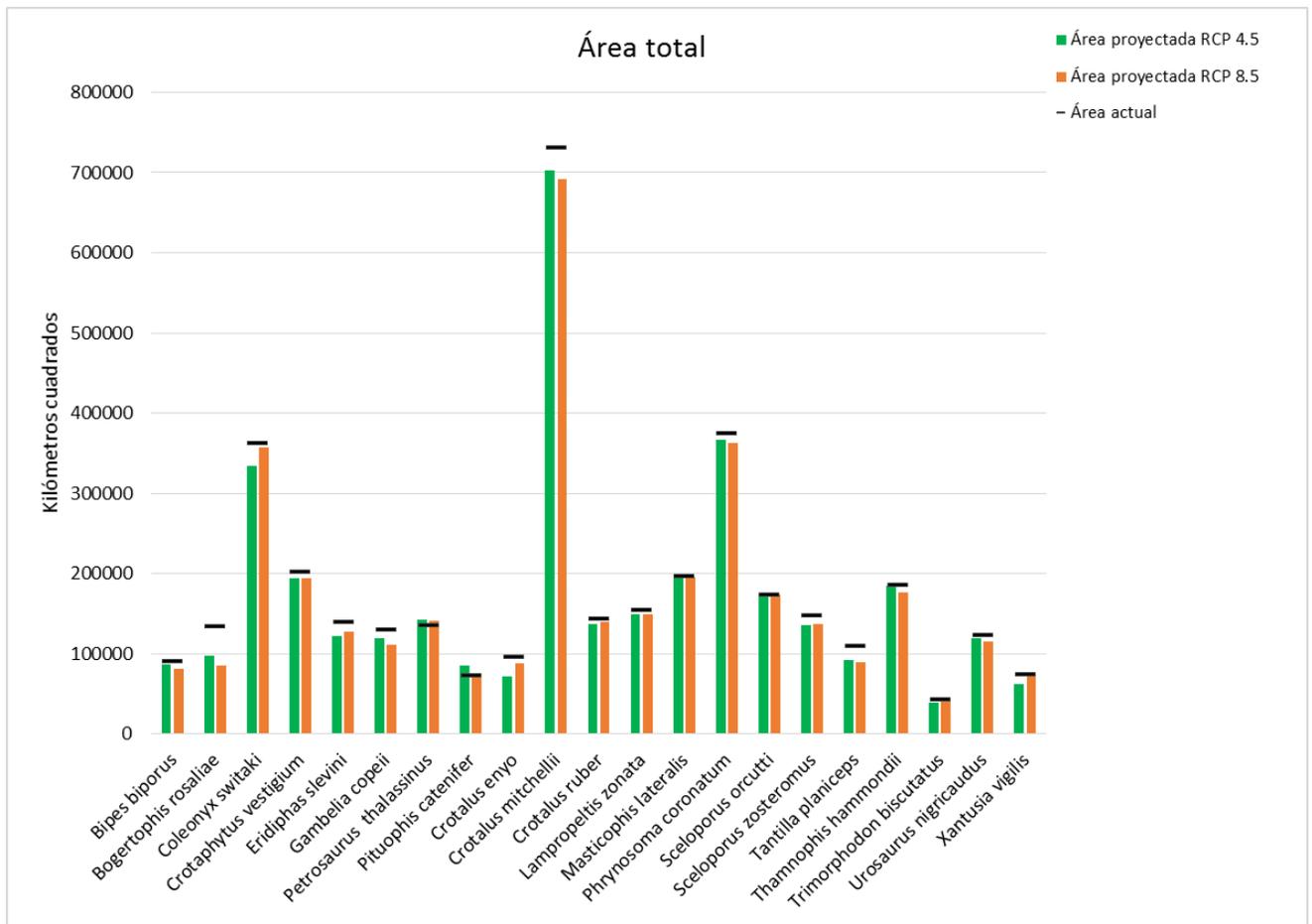


Figura 9. Superficie total del área de distribución de cada especie, para el año 2070 y el periodo actual

6.4. Tendencias de cambio por zona

A continuación se observan los mapas resultantes de la sumatoria de especies de acuerdo con su área de distribución, con los cuales es posible realizar un comparativo entre los distintos grupos de especies y por tanto es posible identificar áreas de estabilidad a futuro bajo ambos RCPs.

Para realizar el mapa de especies presentes en la zona norte de la península de Baja California (Figura 10), se tomaron en cuenta nueve especies cuya área de distribución en el tiempo actual resulta en mayor medida perteneciente a esta zona. Dichas especies fueron: *Crotalus mitchellii*, *Crotalus ruber*, *Crotaphytus vestigium*, *Lampropeltis zonata*, *Masticophis lateralis*, *Phrynosoma coronatum*, *Sceloporus orcutti*, *Tantilla planiceps* y *Thamnophis hammondi*.

Con color azul se muestran las zonas en las que existe poca convergencia en la distribución de las especies; el color rosa denota zonas en las que al menos el 75% de las especies, comparten dicha distribución.

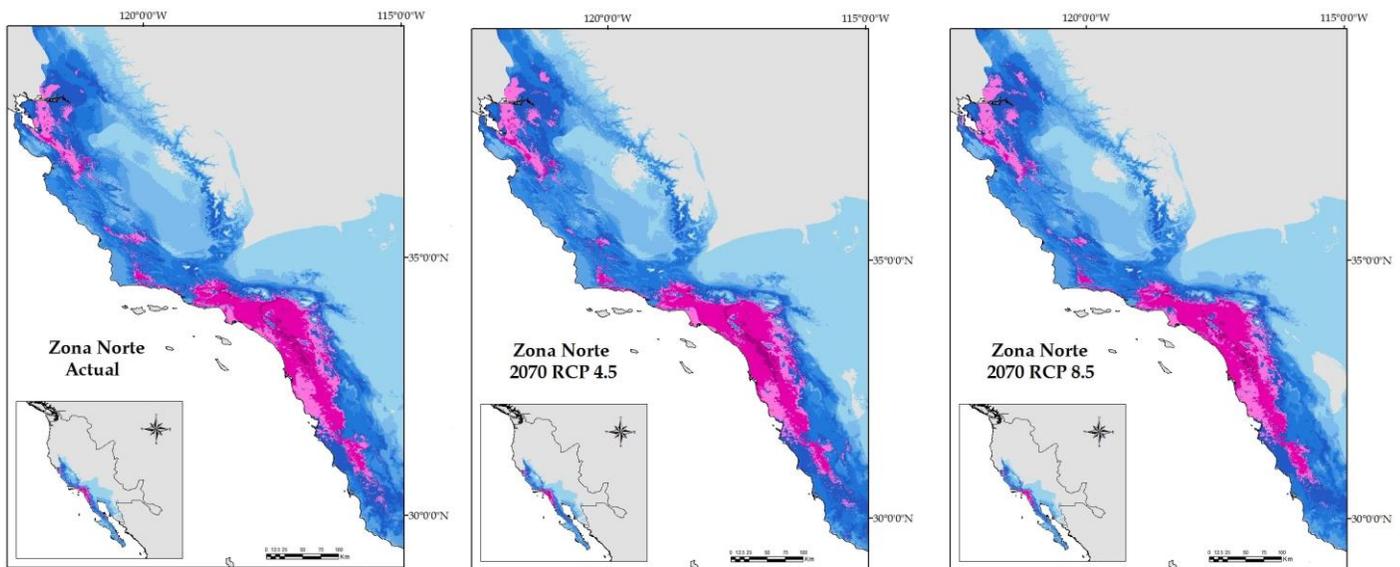


Figura 10. Sumatoria de las áreas de distribución predichas de las especies presentes en la zona norte, en tiempo actual y en 2070.

Para la sumatoria de especies de la Zona centro de la Península de Baja California, se tomaron en cuenta cuatro especies: *Coleonyx switaki*, *Gambelia copeii*, *Sceloporus zosteromus* y *Xantusia vigilis*, especies con una distribución preferente hacia la subprovincia de San Sebastián Vizcaíno y la Sierra de Baja California Norte, con lo que se obtuvieron los 3 mapas de convergencia (Figura 11).

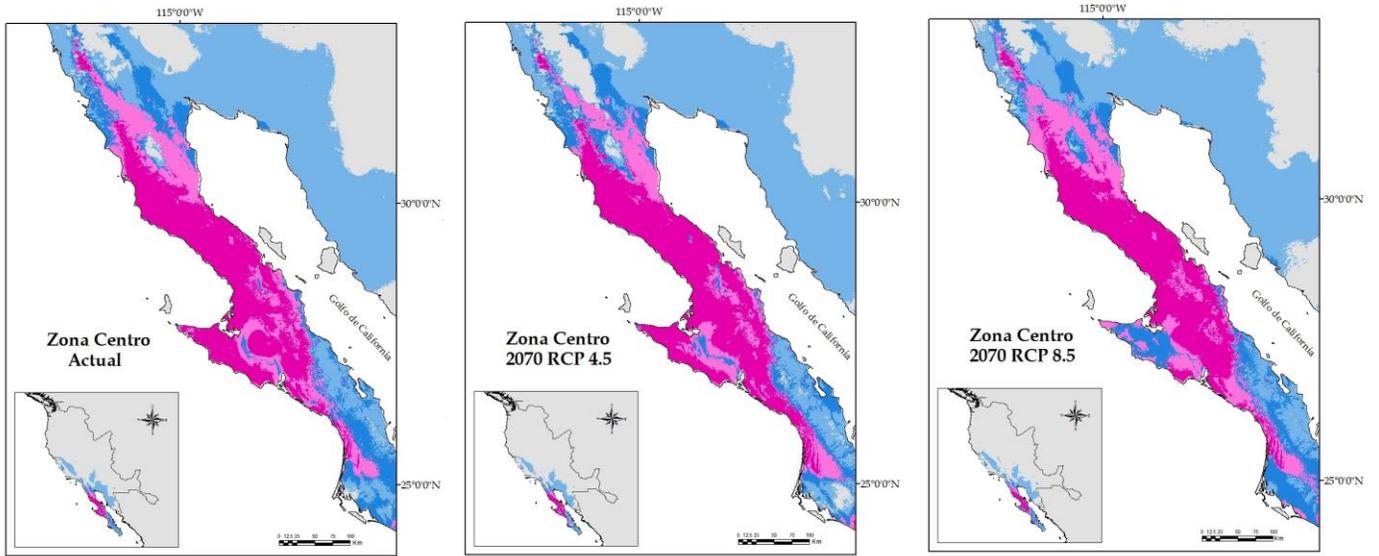


Figura 11. Sumatoria de las áreas de distribución predichas de las especies presentes en la zona centro, en tiempo actual y en 2070.

Para la sumatoria de mapas de la zona sur (Figura 12), se tomaron en cuenta ocho especies: *Bipes biporus*, *Bogertophis rosaliae*, *Crotalus enyo*, *Eridiphas slevini*, *Petrosaurus thalassinus*, *Pituophis catenifer*, *Trimorphodon biscutatus* y *Urosaurus nigricaudus*.

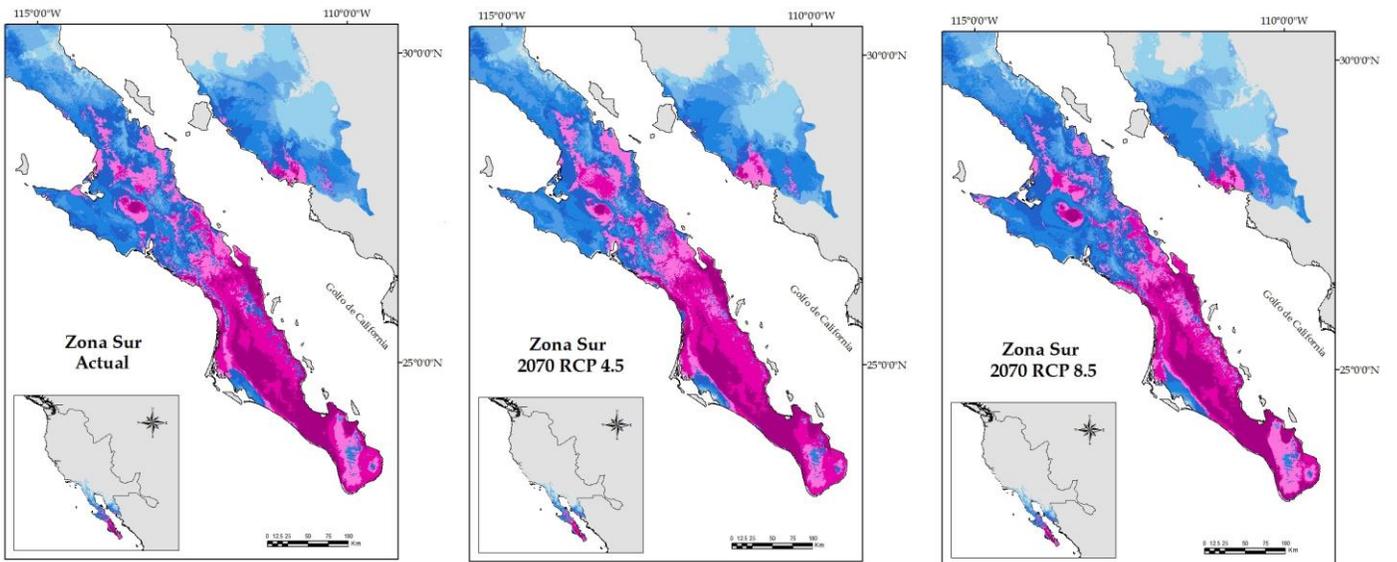


Figura 12: Sumatoria de las áreas de distribución predichas de las especies presentes en la zona sur, en tiempo actual y para 2070

Debido a la heterogeneidad de la península de Baja California, es necesario identificar las zonas en las que existe un alto grado de diversidad y endemismo de las especies, por lo que se obtuvo la superficie de cada área de convergencia (Cuadro 11).

Estas zonas representan pequeñas áreas en donde se conjunta una cantidad importante de especies, por lo que es necesario determinar si dichas zonas presentarán una afectación en tiempo futuro. En este caso, las zonas norte y centro presentan un aumento de área bajo el RCP 4.5, mientras para la zona sur, se muestra el efecto contrario, en el que bajo el RCP 8.5, crece el área donde convergen las especies.

Cuadro 11. Cuantificación del área de distribución en la que convergen todas las especies presentes para cada zona.

	Zona norte		Zona centro		Zona sur	
	Km ²	Porcentaje	Km ²	Porcentaje	Km ²	Porcentaje
Actual	2955	100%	62350	100%	20723	100%
RCP 4.5	3258	110.25%	65931	105.74%	19812	95.60%
RCP 8.5	2356	79.73%	58979	94.59%	22309	107.65%

Se sabe que la península de Baja California es un área de gran diversidad y endemismo de especies, sin embargo también se ha observado que en ocasiones las áreas de protección no corresponden a los hotspots, es decir, a las zonas en donde hay alto grado de endemismo, riqueza y biodiversidad en las que se conjuntan especies de diversos orígenes (García, 2006; Riemann y Ezcurra, 2005). Por ello en este estudio se han identificado las áreas naturales protegidas que corresponden a las áreas de convergencia detectadas.

Parte del área de convergencia de las especies, en la zona Norte, coincide en una pequeña proporción con el Cleveland National Forest y con la Reserva Ecológica Santa Margarita, en Estados Unidos de América. El área Centro, coincide con la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno y con el área de protección de flora y fauna Valle de los Cirios, mientras para el área Sur, no existen zonas protegidas cerca del área.

DISCUSIÓN

En este trabajo se cuantificaron los efectos del cambio climático en la distribución de 21 especies de reptiles bajo dos RCPs (4.5 y 8.5) para el año 2070 mediante el análisis de modelos de nicho ecológico y de distribución potencial; asimismo se identificaron tendencias generales en cuanto a la estabilidad de las áreas y cambios de distribución a un nivel taxonómico fino. Los modelos de distribución potencial generados en este estudio permitieron describir incrementos, decrementos y cambios en la distribución potencial de distintas especies.

Debido a que existe una polaridad ecológica en la Península de Baja California, donde se presenta un clima templado en el noroeste, tropical en el sur y una extensa región árida de transición entre ambas zonas (González-Abraham *et al.*, 2010), se ve reforzado un patrón de vicarianza de esta región, dando como resultado la existencia de áreas de distribución concentradas en el sur de la península para especies como *B. biporus*, *B. rosaliae* y *P. catenifer*, mientras para otras especies, como *C. vestigium* y *C. mitchellii*, el área de distribución se presenta mayormente concentrada en la zona norte. Debido a las diferencias climáticas y ambientales presentes en cada área considerada, se mostró un patrón de respuesta distinto de acuerdo con cada zona de la península.

En estudios previos, se ha propuesto que para ciertos grupos de especies como los anfibios, en modelos que involucran el CC entre los años 2050 y 2080, existe una reducción del número de especies en el noreste, mientras hay un incremento de especies en el sur (Ochoa-Ochoa *et al.*, 2012); sin embargo, en el área de estudio y para reptiles, no se observó dicho patrón, ya que las áreas norte y sur, presentaron casi el mismo número de especies, en el cual no se encontró variación a través del tiempo.

En la zona norte, en la que se ha localizado un área de convergencia para nueve especies, se observa que dicha superposición en las áreas de presencia aumenta cuando se modela el RCP 4.5 y que disminuye en aproximadamente el 29% cuando se considera el RCP 8.5. En este caso, la estabilización del forzamiento radiativo y las políticas ambientales, favorecen a las especies presentes en la zona, mientras el aumento del forzamiento radiativo y la falta de políticas ambientales, podrían hacer susceptibles a las especies a la pérdida de hábitat a futuro, debido al cambio de condiciones que se observa hacia el noroeste, pues la existencia del Cañón de los Reyes (*Kings Canyon National Park*) limita la posibilidad de extender la distribución de numerosas especies.

Existen en esta zona especies de importancia médica como la serpiente de cascabel manchada (*C. mitchellii*), que presenta el área de distribución más amplia de todas las especies consideradas, y en la cual se presentan los efectos más marcados, pues se observa el mayor cambio, al presentar las mayores ganancias en determinada área y al mismo tiempo las mayores pérdidas en otras zonas, considerando la extensión de su distribución; sin embargo, la mayor parte del área permanece estable. De la misma forma, *P. coronatum* presenta una pérdida en cuanto a la extensión del área, sin embargo, muestra tolerancia y cierta plasticidad para encontrarse en un amplio rango de hábitats (Grismer, 2002), y la mayor parte de su área es estable, aunque presenta un patrón de pérdida hacia el sur bajo el RCP 4.5, además, en esta especie se observa una preferencia en las zonas altas. Si bien el tamaño de área no es un factor determinante para el patrón de cambio, éste puede afectar mayormente a especies con áreas reducidas; esta especie en particular, al presentar una gama más amplia de las condiciones climáticas en su área, presenta una tolerancia más amplia al cambio climático que las especies de áreas restringidas, como *T. planiceps*, una especie en la que se presenta un patrón de pérdida de área para ambos RCP, por lo que de manera porcentual, la pérdida que presenta es importante. Sin embargo, existen también especies como *C. vestigium*, *M. lateralis* y *T. hammondi* en las que el área de distribución es estable a lo largo del tiempo, y en las que no se observan cambios importantes en ninguno de los dos escenarios, pues las distribuciones ven mermada la ganancia de área al cambiar de forma contrastante las condiciones ecológicas al norte del área, aunque para esta última especie, sus poblaciones se han visto disminuidas debido a la depredación por animales introducidos.

Otra especie de importancia médica, ya que es venenosa, es la serpiente de cascabel de diamantes rojos (*C. ruber*), cuya distribución a futuro se muestra cuantitativamente muy similar a la distribución potencial actual, aunque esta especie presenta algunos cambios, ya que muestra ganancia de área en determinadas zonas y pérdida en algunos otros sitios, lo que indica un desplazamiento de las condiciones propicias para la especie, especialmente hacia la zona del Vizcaíno, lo que podría llevar a una mayor tasa de encuentros y accidentes ofídicos. Este mismo efecto se prevé para la especie *L. zonata*, en la cual la ganancia y la pérdida de área se muestran mayores al 5% en los dos RCP, aunque el tamaño del área no es muy variable, lo que indica movimiento hacia zonas más al norte, sin embargo, en esta especie sí se ha observado cierto decline en las poblaciones debido a la destrucción de su hábitat por la urbanización y colecta ilegal, lo cual podría afectar el bienestar de los ecosistemas, al ser éste un organismo importante en la red trófica por su variada alimentación. Al igual que las anteriores, en *S. orcutti* se puede detectar un movimiento de las áreas de distribución, ya que tanto la ganancia como la pérdida muestran valores similares. En este caso, la termorregulación va acompañada de mecanismos de

comportamiento de acuerdo con la temperatura ambiental, pues se ha observado una correlación positiva entre las condiciones climáticas con la temperatura corporal que presentan los organismos, ya que al ser ectotermos, requieren de la radiación solar para mantenerse activos fisiológicamente, evitando exceder el máximo crítico térmico (Sinervo *et al.*, 2010).

Para ciertos organismos ectotermos presentes en esta zona, existen adaptaciones conductuales que les permiten responder adecuadamente a los cambios ambientales, manteniéndolos en un margen térmico seguro, por ejemplo, reduciendo su tiempo de actividad; ya que si bien, mediante la dispersión es posible responder al CC mediante cambios latitudinales o altitudinales, para las especies de esta zona, dicha medida puede dificultarse al existir un cambio importante en las condiciones ambientales al norte de la zona, sin embargo, la respuesta de las especies dependerá de su plasticidad genética y su capacidad de adaptación ante los cambios.

Al igual que en la zona norte, en la zona central de la Península, el área de coincidencia para las especies disminuye al modelar el RCP 8.5 y aumenta bajo el RCP 4.5, además, para todas las especies se presenta la pérdida de área mayor al 5% bajo esta vía. Para *G. copeii* y *S. zosteromus*, la mayor parte del área se mantiene estable, aunque bajo la vía de estabilización, el área de distribución se ve fragmentada y se pierde en la parte más sureña, pero los niveles de probabilidad de ocurrencia aumentan, mostrando una tendencia de expansión hacia el norte de la península; en estas especies, se muestra una pérdida de área en los dos RCPs, lo que las puede poner en riesgo si se considera que existe cierto impacto debido a que en ocasiones se encuentran en zonas destinadas a la agricultura.

En *X. vigilis* y en *C. switaki*, existe pérdida mayor al 5% del área en el RCP 4.5, pero esta pérdida no se observa en el RCP 8.5. Para *X. vigilis*, que presenta bajas tasas metabólicas y reproductivas, además de comportamiento sedentario, los efectos del CC pueden ser más importantes, en este caso, en la vía de estabilización, la pérdida de área supera varias veces la pérdida que se muestra en el escenario de aumento de forzamiento radiativo, porque lo que no para todas las especies la estabilización resulta positiva, debido también a que las especies con poca tolerancia en el gradiente de temperatura, son más susceptibles a los cambios ambientales, lo que hace a la temperatura un factor clave en la distribución de las especies.

C. switaki constituye una de las especies con el área potencial más amplia, por lo que sería posible que llegase a colonizar nuevas áreas, para la vía 8.5, el área potencial se expande hacia áreas más elevadas, tal como proponen Chen *et al.* (2011), quienes han observado una tendencia general de cambio hacia latitudes más cercanas a los polos y hacia mayores altitudes cuando se considera el cambio climático.

Para las especies presentes en la zona sur, se observa un desplazamiento hacia las zonas más al norte de la distribución. En especies como *B. biporus*, bajo el RCP 4.5, se ven mitigados los efectos del cambio climático en sus respectivas distribuciones geográficas potenciales, en cuyo caso, dichos cambios resultan positivos; para esta especie, esto resulta de suma importancia, ya que es una especie endémica en México, mientras en el escenario RCP 8.5, que es una vía de aumento de forzamiento radiativo y crecimiento poblacional, se observa una pérdida de área mayor al 5% y concentración de las especies hacia las zonas en las que actualmente se distribuyen. El efecto contrario ocurre con *U. nigricaudus*, una especie endémica y amenazada, que a pesar de que la mayor parte de su área permanece estable, bajo el RCP 4.5, se observa un desplazamiento de la probabilidad de ocurrencia hacia zonas más al norte, por lo que aunque cuantitativamente el cambio no sea tan importante, la probabilidad de ocurrencia se mueve hacia zonas de mayor latitud.

Existe para algunas especies como *T. biscutatus* y *B. rosaliae*, un patrón de respuesta en el que se identifica una pérdida en el área de distribución para el futuro bajo el RCP 4.5, aunque esta tendencia no se observa bajo el RCP 8.5, es decir, estas especies no se verán beneficiada por un escenario de estabilización de la fuerza de radiación, y por el contrario, su área distribución se verá mermada; para esta última especie, que suele presentar movimiento limitado, no suele dispersarse grandes distancias, por lo que podría presentar un gran riesgo, ya que menos del 75% de su área de distribución se mantiene estable y es una de las especies con menor área de distribución, pero con mayor tasa de pérdida, por lo que se puede inferir que el tamaño de su área no se encuentra directamente relacionado con la pérdida de hábitat. De acuerdo con Bush *et al.*, 2008, para las especies con intervalos estrechos de distribución o un potencial de dispersión limitado, los cambios de temperatura tienen un mayor impacto, por lo que es necesario implementar estrategias para la conservación de estas especies.

Por el contrario, para especies como *E. slevini*, la mayor parte del área permanece estable, por lo que no hay ganancia ni pérdida importante. Para *C. enyo*, una especie amenazada por la agricultura, y que presenta riesgos para los humanos, únicamente se presenta una pérdida mayor al 5% de área, especialmente en la zona de la Reserva del Vizcaíno, lo que la podría poner en riesgo si la pérdida por efectos debido al CC, se ven aumentados por la pérdida por efectos antropogénicos, ya que la especie es endémica.

Especialmente para organismos presentes en ambientes secos, se estima que los eventos de CC y calentamiento global, podrían resultar beneficiosos (Gómez-Díaz *et al.*, 2007), ya que previamente se ha sugerido que la riqueza de reptiles presentes en determinadas áreas, se encuentra relacionada de manera positiva con la temperatura (Currie, 2001). En los resultados

obtenidos, se muestra que el tamaño del área de distribución se incrementa para dos especies: *P. thalassinus* y *P. catenifer*. En ambos casos, la ganancia se presentó únicamente en el escenario futuro 2070, bajo el RCP 4.5, mientras que en el escenario 2070 con el RCP 8.5, el efecto no es perceptible, es decir, en estas especies, bajo un escenario de estabilización, en donde las tendencias mundiales son hacia la disminución de emisiones, a la estabilidad poblacional y estabilización en el forzamiento radiativo, las áreas de distribución geográfica de estas especies pueden llegar a permanecer estables e incluso llegar a aumentar.

La especie *P. thalassinus* una especie endémica de México de la familia Phrynosomatidae, presenta un tamaño de área de 135,294 Km², mientras que el área de distribución para *P. catenifer*, perteneciente a la familia Colubridae, es de 72,757 Km². Ambas fueron proyectadas para el área A1, y aunque en ambos casos se presenta una ganancia en el área de distribución potencial a futuro, existe una gran diferencia en cuanto a su localización actual y su tamaño de área, por lo que se puede considerar que ninguno de éstos factores es el que determina el patrón de ganancia en el área de distribución al modelar el RCP 4.5.

Previamente se ha reportado que el cambio en las condiciones ambientales, puede favorecer la invasión de nuevos hábitats para algunas especies (Araújo *et al.*, 2006; Peterson, 2001), en el caso de *P. thalassinus*, esto podría resultar de suma importancia, ya que es una especie endémica de México, que en ocasiones ha visto sus poblaciones mermadas por el tráfico ilegal, y en la cual, se observan ganancias a futuro de área al norte de su distribución, aumentando también los niveles de probabilidad de ocurrencia a lo largo de toda su distribución, especialmente bajo el RCP 8.5, en el que a pesar de no registrar grandes cambios en el tamaño de área, las condiciones ecológicas son mayormente propicias para la existencia de la especie dentro del área de distribución.

P. catenifer constituye la especie en la que se presenta el mayor porcentaje de cambio con el 18.45% de ganancia total (ganancia-pérdida) de área. Esta es una especie encontrada frecuentemente en zonas destinadas a la agricultura, por lo que en ocasiones se ha observado un decline local por efecto antropogénico, sin embargo, al adentrarse su distribución en zonas rurales, y debido a que es una especie generalista en cuanto a su alimentación (Rodríguez-Robles, 1998), podría ver favorecida su adaptación a nuevos ambientes, ya que para el año 2070 las condiciones en distintas áreas de la península serán ideales para que la especie extienda su distribución y persista en dichas áreas, aunque la temperatura presente en los distintos microambientes presentes, será una fuerza determinante detrás de los patrones de selección de hábitat; por lo cual se requiere contar con registros de los movimientos de esta especie por un periodo de tiempo prolongado, de tal manera que se puedan realizar predicciones acerca de la dirección y magnitud de los movimientos geográficos de estos organismos. A pesar de que bajo ambos RCPs se presenta un

aumento del área de distribución potencial mayor al 10%, en el RCP que representa la estabilización, casi no existen lugares que representen pérdida, por lo que la ganancia continúa siendo mayor al 5%, mientras que en el RCP 8.5, sí existen sitios que dejan de ser propicios para la existencia de la especie, lo que apunta al movimiento geográfico del área potencial de distribución para la especie.

En todas las áreas, el cambio de clima muestra oportunidades de persistencia de las áreas de distribución para todas las especies; en general, las proyecciones de la distribución para el año 2070 demostraron poco cambio con respecto al presente para la mayoría de las especies contempladas para este estudio; se observa que la tendencia es a mantener constante la mayor parte del hábitat potencial del tiempo presente, ya que a pesar del CC, se mantienen las condiciones adecuadas para diversas especies en distintas zonas, lo que da como resultado que la proyección de su área de distribución se mantenga constante a futuro; sin embargo, para el 67% de las especies, se observa un cambio (aumento o decremento) de su área de distribución para el tiempo futuro.

La gran variabilidad en los resultados obtenidos manifiesta la complejidad del grupo estudiado, además de la complejidad del área, debido a su historia geológica y su evolución (Enderson *et al.*, 2009). Desde el análisis de componentes principales realizado para obtener las variables bioclimáticas importantes para determinar el área de distribución potencial se demostró que para cada especie, los requerimientos climáticos son distintos, por lo que no existe un patrón de respuesta único para todas las especies analizadas, aunque se podrían presentar ciertas similitudes.

Cada especie mostró un tamaño de área potencial distinto al de las demás especies, debido a que sus requerimientos ambientales y fisiológicos son distintos, pues especies como *X. vigilis*, presentan bajas tasas metabólicas y un comportamiento preferentemente sedentario, lo que podría limitar su distribución dentro de un área específica (Mautz y Nagy, 2000), mientras que otras especies, como *S. orcutti* son capaces de explotar el complejo de mosaicos microclimáticos para regular su temperatura corporal, por lo que su área de distribución puede ser mayor (Sinervo *et al.*, 2010). En este trabajo fueron incluidas especies endémicas al área de estudio como *B. biporus*, al igual que especies como *C. mitchellii* que presenta un amplia área de distribución; sin embargo, el tamaño de su área de distribución potencial, no determina su patrón de respuesta ante el cambio climático.

Para más de la mitad de las especies (57%) se observa una tendencia general hacia la reducción del hábitat, sin embargo se predice también que para dos especies de las 21 totales, habrá un incremento del hábitat adecuado, derivado de las alteraciones del CC.

En este trabajo no se encontró un patrón de respuesta uniforme de ganancia o pérdida bajo los dos RCPs considerados, para cada especie el cambio en su área de distribución suele ser específico. El 29% de las especies presentaron una pérdida mayor al 5% en ambos RCP. El 14% de las especies presenta una pérdida de su área de distribución bajo el RCP 4.5, y el 14% de las especies presentaron dicha tendencia bajo el RCP 8.5, por lo que es necesario explorar y tener en consideración ambos escenarios, que debido a las diferencias con las que están diseñados, muestran vías distintas. Sin embargo, se ha observado que en general, las especies presentes en el área norte, suelen presentar porcentajes más altos en cuanto a estabilidad.

En cuanto a la protección de las áreas, parte de la zona norte, coincide en pequeña proporción con el Cleveland National Forest y con la Reserva Ecológica Santa Margarita, en Estados Unidos de América. El área resultante en la zona central, coincide con la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno y con el área de protección de flora y fauna Valle de los Cirios, pero la zona sur no coincide con áreas protegidas, por lo que los mapas generados, podrían servir de guía para reconocer sitios de importancia para las especies en distintos escenarios climáticos y de esta forma apoyar en la planificación para la protección de zonas importantes en el futuro y así diseñar una estrategia para mantener y mejorar las estrategias de conservación en esta zona.

En las regiones áridas, correspondientes al norte de México y en parte de Estados Unidos de América, las formas de vida están determinadas por la manera en la que afrontan la escasez de agua, la cual está determinada mayormente por el clima (González-Abraham *et al.*, 2017), y debido a que los cambios en diferentes grupos taxonómicos no suelen ser sincrónicos, puede haber profundas consecuencias ecológicas. Los organismos ectotérmicos son especialmente vulnerables a los cambios climáticos y ambientales, debido a que sus funciones fisiológicas básicas, como la locomoción, crecimiento y la reproducción están directamente influenciadas por la temperatura ambiental (Deutshch *et al.*, 2008), siendo limitados los niveles de actividad a bajas temperaturas, y aún si el calentamiento no representa problemas para las especies, las sequías pueden representar problemas para mantener su persistencia en muchas regiones (Araújo *et al.*, 2006). Los resultados aquí mostrados, contemplan únicamente una parte de los riesgos para las especies, y no se contemplan perturbaciones como cambio de uso de suelo o la fragmentación, por lo que los resultados pueden reflejar únicamente una parte de los riesgos para tales especies.

Los resultados de este trabajo, permiten una aproximación para entender las implicaciones del CC sobre distintas especies de reptiles en la Península de Baja California. Los resultados pueden ser considerados para el diseño de estrategias de conservación, ya que se muestran los efectos

potenciales del CC sobre las áreas de distribución de varias especies en zonas diferentes, lo que puede servir de base para el diseño de estrategias de conservación, aunque es necesario indagar en otros factores como el efecto antropogénico y el cambio de uso de suelo, y que pueden poner en peligro la permanencia de las especies en las distintas zonas.

CONCLUSIONES

- ❖ Existe una tendencia de todas las especies a mantener más del 95% de sus áreas de distribución estables o sin cambios aunque los porcentajes de estabilidad son más grandes para especies presentes consideradas para la zona norte de la península, ya que de estas 9 especies, el 88% mantienen más del 90% de su área estable.
- ❖ Se localizaron 3 áreas de convergencia de especies para los dos escenarios climáticos que coinciden con la existencia de zonas climáticamente diferenciadas en la Península de Baja California
- ❖ Para las zonas identificadas como norte y centro, existe una expansión del área de convergencia a tiempo futuro al modelar el RCP 4.5, es decir, una expansión el área que comparten todas las especies de la zona al modelar las vías de concentración representativas RCP 4.5, con el 110.25% para la zona norte y un 105.74% para la zona sur, mientras existe una contracción del área de distribución al modelar el RCP 8.5, con el 79.73% para la zona norte y el 94.59% del área actual para la zona centro. Se observa el efecto contrario al modelar el área del sur, ya que para el RCP 4.5 únicamente se mantiene el 95.60% del área actual y el 107.65% para el RCP 8.5.
- ❖ El tamaño de área de distribución potencial de las especies, no es un factor determinante para el patrón de cambio, sin embargo, para las especies que muestran menores áreas de distribución potencial, los efectos del cambio climático, pueden ser mayores.
- ❖ La gran variabilidad en los resultados obtenidos, es decir, bajo el RCP 4.5 la ganancia de área de distribución para 2 especies y la pérdida de área para 9, y para el RCP 8.5 la pérdida de área de distribución potencial para 9 especies diferentes, refleja la complejidad de la península de Baja California, por lo que no existe un patrón de respuesta único para todas las especies, el cambio suele ser específico, por lo que es importante considerar los dos escenarios bioclimáticos.

REFERENCIAS

- Araújo. M. B., Thuiller, W. y R. G. Pearson. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*. 33: 1712-1728
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Millán, A. y D. Sánchez-Fernández. 2012. La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*. 21(3): 79-84
- Barrows, C. W., Rotenberry, J. T. y M. F. Allen. 2011. Assessing sensitivity to climate change and drought variability of a sand dune endemic lizard. *Biological conservation*. 143: 731-743
- Beaumont, L. J., Hughes, L. y M. Poulsen. 2005. Predicting species distribution: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impacts on predictions of species current and future distributions. *Ecological Modelling*. 186:250-269
- Beaumont L. J., Hughes, L., Pitman, A. J. 2008. Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important? *Ecology Letters*. 11: 1135-1146
- Bradshaw, A. D. 1991. Genostasis and the limits of evolution. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*. 333: 289-305
- Brown, H. G., Stevens, G. C. y D. M. Kaufman. 1996. The geographic range: Size, shape, boundaries and internal structures. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 27:597-623
- Brown, J. H. 1995. *Macroecology*. University of Chicago Press. Chicago, E.U.A.
- Buenfil, F. J. 2009. *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. 860 Pp.
- Bush, M. B., Silman, M. R., McMichael, C. y S. Saatchi. 2008. Fine climate change and biodiversity in Amazonia: a Late-Holocene perspective. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363:1795-1802
- Cabazos, T. 2008. Clima. En: Danemann, G. D. y E. Ezcurra. *Bahía de los Ángeles: Recursos Naturales y comunidad*. México: Linea Base. Pp: 67-72
- Castellanos-Morales, G., Gámez, N., Castillo-Gámez, R. A. y L. E. Eguiarte. 2015. Peripatric speciation of an endemic species driven by Pleistocene climate change: The case of the Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 94(2016):171-181
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemueller, R., Roy, D. B. y C. D. Thomas. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*. 333(6045):1024-1026
- Conde, F. C., Martínez, B., Sánchez, O. y C. Gay. 2011. Regional climate change scenarios for México. *Atmósfera*. 24(1):125 - 140

- Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. 1992. Naciones Unidas. Consulta en línea. (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>)
- Currie, D. J. 2001. Projected effects of climate change on patterns of vertebrate and tree species richness in the conterminous United States. *Ecosystems*. 4: 216-225
- D'Amen, M. y P. Bombi. 2009. Global warming and biodiversity: evidence of climate-linked amphibian declines in Italy. *Biological Conservation*. 142: 3060-3067
- Deutsh, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., y P. R. Martin. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108(18): 6668-6672.
- DeCourten, F. 2009. *Geology of Northern California*. Cengage Learning. Pp: 48
- Douglas, M. E., Douglas, M. R., Schuett, G. W. y W. Porras. 2006. Evolutions of rattlesnakes (Viperidae; *Crotalus*) in the warm deserts of western North America shaped by Neogene vicariance and Quaternary climate change. *Molecular Ecology*. 15: 3353-3374
- Duellman, W. E. 1966. The Central American herpetofauna: an ecological perspective. *Copeia*. 8:700-718.
- Eaton, G. P. 1982. The Basin and Range Province: Origin and tectonic significance. *Earth Planet*. 10: 409-440
- Ekström, M., Fowler, H. J., Kilsby, C. G. y P. D. Jones. 2005. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. *Journal of Hydrology*. 300: 234-251
- Elith, J., Graham, H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., Leathwick, J., R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, G., Loiselle, B., A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Peterson, A., T., Phillips, S., J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M, S. y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*. 29:129-151.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E. y C. J. Yates. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity distribution*. 17: 43-57
- Enderson, E. F., Quijada-Mascareñas, A., Turner, D. S., Rosen, P. C. y R. L. Bezy. 2009. The herpetofauna of Sonora, Mexico, with comparisons to adjoining states. *Check List*. 5(3): 632-672
- Espinosa, D., Aguilar, C. y T. Escalante. 2001. Endemismo, áreas de endemismo y regionalización biogeográfica. En: *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Eds: Llorente, J. y J.J. Morrone. La Prensa de Ciencias. México, D. F. Pp: 31-37

- Flores-Villela, O. 1993a. *Herpetofauna of Mexico: distribution and endemism*. P. 253-280 en T.P. Ramamoorthy B. *Biological diversity of Mexico: origins and distributions* Oxford university press
- Flores-Villela, O. 1993b. Riqueza de los anfibios y reptiles. *Ciencias*. 7:33-41
- Flores-Villela, O. 1998. Herpetofauna de México: Distribución y endemismo. *Diversidad Biológica de México: orígenes y distribución*. UNAM. México. 251-278 pp.
- Flores-Villela, O. y U. O. García-Vázquez. 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 467-475
- García, A. 2006. Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the herpetofauna of Pacific islands and adjacent interior valleys of Mexico. *Biological conservation*. 130: 25-46
- García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*. UNAM. 50: 67-76
- Gómez-Díaz, J. D., Monterroso-Rivas, A. I., Tinoco-Rueda, J. A. y J. López-García. 2007. Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la Reserva de la Biósfera Barranca de Meztitlán, Hidalgo, México. *Zonas Áridas*. 11(1): 61-69
- González-Abraham, C. E., Garcillán, P. P. y E. Ezcurra. 2010. Ecorregiones de la península de Baja California: Una síntesis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 87(2): 79-92
- González, F. 2004. Las comunidades vegetales en México. *INE*. México. 82 Pp.
- Graham, M. H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*. 84: 2809-2015
- Grismer, L. 1994. *The evolutionary and ecological biogeography of the herpetofauna of Baja California and the Sea of Cortes*. Loma Linda Univ. México. Pp: 413
- Grismer, L. L. 2000. Evolutionary Biogeography on Mexico's Baja California Peninsula: A synthesis of molecules and historical geology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 97(26): 14017-14018
- Grismer, L. L. 2002. *Amphibians and reptiles of Baja California, including its Pacific islands, and the islands in the Sea of Cortés*. Berkeley, University of California. 399 pp.
- Guisan, A. y N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 135: 147-186
- Hadly, E. A., Sphaet, P. A. y C. Li. 2009. Niche conservatism above the species level. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106: 19707-19714
- Harrison, A., Small, E. y A. Mooney. 1971. Drought relationships and distribution of two Mediterranean-climate California plant communities. *Ecology*. 52(5): 869-875

- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965-1978
- Holt, J. W, Holt, E. W, y J. M. Stock. 2000. An age constraint on Gulf of California rifting from the Santa Rosa basin, Baja California Sur, México. *Geological Society of America Bulletin*. 112(4): 540-549
- Holt, R. D. y R. Gomulkiewicz 1996. The evolution of species' niches: a population dynamic perspective. Pp: 25.50 En: Othmer, H. G., Adler, F. R., Lewis, M. A. y J. C. Dallon. *Case Studies in Mathematical Modelling: Ecology, Physiological and Cell Biology*. Prentice Hall. Nueva York.
- Holt, R. D. 1990. The microevolutionary consequences of climate change. *Trends Ecology Evolution*. 5(9):311-325
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. *Trends Ecol. Evol.* 15:56-61
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold spring harbor symposia on quantitative biology*. 22:415-427
- Illoldi-Rangel, P. y T. Escalante. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*. 3: 7-12
- INEGI. 2008. Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México. Consulta en línea. (http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/1-GEOGRAFIADÉMEXICO/MANUAL_CARAC_EDA_FIS_VS_ENERO_29_2008.pdf)
- IPCC. 2001. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K. y C. A. Jonson (eds)). Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- IPCC. 2002. Documento Técnico V: Cambio Climático y Biodiversidad. Unidad de apoyo Técnico del Grupo de Trabajo II. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Cuba.
- IPCC-WGI. 2007. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. y H. L. Miller, Eds.). Cambridge University Press, Cambridge. 996 pp.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 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. Cambridge University Press.
- Jayat, J. P y S. Pacheco, 2006. Distribución de *Necromys lactens* y *Phyllotis osilae* (Rodentia: Cricetidae: Sigmodontinae) en el Noroeste Argentino: Modelos predictivos basados en el concepto de nicho ecológico. *Maztozoología Neotropical*. 13(1): 69-88
- Leaché, A. D. y D. G. Mulcahy. 2007. Phylogeny, divergence times and species limits of spiny lizards (*Sceloporus magister* species group) in western North American deserts and Baja California. *Molecular Ecology*. 16: 5216-5233
- Lennox, J. 2011. La economía del cambio climático en Centroamérica. Reporte técnico. CEPAL. 419 pp.
- Leydsman, M. E. y C. McGinty. 2009. *Physiography of Utah*. En: Rangeland Resources of Utah. Edds: Banner, R. E., Baldwin, B. D. y E. I. Leydsman. Utah State University. Pp: 188
- Lugo, H. J. 1990. El relieve de la República Mexicana. *Revista del Instituto de Geología de la UNAM*. 9(1): 82-111
- MacArthur, R. H. 1972. *Geographical ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 288 pp.
- Magaña, R. V. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. En: *Cambio climático: una visión desde México*. Martínez, J., Fernández, B. y P. Osnaya. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México
- Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L. y L. Hannah. 2006. Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conserv. Biol*. 20: 538-548
- Martín, J. y P. López. 2013. Effects of global warming on sensory ecology of rock lizards: increased temperatures after the efficacy of sexual chemical signal. *Functional Ecology*. 27(6): 1275-1454
- Martínez-Meyer, E., Peterson, A. T y W. W. Hargrove. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*. 13: 305-314
- Martínez-Meyer, E. y A. T. Peterson. 2006. Conservatism of ecological niche characteristics in North American plant species over the Pleistocene-to-Recent transition. *Journal of Biogeography*. 33(10): 1779-1789
- Mateo, R. G., Felicísimo, A. M. y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*. 84: 217-240
- Mautz, W. J. y K. A. Nagy. 2000. Xantusiid lizard have low energy, water, and foot requirements. *Physiological and biochemical zoology*. 73(4): 480-487

- Medrano, G. F. 2004. *Las comunidades vegetales de México: propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. Instituto Nacional de Ecología. México. 81 Pp.
- Meszéna, G., Gyllenberg, M., Pásztor, L. y J. A. Metz. 2006. Competitive exclusion and limiting similarity: a unified theory. *Theor Popul Biol.* 69(1): 68-87
- Michaud, F., Calmus, T., Sosson, M., Royer, J. Y., Burgois, J., Chabert. A., Bigot-Cormier, F., Bandy, B., Mortera-Gutiérrez, C. y J. Dymont. 2005. La zona de falla Tosco-Abreojos: un Sistema lateral derecho activo entre la placa Pacífico y la península de Baja California. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.* 57(1): 56-63
- Moss, H. R., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, K. S., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kream, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson A. m., Weyant J. P. y T. J. Wilbanks. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature.* 463(11): 747-756
- Nogués, B. D. 2003. El estudio de la distribución espacial de la biodiversidad, conceptos y métodos. *Cuadernos de Investigación Geográfica.* 29:67-82
- 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
- Ochoa-Ochoa, L. M. y O. Flores-Villela. 2006. *Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana*. UNAM. CONABIO. México. 221 pp.
- Ochoa-Ochoa, L. M., Rodríguez, P., Mora, F., Flores-Villela, O. y R. J. Whittaker. 2012. Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico. *Biological conservation.* 150: 94-102
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual review of ecology, evolution and systematic.* 37: 637-669
- Pearson, A. T., Soberón, J. y V. Sánchez-Cordero. Conservationism of ecological niches in evolutionary time. 1991. *Science.* 285: 1265-1267
- Pearson, R. G., Thuiller, W., Araújo, M. B., Martínez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., Miles, L., Segurado, P., Dawson, T. P. y D. C. Lees. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of biogeography.* 33: 1704-1711
- Pearson, R. G. y T. P. Dawson. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimatic envelopes useful?. *Global Ecology and Biogeography.* 12:361-371

- Peters, G. P., Andrew, R. M., Boden, T., Candell, J. G., Ciais, P., Le Quéré, C., Marland, G., Raupach, M. R. y C. Wilson. 2013. The challenge to keep global warming below 2°C. *Nature Climate Change*. 3: 3-6
- Peterson, A. T. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor*. 103: 599-605
- Peterson, A. T. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*. 3:59-72
- Peterson, A. T., Soberón, J. y V. Sánchez-Cordero. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*. 285: 1265-1267
- Peterson, A. T., Tian, H., Martínez-Meyer, E., Soberón, J., Sánchez-Cordero, V., y B. Huntley. 2005. Modeling distributional shifts species and biomes. En: *Climate change and biodiversity*. Ed: Lovejoy, T. E. y L. Hannah. P: 211-228. Yale University Press. New Haven
- Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R. y J. D. Reynolds. 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Nature*. 308:1912-1915
- Phillips, S. J., Dudik, M. y R. E. Schapire. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. En: *Machine Learning: Proceedings of the twenty-first Century International Conference on Machine Learning*. (Brodley, C. E. Ed.). Canada. ACM Press. Pp: 655- 662
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modeling*. 190: 231-259
- Riddle, B. R., Hafner, D. J., Alexander, L. F., y J. R. Jaeger. 2000. Cryptic vicariance in the historical assembly of a Baja California peninsular desert biota. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 97(26): 14438-14443
- Riemann, H. y E. Ezcurra. 2005. Plant endemism and natural protected areas in the peninsula of Baja California, Mexico. *Biological Conservation*. 122: 141-150
- Rodríguez-Robles, J. 1998. Alternative perspectives on the diet of Gopher snakes (*Pituophis catenifer*, Colubridae): Literature records versus stomach contents of wild and museum specimen. *Copeia*. 2: 463-466
- Samaniego, H. S., Peralta, G. P., y A. Aguirre. 2007. Vertebrados de las islas del Pacífico de Baja California. Guía de campo. Grupo de Ecología y Conservación de Islas. A. C. México. 178 Pp.
- Sánchez-Cordero, V., Peterson, A. T., y P. Escalante. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación biológica. En: Hernández, H. M., García, A. N., Álvarez, F. y M. Ulloa (comp.). *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad*. Instituto de Biología. UNAM. México: 359-379.

- Savage, J. M. 2002. *The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents between two seas*. Chicago University. Chicago, E.U.A. 924 Pp.
- Sinervo, B., Méndez-de-la-Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E. y M. V. S. Cruz. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*. 328: 894-899
- Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*. 10: 1115-1123
- Soberón, J. M. 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*. 33: 159-167.
- Soberón, J. y A. T. Peterson, 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10
- Stanley, L., Maccracken, G. y M. Maccracken. 1990. The use of general circulation models to predict regional climatic change. *Journal of Climate*. 4: 286-303.
- Stern, N. 2008. The economics of climate change. *The American economic review*. 98(2): 1-37
- Tol, R. S. J. 1998. Socio-economic scenarios. En: Handbook on methods of climate change impacts assessment and adaptation strategies. (Feenstra, J., Burton, I., Smith, J. B. y R. S. J. Tol, Eds.). United Nations Environment Programme. 448 pp.
- Urbina-Cardona, J. N. 2008. Conservation of Neotropical herpetofauna: research trends and challenges. *Tropical Conservation Science*. 1(4): 359-375.
- Urbina-Cardona, N. y O. Flores-Villela. 2010. Ecological-niche modeling and prioritization of conservation-area networks for Mexican herpetofauna. *Conservation Biology*. 1-11
- Urbina, J. C y M. V. Reynoso. 2005. Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across a pasture-edge-interior ecotone in tropical rainforest fragments in the Tuxtla Biosphere Reserve of Veracruz, Mexico. *Biological conservation* 132(1):61-75
- Vázquez, D. P. 2005. Reconsiderando el nicho hutchinsoniano. *Ecología Austral*. 15: 149-158
- Vidal, R. 2005. *Las regiones climáticas de México*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 213 Pp.
- Vitt, J. L. y J. P. Caldwell. 2014. *Herpetology, An introductory biology of amphibians and reptiles*. 4^o edición. Academic Press, Elsevier 757 pp.
- Wiens, J. J. 2004. Speciation and ecology revisited phylogenetic niche conservatism and the origin of species. *Evolution*. 58(1): 193-197
- Wiens, J. J. y C. H. Graham. 2005. Niche conservatism: integrating evolution, ecology and conservation biology. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 36: 519-539

Wright, A. N., Schwartz, M. W., Hijmans, R. J. y H. B. Shaffer. 2016. Advances in climate models from CMIP3 to CMIP5 do not change predictions of future habitat suitability for California reptiles and amphibians. *Climatic Change*. 134:579-591

ANEXOS

Anexo 1. Provincias y secciones usadas para construir el sitio de estudio. En cursivas se muestran las secciones de las que consta el polígono anidado

País	Provincias	Subprovincias o Secciones
México	<i>Llanura sonoreense</i>	<i>Desierto del Altar</i>
		<i>El Pinacate</i>
		<i>Sierras y llanuras Sonorenses</i>
	<i>Península de Baja California</i>	<i>Desierto de San Sebastián Vizcaíno</i>
		<i>Llanos de la Magdalena</i>
		<i>Sierra la Giganta</i>
		<i>Sierras de Baja California Norte</i>
	<i>El Cabo</i>	
E. U.	<i>Provincia Lower California</i>	
	<i>Provincia del Borde Pacífico</i>	<i>Cordilleras de la costa de California</i>
		<i>Canal de California</i>
		<i>Rango de Los Ángeles</i>
		<i>Canal puget</i>
		<i>Cordilleras de la costa de Oregon</i>
		<i>Montañas Klamath</i>
	<i>Provincia Basin and Range</i>	<i>Desierto de Sonora</i>
		<i>Canal Salton</i>
		<i>Sección de la Gran Cuenca</i>
		<i>Tierra alta mexicana</i>
	<i>Montañas Cascada-Sierra</i>	<i>Sierra Nevada</i>
		<i>Montañas medias de la cascada</i>
		<i>Montañas sur de la cascada</i>
	<i>Altiplano de Columbia</i>	<i>Altiplano Walla Walla</i>
		<i>Sección Blue Mountain</i>
		<i>Sección Payette</i>
		<i>Sección Harney</i>
	<i>Altiplanos de Colorado</i>	<i>Meseta alta de Utah</i>
		<i>Sección del Gran Cañón</i>

Anexo 2. Lista de las variables bioclimáticas utilizadas en este estudio

Variables bioclimáticas	
Bio1	Temperatura media anual,
Bio2	Media del rango diurno de temperatura
Bio3	Isotermalidad,
Bio4	Estacionalidad de la temperatura
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío,
Bio7	Rango de temperatura anual,
Bio8	Media de temperatura del trimestre más húmedo
Bio9	Media de temperatura del trimestre más seco
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido,
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío,
Bio12	Precipitación anual, ,
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco,
Bio15	Estacionalidad de la precipitación
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del mes más seco,
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio19	Precipitación del trimestre más frío.

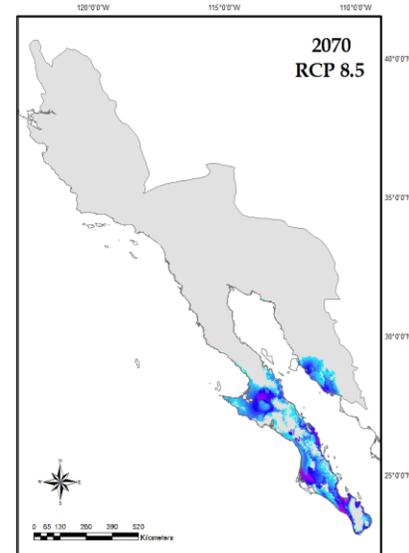
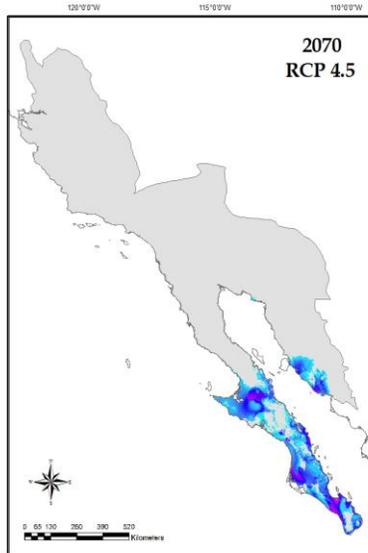
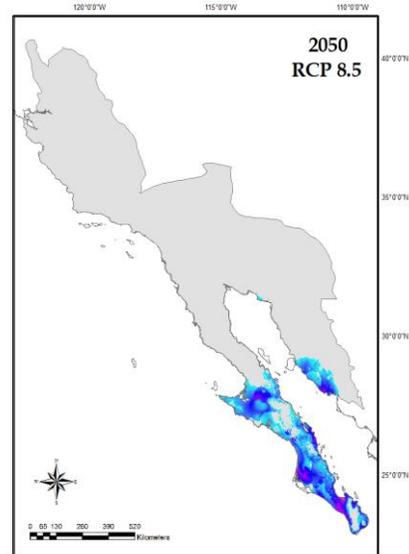
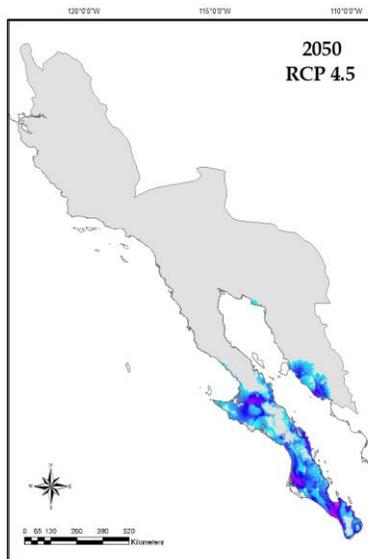
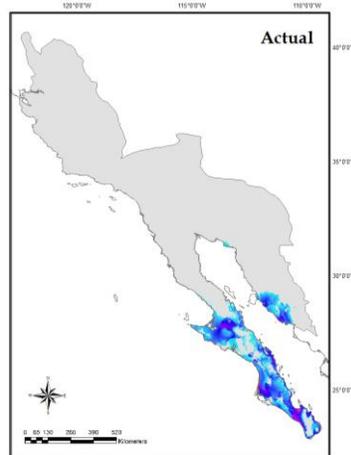
Anexo 3. Valores de AUC para los modelos promedio por especie

Especie	AUC training	AUC test
<i>Bipes biporus</i>	0.9691	0.9485
<i>Bogertophis rosaliae</i>	0.9425	0.9087
<i>Coleonyx switaki</i>	0.8747	0.8006
<i>Crotaphytus vestigium</i>	0.9092	0.9017
<i>Eridiphas slevini</i>	0.9433	0.9371
<i>Gambelia copeii</i>	0.9394	0.9038
<i>Petrosaurus thalassinus</i>	0.952	0.9147
<i>Pituophis catenifer</i>	0.9702	0.9445
<i>Crotalus enyo</i>	0.9848	0.9805
<i>Crotalus mitchellii</i>	0.8864	0.8691
<i>Crotalus ruber</i>	0.9603	0.9572
<i>Lampropeltis zonata</i>	0.9652	0.9572
<i>Masticophis lateralis</i>	0.9494	0.941
<i>Phrynosoma coronatum</i>	0.9127	0.9042
<i>Sceloporus orcutti</i>	0.9614	0.9527
<i>Sceloporus zosteromus</i>	0.9801	0.9761
<i>Tantilla planiceps</i>	0.9792	0.9694
<i>Thamnophis hammondi</i>	0.9573	0.948
<i>Trimorphodon biscutatus</i>	0.9794	0.967
<i>Urosaurus nigricaudus</i>	0.9714	0.9681
<i>Xantusia vigilis</i>	0.9856	0.9766

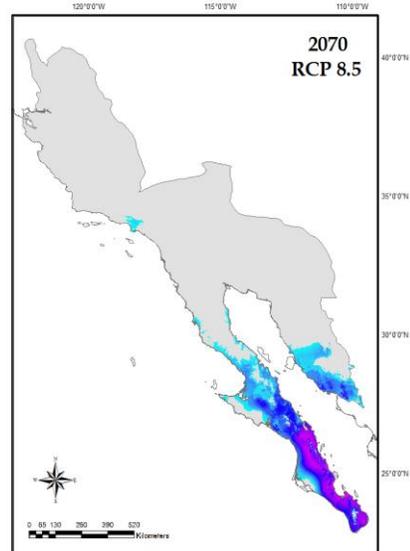
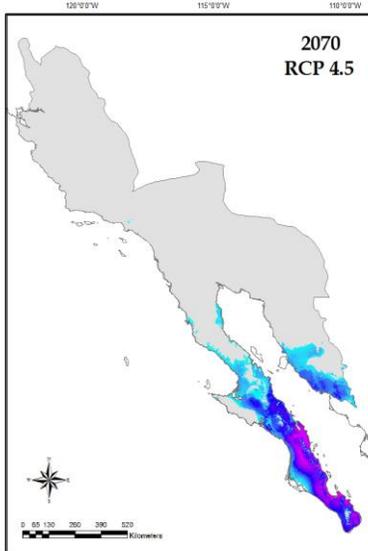
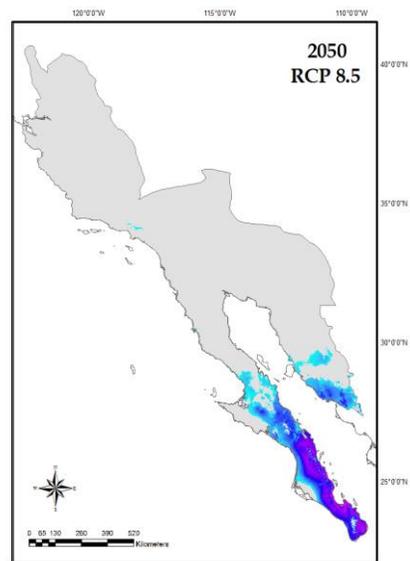
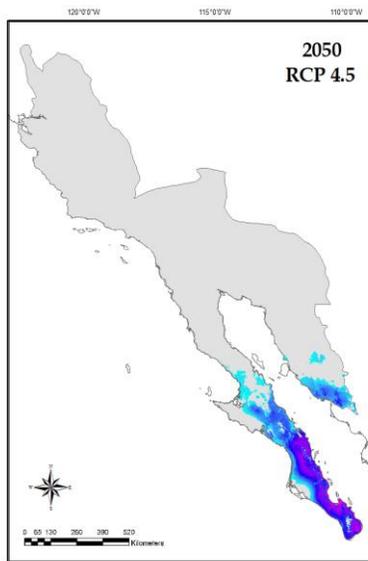
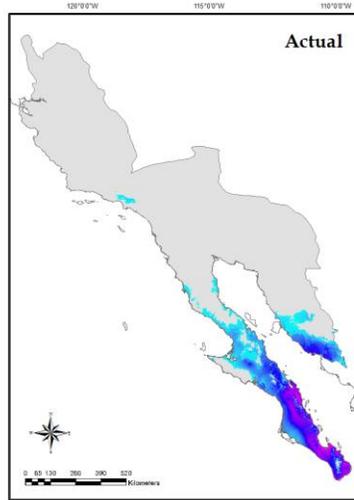
Se considera un modelo con buena precisión si los valores de AUC se encuentran entre 0.7 y 0.99, sin embargo todos los valores obtenidos en los modelos promedio son mayores a 0.8

Anexo 4. Modelos de distribución potencial por especie

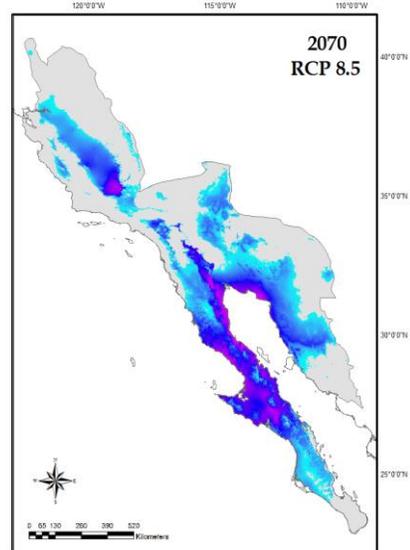
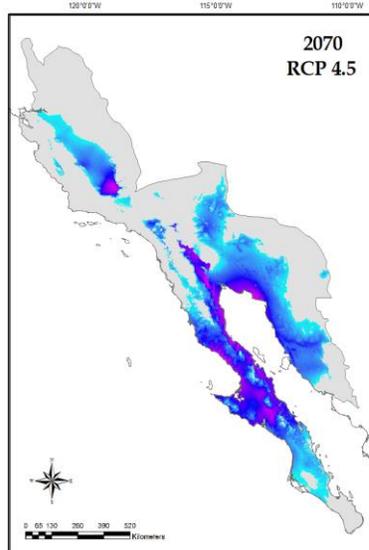
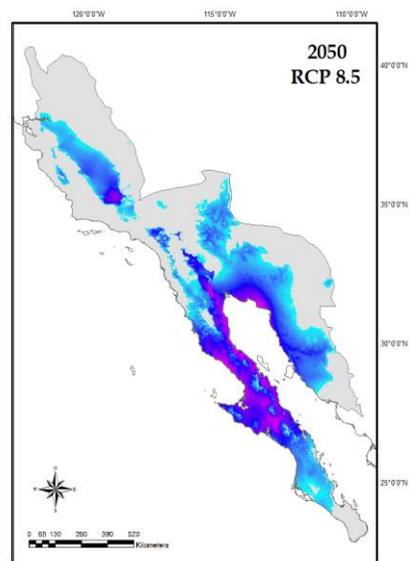
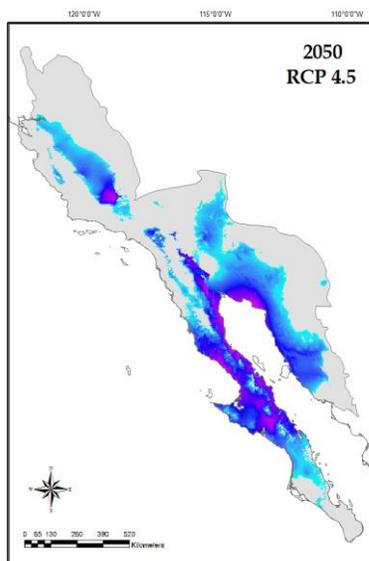
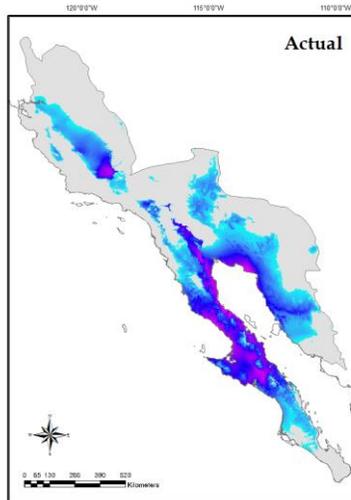
Bipes biporus



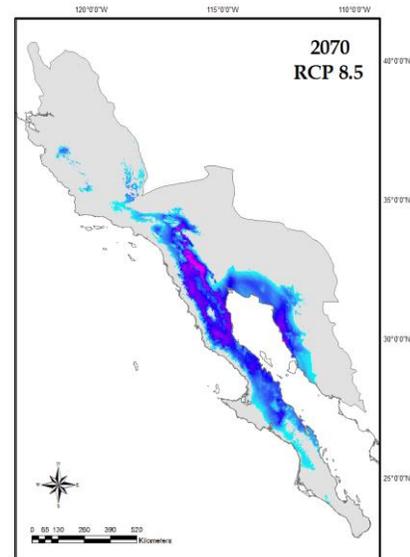
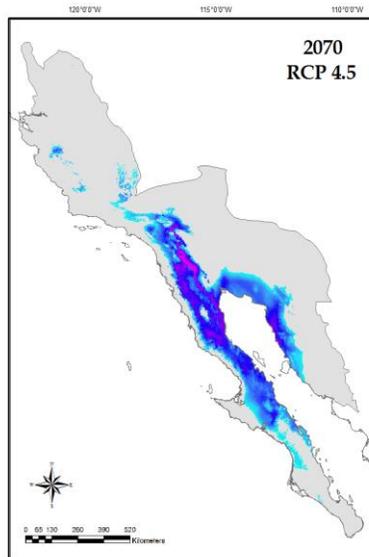
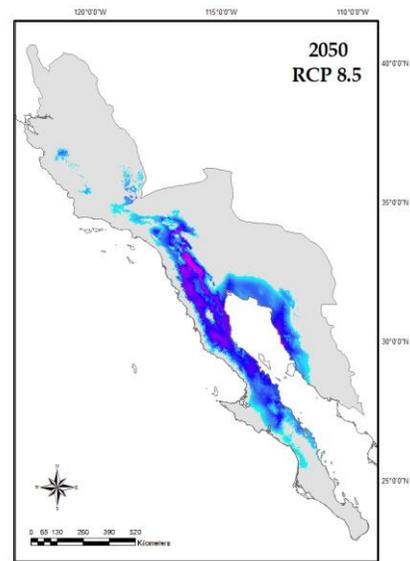
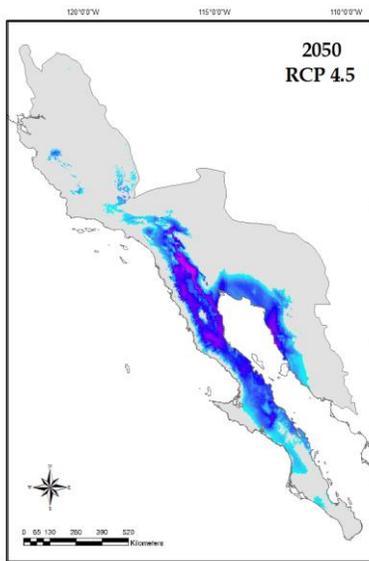
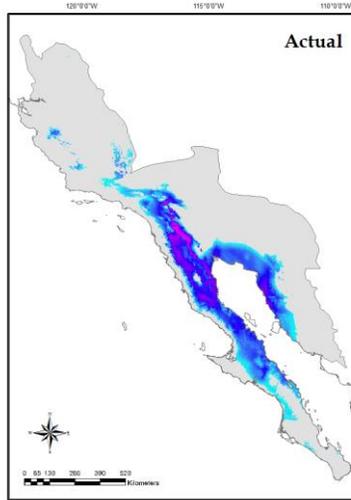
Bogertophis rosaliae



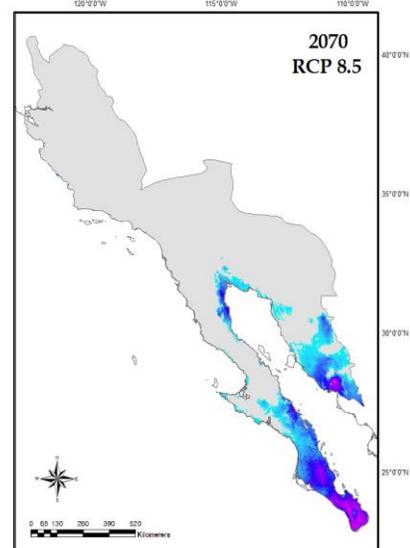
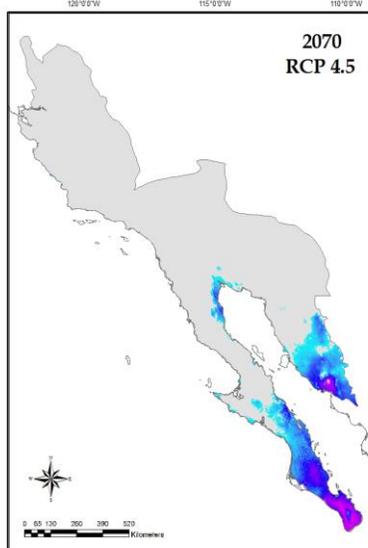
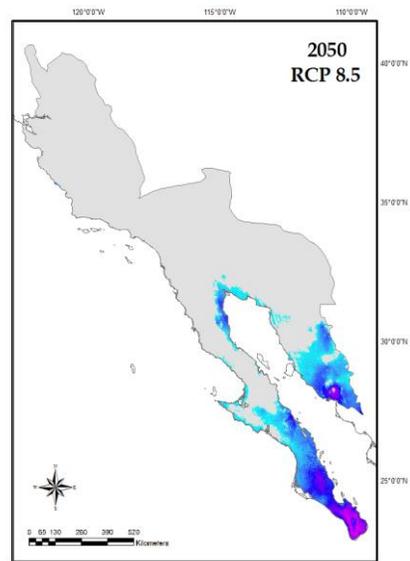
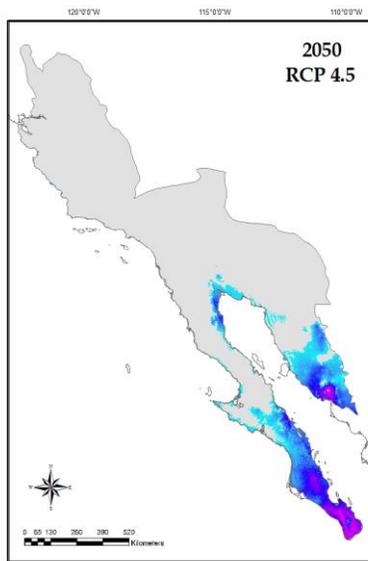
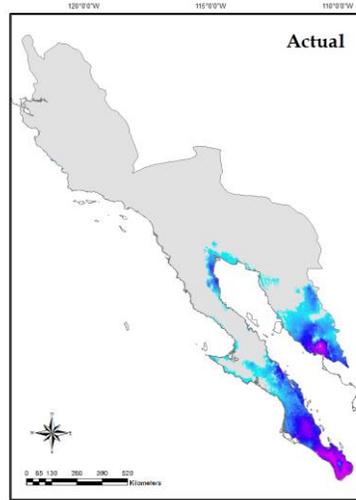
Coleonyx switaki



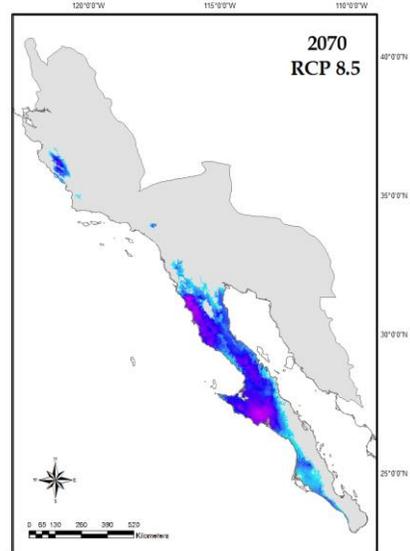
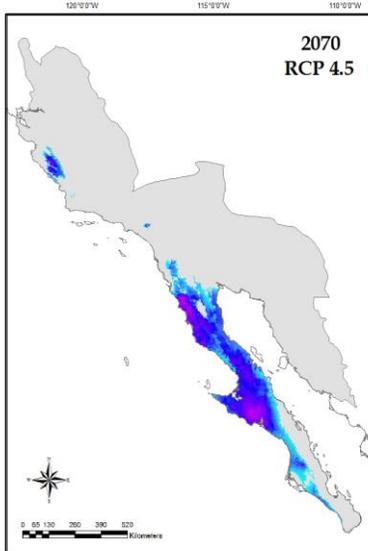
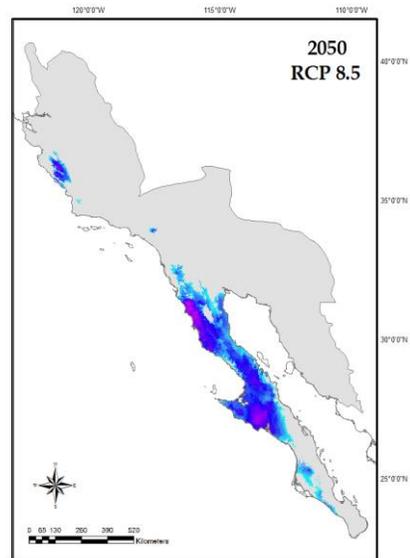
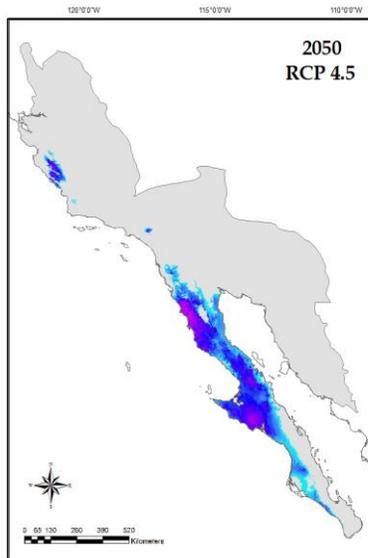
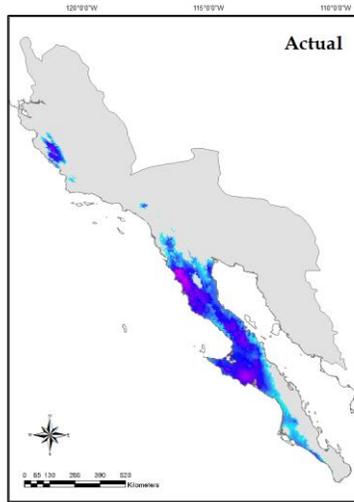
Crotaphytus vestigium



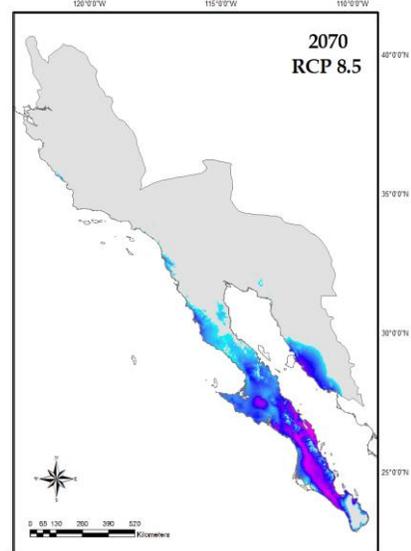
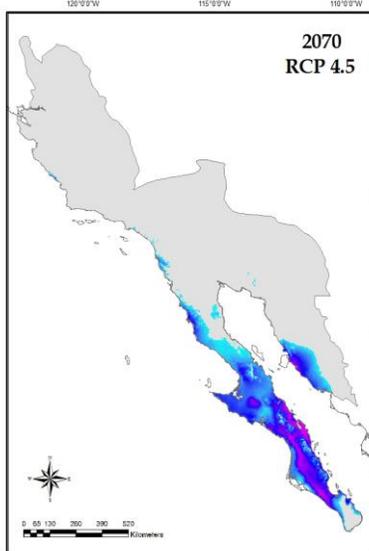
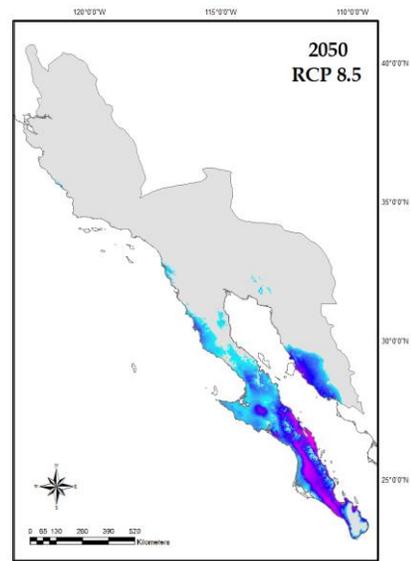
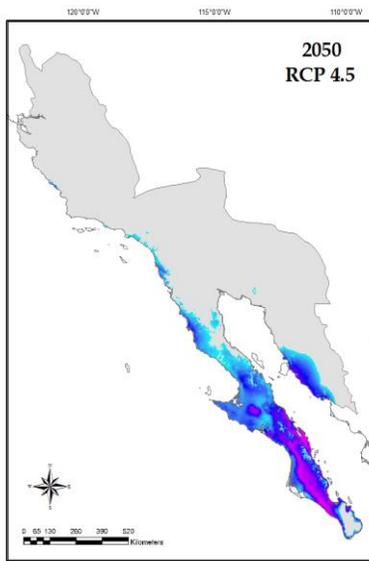
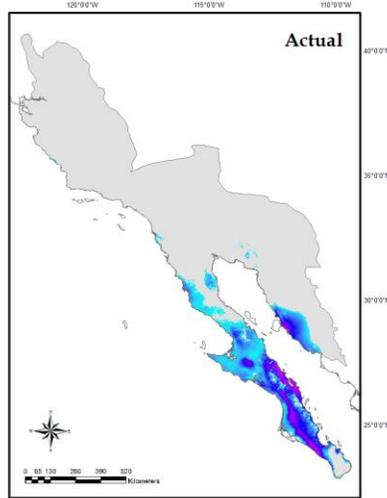
Eridiphas slevini



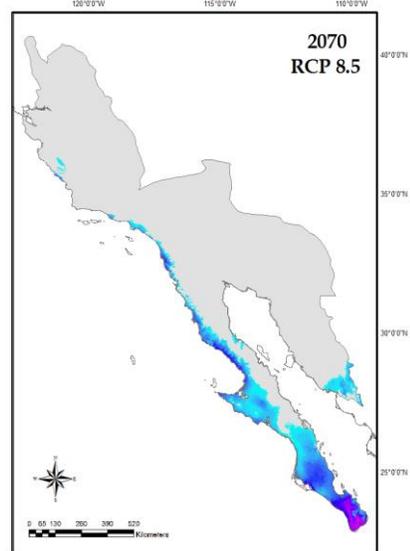
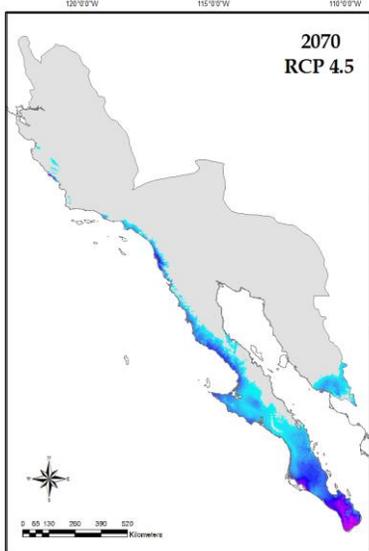
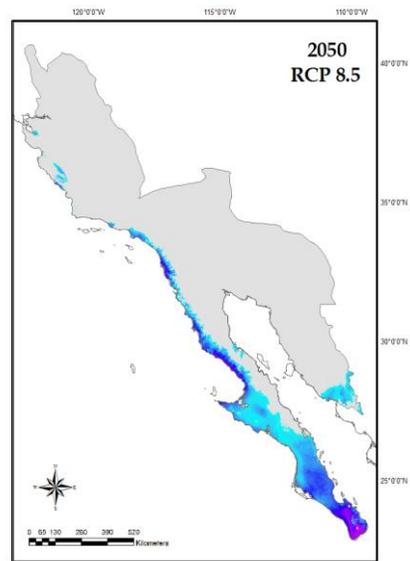
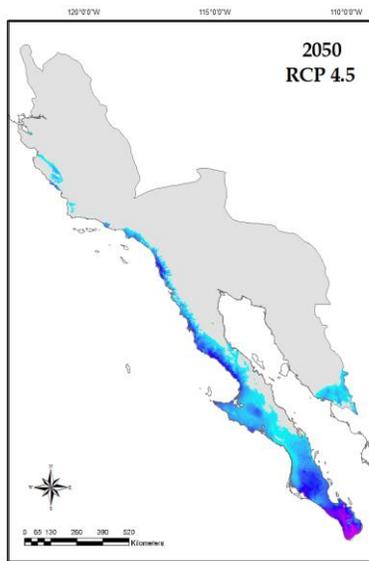
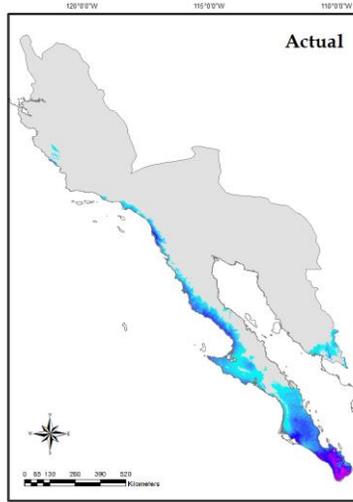
Gambelia copeii



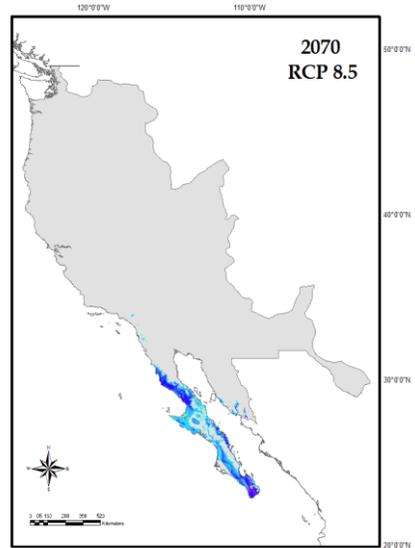
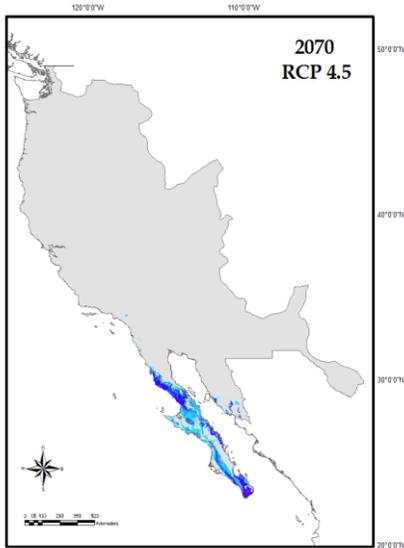
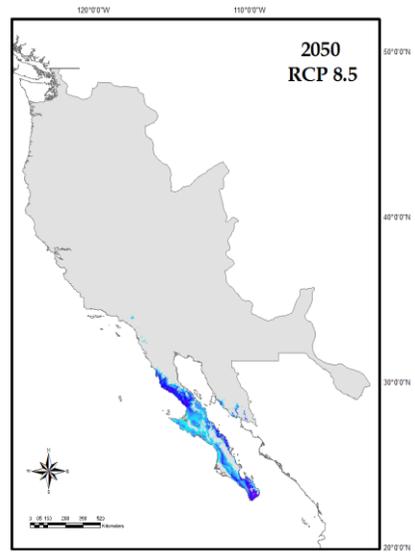
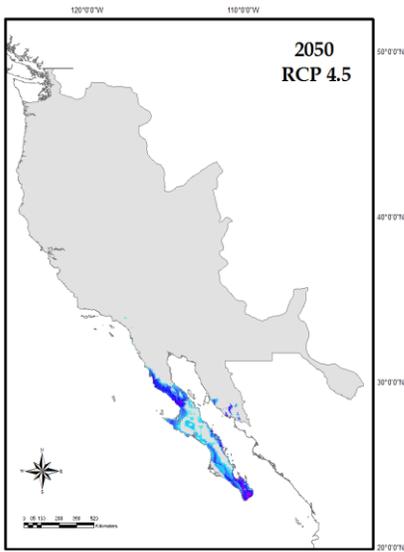
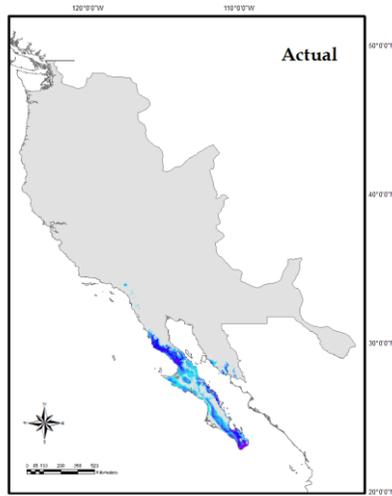
Petrosaurus thalassinus



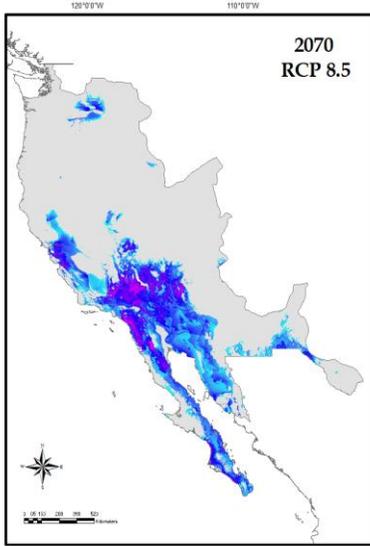
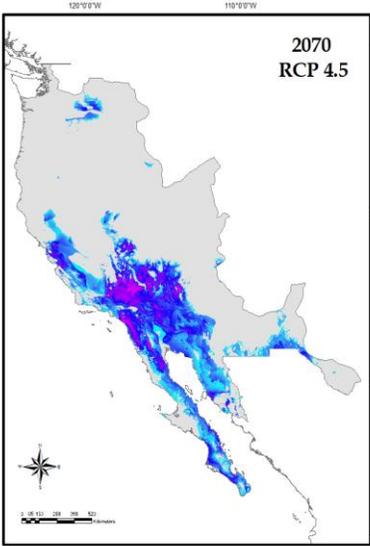
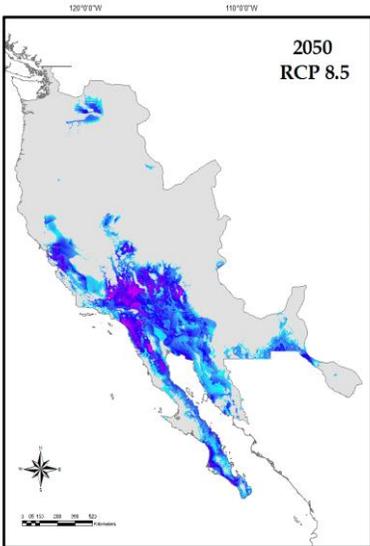
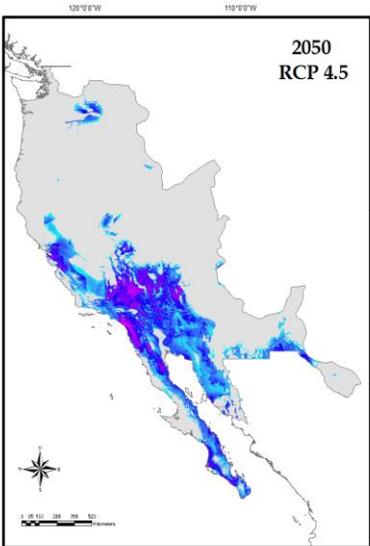
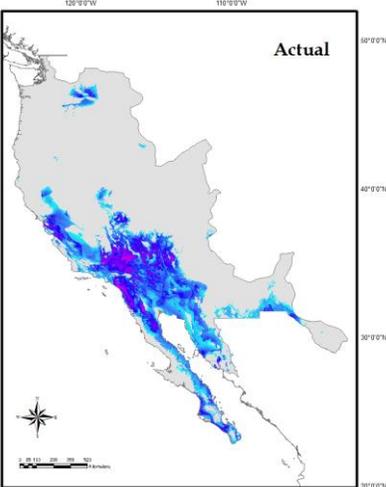
Pituophis catenifer



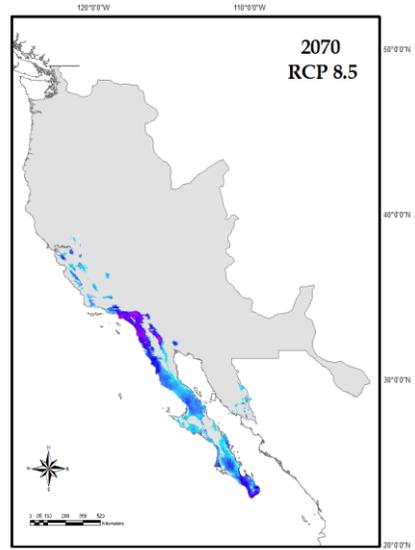
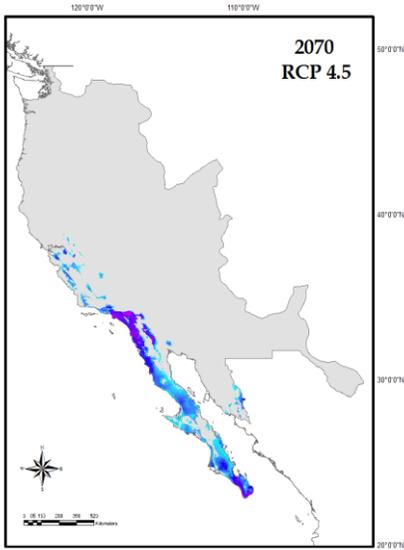
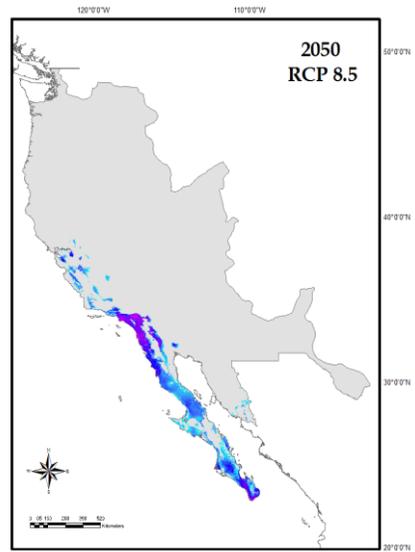
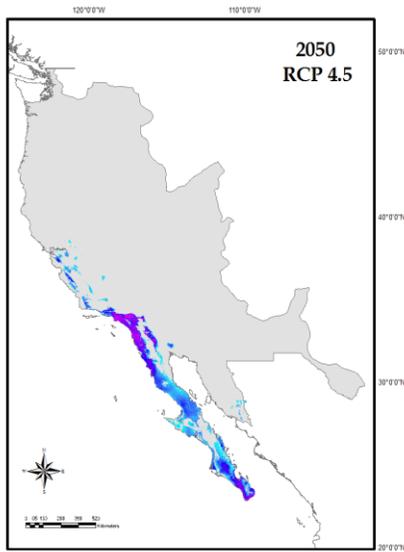
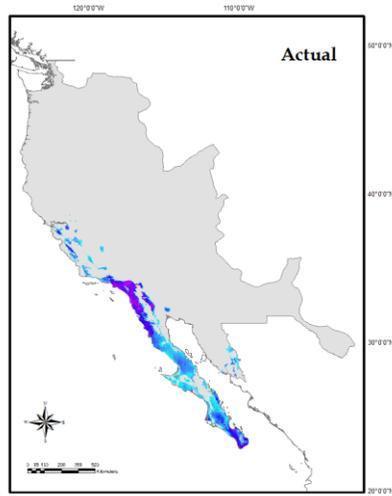
Crotalus enyo



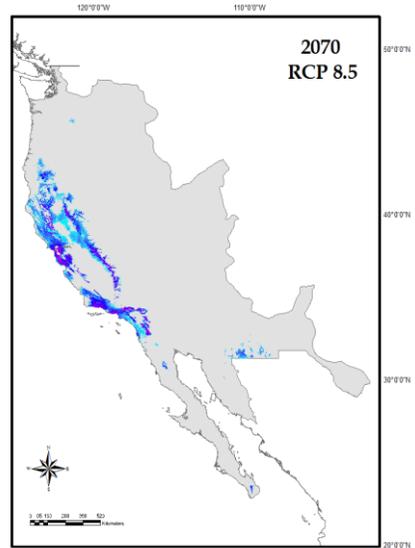
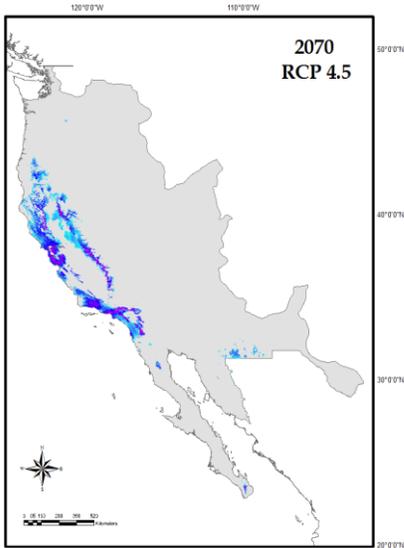
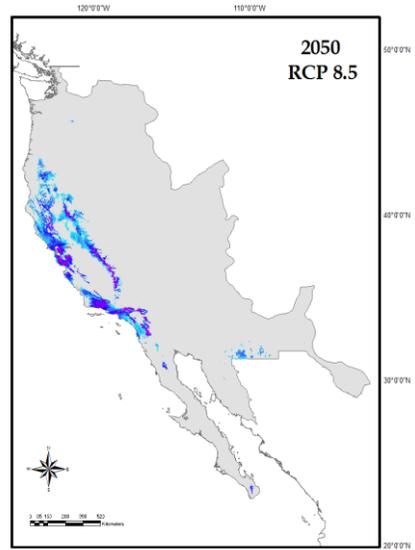
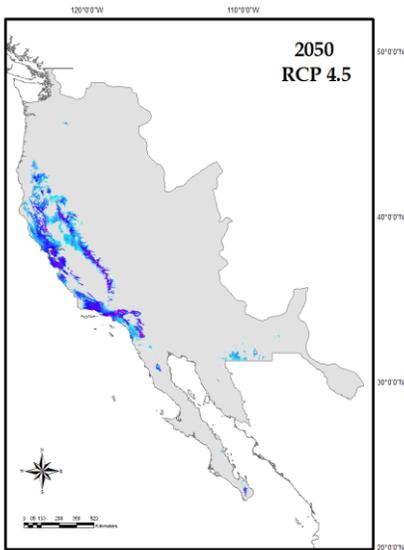
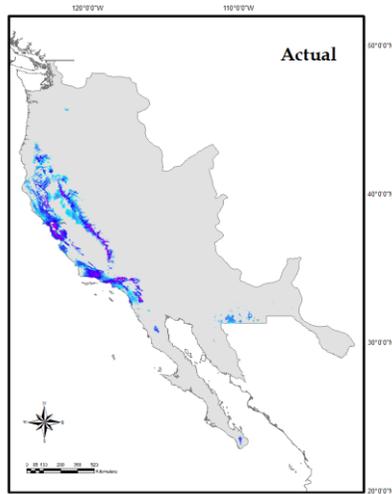
Crotalus mitchellii



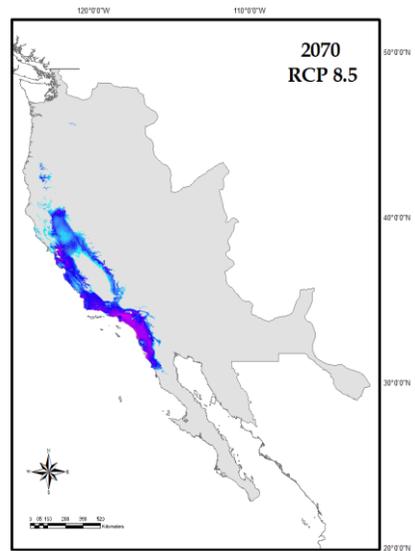
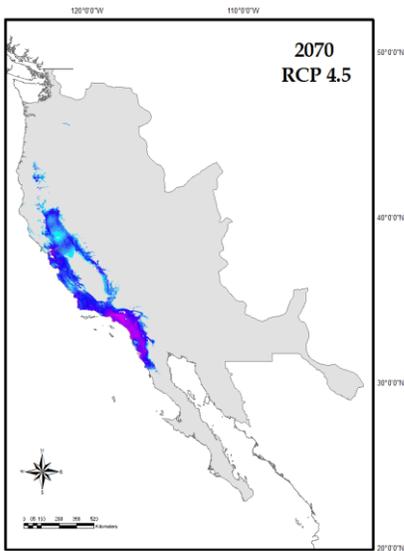
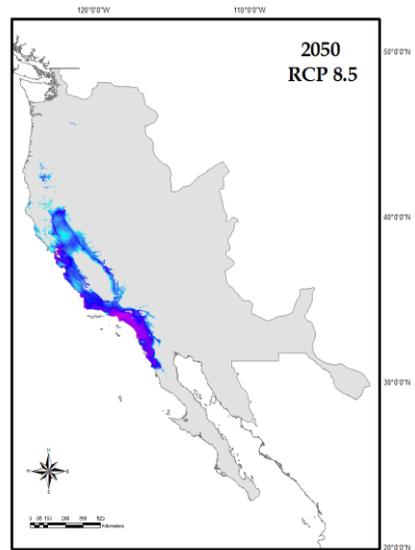
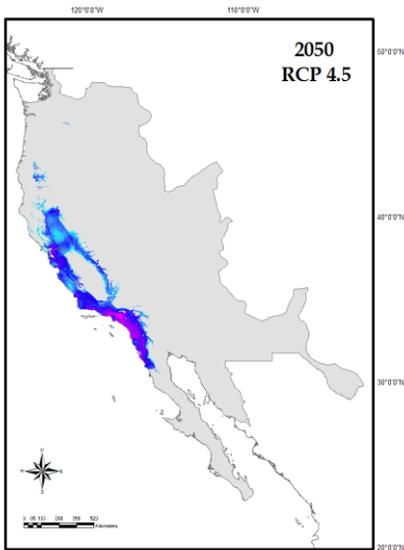
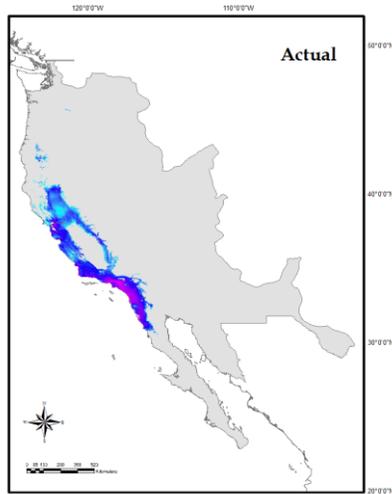
Crotalus ruber



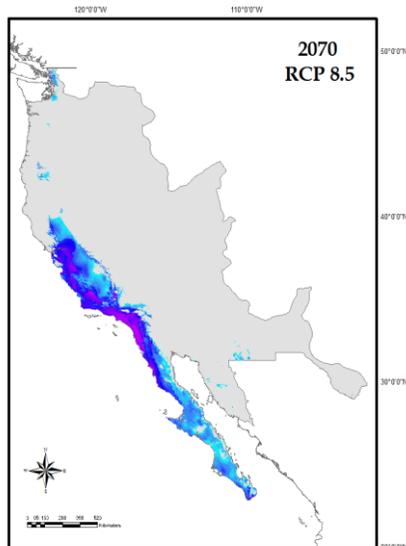
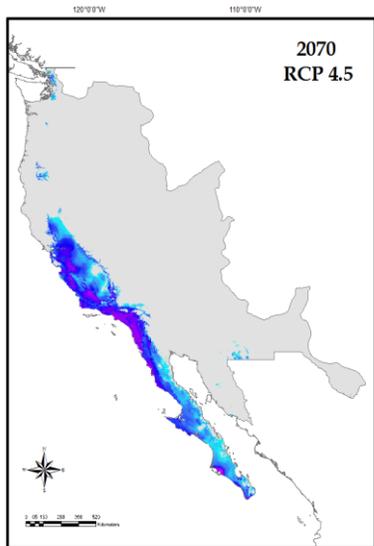
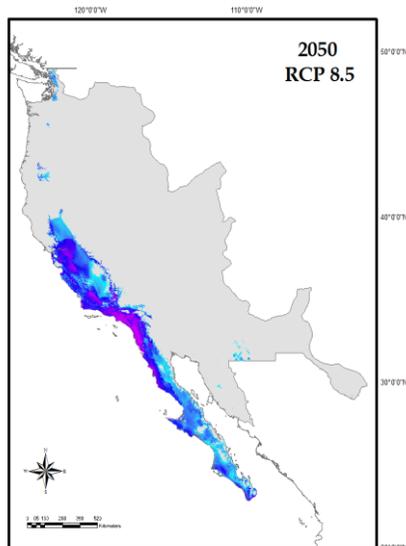
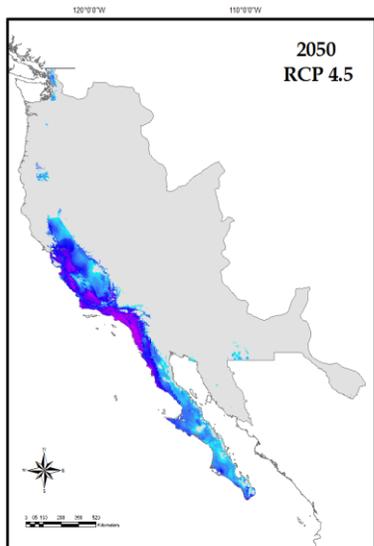
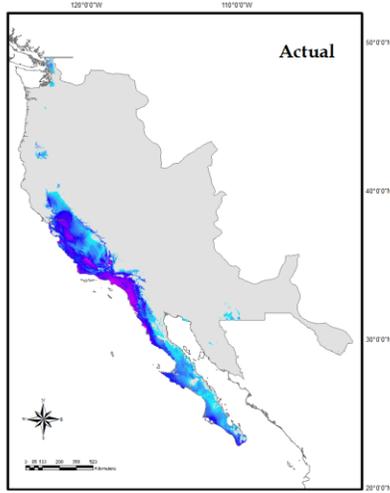
Lampropeltis zonata



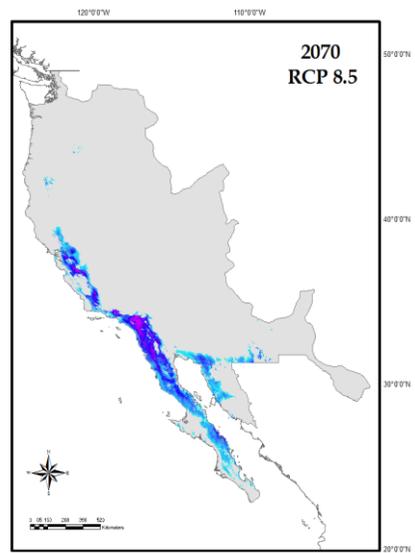
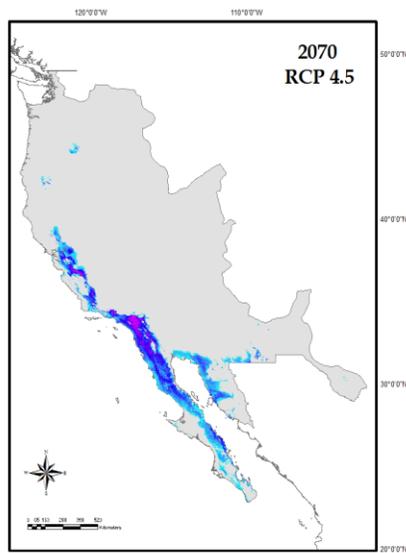
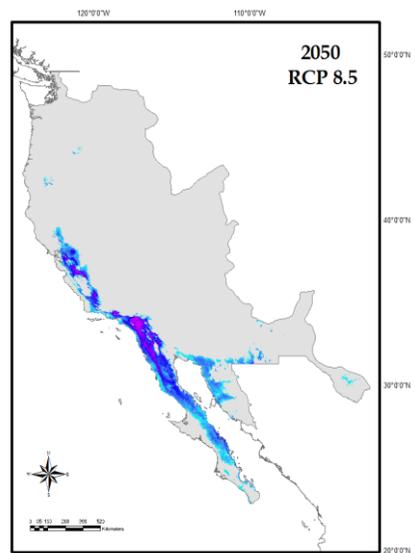
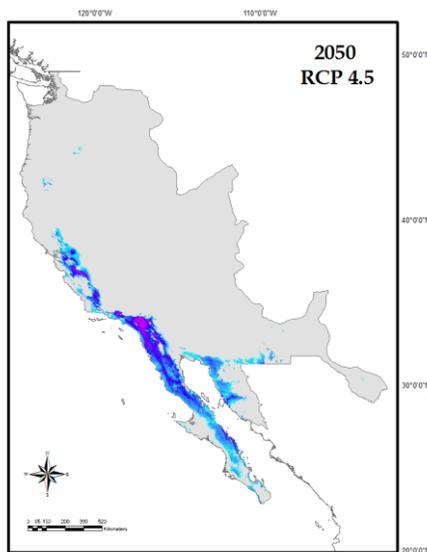
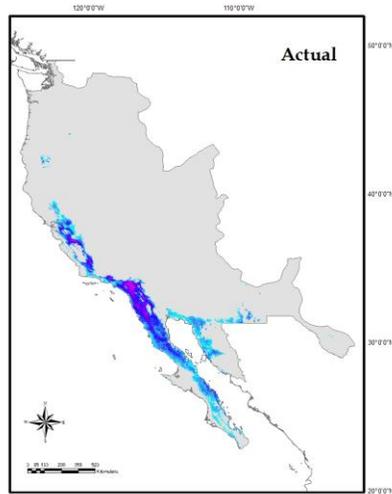
Masticophis lateralis



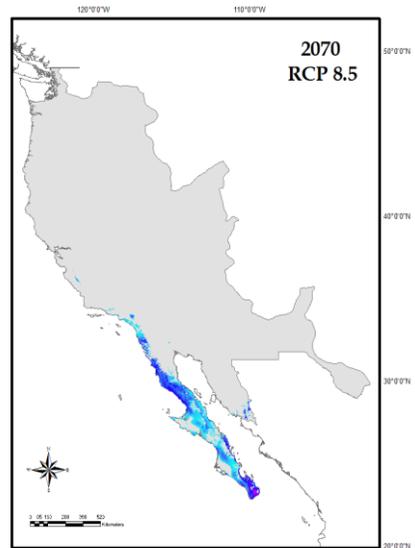
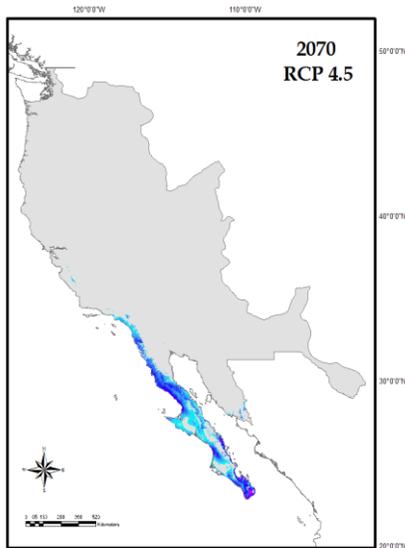
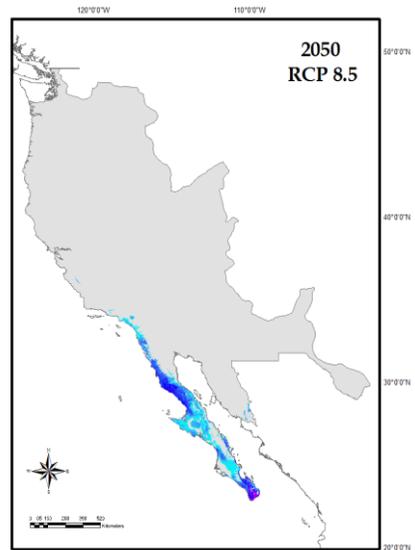
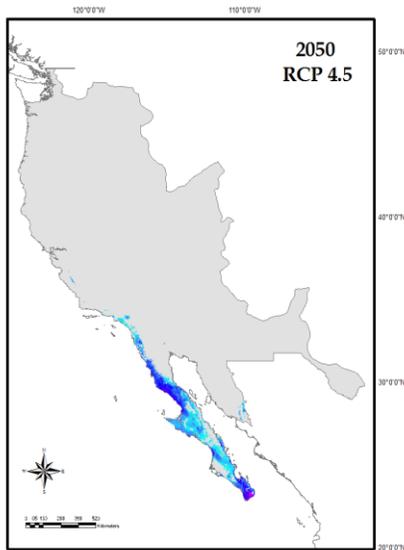
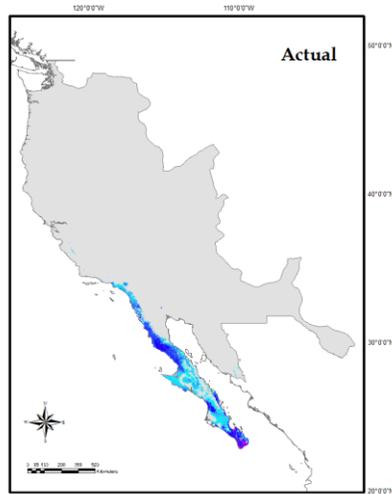
Phrynosoma coronatum



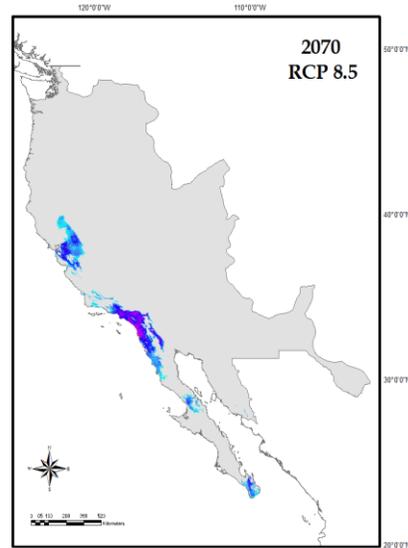
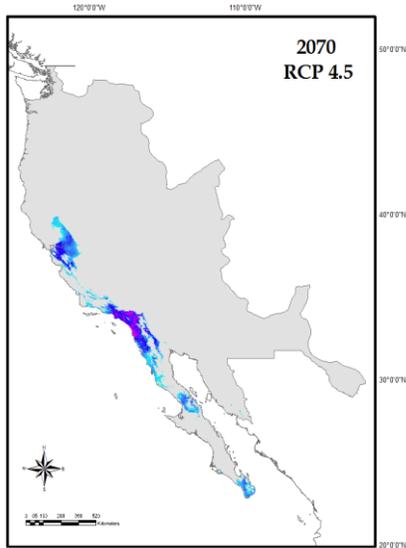
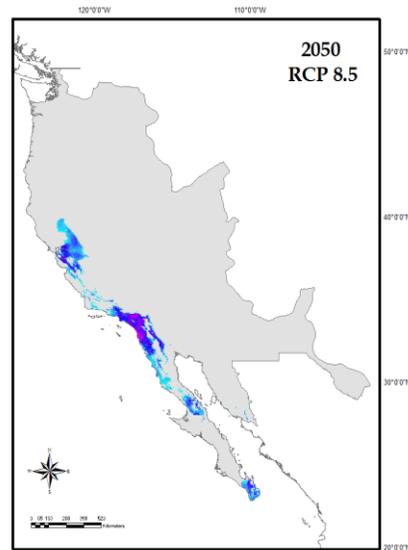
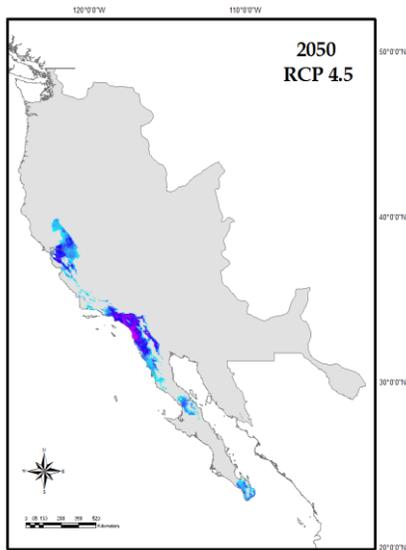
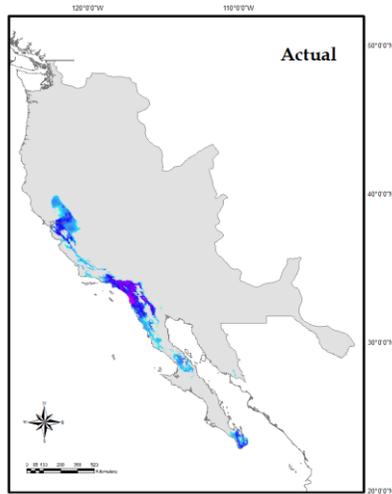
Sceloporus orcutti



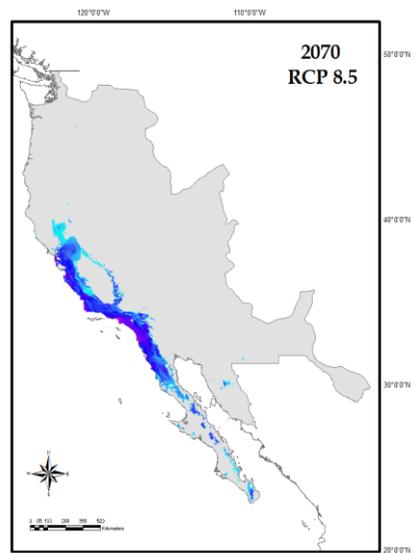
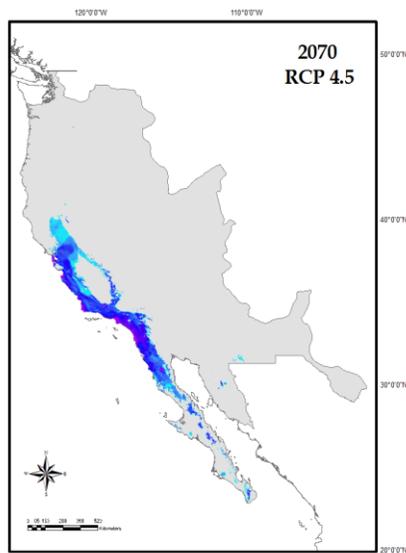
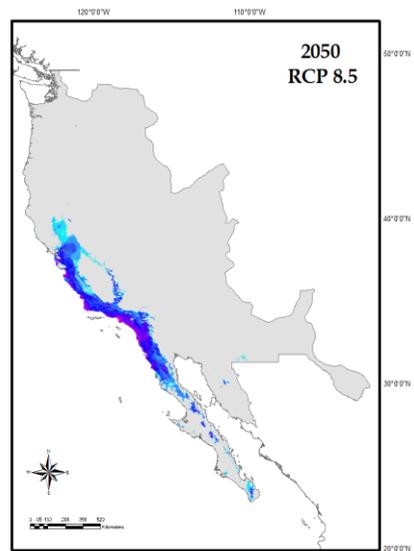
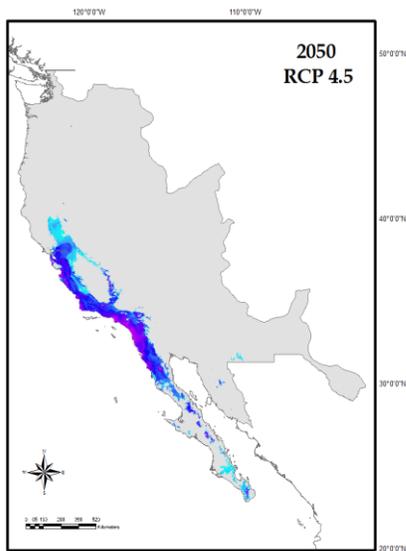
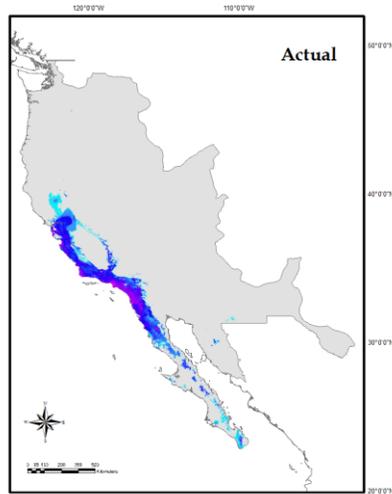
Sceloporus sozteromus



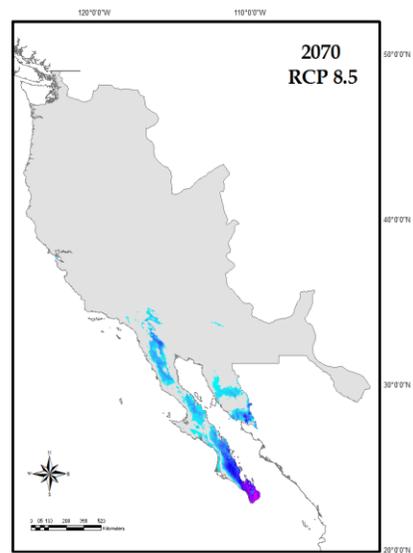
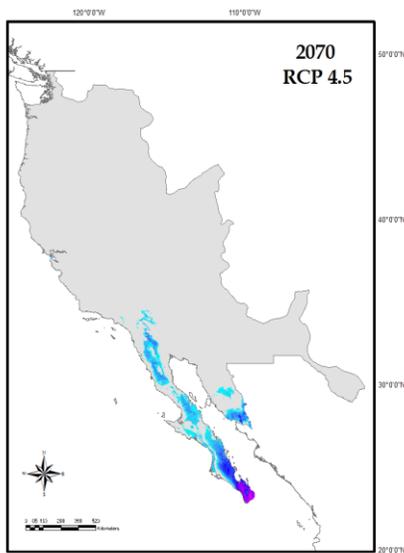
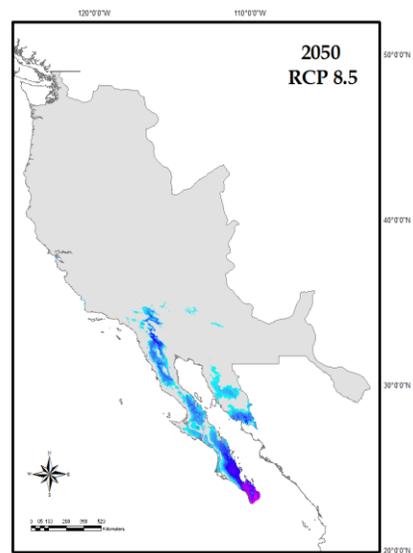
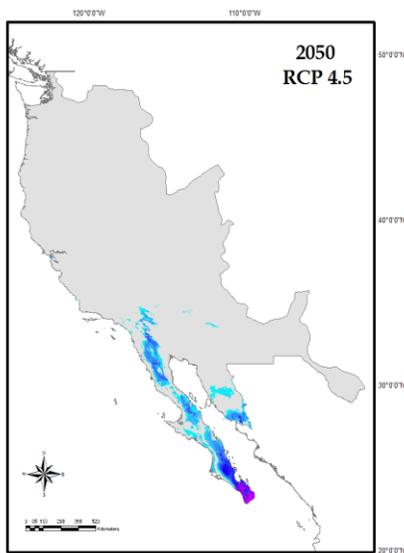
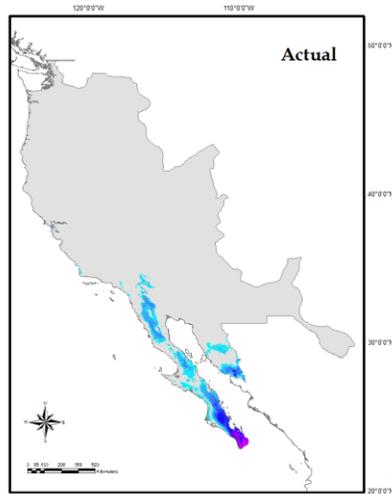
Tantilla planiceps



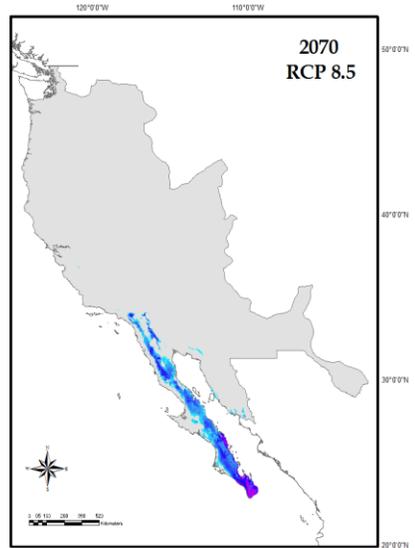
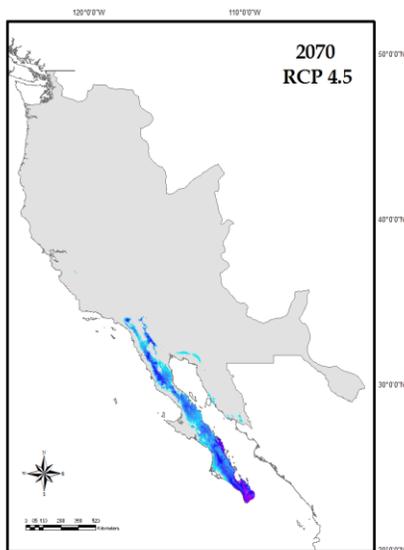
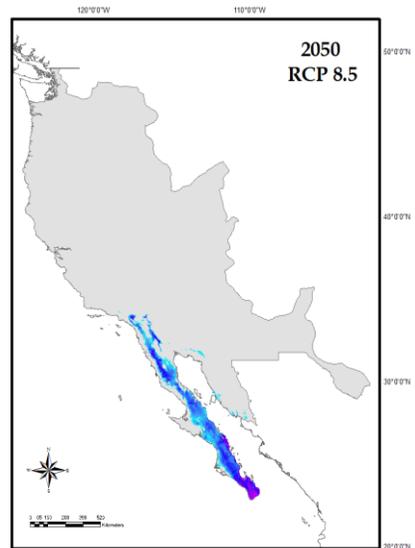
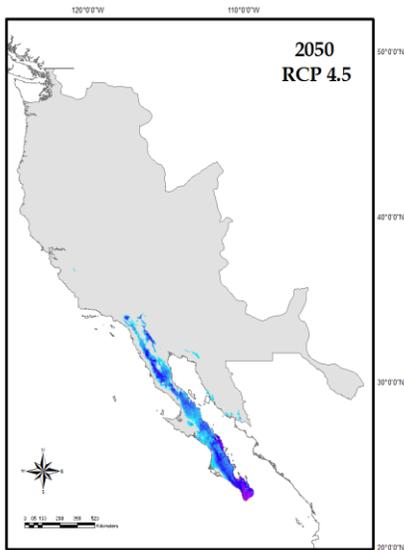
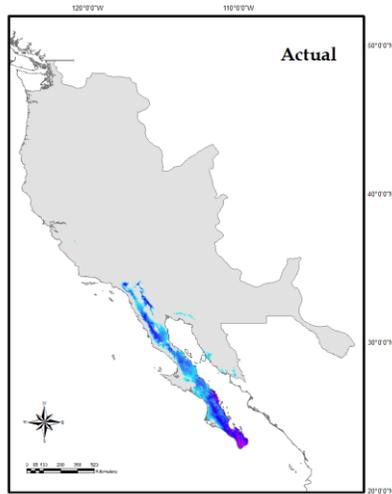
Thamnophis hammondi



Trimorphodon biscutatus



Urosaurus nigricaudus



Xantusia vigilis

