



Environment
Canada

Environnement
Canada

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO



Al servicio
de las personas
y las naciones

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

INFORME FINAL



2017

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por:

Enrique Martínez Meyer

Serie

2

Evaluación y mapeo de la vulnerabilidad y los riesgos climáticos

Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por: Enrique Martínez Meyer.

Citar como:

PNUD México-INECC. 2017. *Actualización de la evaluación de impactos del cambio climático sobre la distribución potencial de especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y plantas que habitan las islas de México*. Proyecto 86487 “Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México”. 26 p. Enrique Martínez Meyer. México.

Esta publicación fue desarrollada en el marco del proyecto 86487 “Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México” del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Agradecimiento:

Al gobierno de Canadá a través de Environment Canada por el apoyo financiero recibido para el desarrollo del proyecto 86487 “Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México”, durante 2014-2018. Al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático por el apoyo prestado para el buen desarrollo de la Plataforma.

Contenido

1. Introducción	5
1.1 Modelos de nicho ecológico: ventajas y desventajas	6
2. Objetivo.....	7
3. Métodos	7
3.1 Limpieza y depuración de base de datos	7
3.2 Ajuste y elaboración de variables climáticas presentes y futuras.....	7
3.3 Selección de las variables importantes para cada especie	8
3.4 Selección de los algoritmos de modelado.....	8
3.5 Modelos de distribución potencial actual.....	9
3.6 Validación de los modelos.....	9
3.7 Ensamble de los modelos para el presente.....	9
3.8 Modelos de distribución potencial bajo escenarios futuros	10
4. Resultados.....	10
4.1 Variables ambientales relevantes para las especies	12
4.2 Selección de algoritmos	15
4.3 Validación de los modelos.....	16
4.4 Modelos de distribución actual y futura	19
5. Entregables	20
5.1 Listado de especies y registros de presencia	21
5.2 Mapas de distribución potencial presente y futura.....	21
6. Referencias Bibliográficas.....	23

Lista de Figuras

Figura 4-1. Prueba de la tasa de omisión para medir el desempeño de los 9 algoritmos usados en las 6 especies como prueba piloto.	15
Figura 4-2. Prueba de ROC parcial para medir el desempeño de los 9 algoritmos usados en las 6 especies como prueba piloto.	16
Figura 4-3. Cambio neto en la proporción del área de distribución potencial en escenarios futuros con respecto al presente para las especies de anfibios.	19
Figura 4-4: Cambio neto en la distribución potencial de las 46 especies evaluadas en este estudio.	20
Figura 5-1. Distribución potencial en de <i>Anaxyrus californicus</i>	21

Lista de Cuadros

Cuadro 4-1. Especies analizadas en este estudio y número de localidades únicas por especie.	11
Cuadro 4-2. Variables ambientales relevantes para las especies analizadas. Nomenclatura: Bio1-Temperatura media anual; Bio2-Intervalo diurno medio de la temperatura; Bio3-Isotermalidad; Bio4-Estacionalidad de la temperatura; Bio5-Temperatura máxima del mes más cálido; Bio6-Temperatura mínima del mes más frío; Bio7-Intervalo anual de la temperatura; Bio8-Temperatura media del trimestre más húmedo; Bio9-Temperatura media 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 trimestre más seco; Bio18-Precipitación del trimestre más cálido; Bio19-Precipitación del trimestre más frío.	13
Cuadro 4-3. Pruebas de validación TSS y tasa de omisión de los modelos de nicho para las especies analizadas y los tres algoritmos de modelación utilizados.	17

1. Introducción

El cambio climático ha generado cambios en la fenología, abundancia, composición y distribución de las especies (Parmesan y Yohe 2003, Peterson et al. 2015). Asimismo, opera de forma sinérgica con la pérdida de hábitat y la invasión de especies exóticas, lo que incrementa la vulnerabilidad de las especies nativas. La mayoría de los estudios de cambio climático se han enfocado a evaluar los efectos en el continente, pero las islas son particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático por su relativamente menor área que las regiones continentales y mayor exposición al incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos (e.g., huracanes), así como el incremento del nivel del mar (Harter et al. 2015).

Según el Catálogo Insular desarrollado por la Secretaría de Gobernación de la República Mexicana, el país cuenta con alrededor de 4000 cuerpos insulares, que representan el 0.3% del territorio nacional. Las islas mexicanas destacan por su alta diversidad biológica, ya que albergan a más de 2000 especies, de las cuales 10% son endémicas. Las regiones del país con mayor extensión de territorio insular se encuentran en el Océano Pacífico, Golfo de California, y la región del Mar Caribe (CONABIO 2015). Debido a la gran diversidad de ecosistemas representados en las islas mexicanas los análisis de vulnerabilidad deben representar esta gran diversidad. Por ello es necesario realizar análisis de vulnerabilidad al cambio climático de la biodiversidad de las islas mexicanas que ayuden al manejo y conservación de las mismas.

En México existen esfuerzos muy importantes para la conservación del territorio insular (Aguirre-Muñoz et al. 2008, Aguirre-Muñoz et al. 2009), y recientemente se llevaron a cabo una serie de consultorías por parte del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Programa para las Naciones Unidas del Desarrollo (PNUD) para fortalecer el conocimiento en torno a la vulnerabilidad y conservación de la biodiversidad de las islas mexicanas. En una consultoría previa se generaron modelos de distribución potencial presente y futura para 100 especies que habitan las islas mexicanas. Sin embargo, éstos fueron transferidos al ensamble ponderado denominado REA (*Reliability Ensemble Averaging*, en inglés) de 14 modelos generales de circulación (Cavazos et al. 2015). Aunque este tipo de modelos son una ventaja para sintetizar el panorama de los análisis de cambio climático, también es cierto que es necesario identificar la variación de la respuesta de las especies ante diferentes escenarios, ya que esto permite incluir la incertidumbre dentro de este tipo de análisis (Rocchini et al. 2011).

1.1 Modelos de nicho ecológico: ventajas y desventajas

Los modelos de nicho ecológico y distribución potencial han jugado un papel importante en las evaluaciones preventivas de riesgos por efecto del cambio climático. Permiten entender los rangos geográficos de las especies e identificar aquellos factores ambientales que limitan sus distribuciones (Jeschke y Strayer 2008, Peterson et al. 2011). Son métodos correlativos y requieren de información sobre la presencia de las especies y una serie de parámetros climáticos actuales para generar un modelo de las condiciones que favorecen la presencia de una especie (i.e., un modelo de su nicho ecológico). Este modelo es proyectado al espacio geográfico para generar un mapa que representa la distribución potencial de la especie (Peterson et al. 2011). Un modelo de nicho también puede ser proyectado a escenarios de clima futuro (Jeschke y Strayer 2008, Peterson et al. 2011), lo que permite medir el nivel de exposición y sensibilidad de una amplia gama de especies al cambio climático. Los resultados de este tipo de análisis han sido utilizados para evaluar la vulnerabilidad de las especies y ecosistemas al cambio climático y así proponer estrategias de monitoreo y conservación (Peterson et al. 2002, Thuiller et al. 2005, Huntley et al. 2008). Entre las desventajas de este tipo de métodos está el hecho de que las correlaciones encontradas no incorporan los mecanismos de interacción de la presencia de la especie con las variables y, por tanto, su respuesta a los cambios ambientales; así como tampoco consideran las interacciones biológicas (Peterson et al. 2011).

La modelación de la distribución de especies en las islas conlleva por lo menos dos limitaciones importantes. En primer lugar, la gran mayoría de las islas mexicanas son de dimensiones relativamente pequeñas y la cartografía climática no tiene la resolución espacial suficiente para capturarlas o están representadas por muy pocos píxeles. En segundo lugar, hay relativamente pocos registros de las especies insulares que representen adecuadamente la distribución de las especies dentro de las islas. Estos inconvenientes impiden hacer un análisis fino de las posibles consecuencias del cambio climático sobre la distribución de las especies en las islas. Por esta razón, en esta consultoría se decidió generar modelos de nicho de forma rigurosa para un subconjunto de las especies analizadas en la consultoría a cargo de la Dra. Ureta que fueran de interés para la conservación en las islas y que cumplieran con los requerimientos de datos para una modelación confiable, haciendo proyecciones a diversos escenarios climáticos y en tres horizontes temporales. Los resultados de los modelos de distribución potencial presente y futuros se presentan de manera general para todo el país y se analizan para 9 islas mexicanas de mayor tamaño. En el Mar de Cortés fueron: Tiburón, Ángel de la Guarda, Carmen, San José y Jacques Cousteau (antes Cerralvo); para el Pacífico: Cedros, Socorro y María Madre; y para el Caribe, Cozumel.

2. Objetivo

Actualizar los estudios de impactos del cambio climático sobre la distribución potencial de especies relevantes que habitan las islas mexicanas (plantas, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) a partir de la modelación de sus nichos ecológicos y cartografiarlos.

3. Métodos

3.1 Limpieza y depuración de base de datos

Las bases de datos proporcionadas por el INECC fueron complementadas con la versión del año 2016 del Sistema Nacional de la Biodiversidad (SNIB), y el repositorio internacional Global Biodiversity Facility (GBIF: www.gbif.org). Para cada especie se revisaron los registros de presencia, donde eliminamos aquellos que estuvieran fuera del área de la distribución conocida de la especie. Esto se realizó con base en dos criterios: (1) consulta a expertos y (2) revisión de literatura especializada.

Los expertos consultados fueron: para plantas: Dr. Jaime Jiménez Ramírez, Facultad de Ciencias, UNAM; Dr. José Luis Villaseñor Ríos, Instituto de Biología, UNAM; y para anfibios el Dr. Óscar Flores Villela, Facultad de Ciencias, UNAM. Las fuentes bibliográficas revisadas fueron las siguientes: plantas (Guzmán et al. 2003); reptiles (Castro-Franco & Gaviño 1990, Flores-Villela 1993, Grismer 1999, 2002); aves (BLI & NS 2015); y mamíferos (Wilson & Ruff 1999, Ceballos & Oliva 2005, Kays & Wilson 2009).

3.2 Ajuste y elaboración de variables climáticas presentes y futuras

Se obtuvieron los valores mensuales de precipitación, temperatura mínima y máxima de la base de datos Worldclim (Hijmans et al. 2005) para el presente (1950-2000), disponibles en la página del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. A las superficies mensuales del periodo de referencia se le sumó la capa de anomalías de generadas por Fernández Eguiarte et al. (2015). A partir de esas tres variables ambientales se generaron 19 variables bioclimáticas para cada uno de los periodos que se analizaron utilizando la biblioteca *Dismo* (Hijmans et al. 2015), del programa de código abierto R (RTeam 2016). Las 19 variables ambientales representan expresiones anuales y estacionales de las temperaturas medias y extremas y de la precipitación (Hijmans et al. 2005). Este conjunto de variables es el más utilizado a nivel mundial en la modelación de distribuciones potenciales.

Los escenarios de clima futuro que se generaron para este estudio corresponden a los RCP 4.5 (moderado) y 8.5 (extremo) y tres horizontes temporales: cercano (2015-2039), medio (2045-

2069) y lejano (2075-2099) bajo cuatro modelos generales de circulación (MGC): MPI-ESM-LR (Alemania), GFDL-CM3 (Estados Unidos), HADGEM2-ES (Reino Unido) y CNRM (Francia), que de acuerdo con el CCAUNAM-INECC son los que mejor representan las tendencias climáticas históricas del país (Fernández Eguiarte et al. 2015). Todos los mapas del presente y del futuro están a una resolución de 30 segundos de arco, lo que corresponde a aproximadamente 1 km².

3.3 Selección de las variables importantes para cada especie

Se utilizó la prueba de permutación del algoritmo MaxEnt (Phillips y Dudík 2009) para elegir variables relevantes para los modelos de nicho de cada una de las especies. De esta forma, del conjunto de las 19 variables bioclimáticas originales, se realizó una selección para cada especie, la cual es especificada en el archivo de Excel que se anexa a esta entrega (*Variables.xlsx*). La variable fue considerada como importante si su aportación al modelo fue mayor o igual al 1%.

3.4 Selección de los algoritmos de modelado

Se ha demostrado que los algoritmos de modelación tienen diferente desempeño y que en la actualidad no existe un algoritmo que funcione mejor que los demás, sino que dependiendo de la estructura de los datos biológicos y ambientales un algoritmo en particular puede desempeñarse mejor que otros, pero cambiando la estructura de los datos puede ocurrir lo opuesto (Qiao et al. 2015). Esto es particularmente exacerbado cuando los modelos de nicho son transferidos a escenarios de cambio climático (Pearson et al. 2006), lo que obliga a hacer pruebas de desempeño para elegir el o los algoritmos que mejor funcionen para los datos con los que se cuenta. Por ello, una vez teniendo el conjunto específico de variables por especie, se realizó una prueba piloto con 6 especies para las que se tienen relativamente pocos datos, pero bien conocida su distribución, con el fin de identificar los algoritmos de modelación que mejor funcionan con base en métricas de desempeño para datos de sólo presencia: la tasa de omisión y ROC parcial (Fielding et al., 1999; Peterson et al., 2008), así como el juicio de expertos. Las especies seleccionadas para la prueba piloto fueron tres mamíferos: *Lepus alleni*, *Myotis vivesi* y *Peromyscus eva*; y tres aves: *Sula nebouxii*, *Sula sula* y *Synthliboramphus craveri*.

Para generar los modelos de distribución se probaron 9 algoritmos, 6 dentro de la plataforma de modelación BIOMOD (Biodiversity Modelling) (Thuiller et al., 2009), la cual contiene diferentes métodos usados para modelar el nicho y la distribución de las especies. Dentro de esta plataforma se seleccionaron los siguientes algoritmos: Artificial Neural Networks (ANN), Generalised Additive Models (GAM), Generalised Boosting Model (GBM), Generalised Linear Models (GLM), Multiple Adaptive Regression Splines (MARS) y Random Forest (RF). De igual forma se utilizó el algoritmo Bioclim contenido en la plataforma de modelación *Dismo* del programa R

(Hijmnas et al., 2015); y finalmente en sus programas autónomos se probaron el Genetic Algorithm for Rule-set Prediction (GARP) (Stockwell & Peters, 1999) y MaxEnt (Phillips y Dudík, 2009).

3.5 Modelos de distribución potencial actual

Con base en las pruebas mencionadas se identificaron los tres algoritmos que tuvieron mejor desempeño en las especies piloto, que fueron: MARS, GLM, GBM. Estos algoritmos se usaron para la modelación de todas las demás especies: Para ello, primero los registros de las especies se dividieron de manera aleatoria en 70% para calibrar el modelo y 30% para evaluarlo. Dado que estos 3 métodos requieren datos de ausencia para su funcionamiento, se generaron 10,000 pseudo-ausencias en el área de análisis; esto es, se escogieron aleatoriamente ese número de píxeles en donde no se tenía registrada la presencia de las especies que se analizaron. Con los datos de calibración cada uno de los algoritmos fue parametrizado *ad hoc* en la plataforma BIOMOD para generar los modelos de distribución potencial bajo el escenario actual (1950-2000). Para cada algoritmo se realizó una sola corrida en la que se generaron los mapas de distribución potencial actual.

3.6 Validación de los modelos

La validación es un elemento fundamental en el proceso de modelado, ya que permite evaluar la capacidad informativa de los modelos. Antes de realizar las transferencias al futuro se evaluó el desempeño de las calibraciones de cada algoritmo. Para ello se utilizó la tasa de omisión y la medida True Skill Statistic (TSS), que se ha recomendado en la evaluación de modelos de distribución cuando las predicciones se expresan como mapas de ausencia-presencia (Fielding et al. 1999, Allouche et al. 2006). Si un modelo no resulta satisfactorio bajo el escenario de calibración (i.e., el escenario del presente) no es conveniente realizar transferencias de ese modelo en escenarios futuros, ya que la propagación del error causaría modelos con muy alta incertidumbre.

3.7 Ensamble de los modelos para el presente

Las salidas de los modelos generados con cada uno de los tres algoritmos son de tipo probabilístico, es decir, los píxeles toman valores entre 0 y 1. Estos mapas probabilísticos se convirtieron en mapas binarios (0=ausencia y 1=presencia) utilizando como valor umbral de corte la probabilidad que permita como máximo un 10% de omisión en los datos de calibración o validación. Los tres mapas binarios correspondientes a cada algoritmo se sumaron en un sistema de información geográfica para producir un mapa consenso con valores que pueden ir de 0 a 3, en donde 0 significa que todos los algoritmos predijeron la ausencia de la especie en

esos píxeles, 1 que solo uno de los 3 algoritmos predijo presencia en esos píxeles; 2, que dos de los tres algoritmos predijeron presencia en dichos píxeles; y 3 son los píxeles de máximo consenso, en donde los 3 algoritmos predijeron la presencia de la especie. Este mapa consenso fue posteriormente reclasificado a un mapa binario (0 y 1) considerando como umbral el valor 2, es decir, los valores 0 y 1 se recalificaron con valor de 0 (ausencia) y los valores 2 y 3 se recalificaron con valor de 1 (presencia). El uso de varios algoritmos, en lugar de sólo uno, permite evaluar la incertidumbre generada por los algoritmos y con ello identificar áreas en donde hay mayor confianza en las proyecciones geográficas de los modelos (Buisson et al., 2010).

3.8 Modelos de distribución potencial bajo escenarios futuros

Los modelos de nicho bajo las condiciones de clima actual fueron proyectados a los escenarios producidos por los modelos generales de circulación: MPI-ESM-LR (Alemania), GFDL-CM3 (Estados Unidos), HADGEM2-ES (Reino Unido) y CNRM (Francia), bajo los RCP 4.5 y 8.5, y tres horizontes temporales: cercano (2015-2039), medio (2045-2069) y lejano (2075-2099), generando así un mapa de distribución potencial para cada combinación laboratorio-RCP-tiempo, es decir, un total de 24 mapas futuros para cada especie. Para sintetizar esta información se generaron ensambles de los cuatro laboratorios siguiendo el mismo procedimiento anterior: (1) los mapas probabilísticos se binarizaron usando el mismo valor umbral que su mapa correspondiente al presente; (2) los mapas binarios se sumaron en un SIG para obtener un mapa consenso; y (3) el mapa consenso se reclasificó para hacerlo binario, convirtiendo los valores 0, 1 y 2 a 0 (ausencia), y 3 y 4 a 1 (presencia). De esta forma, al final se obtuvieron 7 mapas de distribución potencial para cada una de las 46 especies: uno para el presente y dos para cada tiempo (cercano, medio y lejano), que corresponden a los RCP 4.5 y 8.5.

4. Resultados

De las 100 especies de plantas y vertebrados que nos fueron entregadas como producto de la consultoría a cargo de la Dra. Ureta, seleccionamos 46 con base en criterios de relevancia para la conservación (evitamos especies no nativas y de muy amplia distribución) y de suficiencia de datos, quedando conformadas de la siguiente manera: 11 plantas, 6 anfibios, 12 reptiles, 7 aves y 10 mamíferos (Cuadro 1).

Cuadro 4-1. Especies analizadas en este estudio y número de localidades únicas por especie.

ESPECIES	No. de registros
Anfibios	
<i>Anaxyrus californicus</i>	28
<i>Aneides lugubris</i>	8
<i>Batrachoseps major</i>	16
<i>Incilius alvarius</i>	142
<i>Lithobates forreri</i>	105
<i>Pseudacris cadaverina</i>	88
Reptiles	
<i>Aspidoscelis hyperythra</i>	180
<i>Crotalus cerastes</i>	346
<i>Crotalus tigris</i>	141
<i>Crotaphytus dickersonae</i>	27
<i>Ctenosaura pectinata</i>	311
<i>Eridiphas slevini</i>	22
<i>Masticophis bilineatus</i>	275
<i>Petrosaurus thalassinus</i>	162
<i>Phyllodactylus homolepidurus</i>	59
<i>Phyllodactylus unctus</i>	169
<i>Phyllodactylus xanti</i>	267
<i>Phyllorhynchus decurtatus</i>	712
Aves	
<i>Egretta rufescens</i>	3307
<i>Pelecanus occidentalis</i>	11880
<i>Ptychoramphus aleuticus</i>	38
<i>Sula leucogaster</i>	327
<i>Sula nebouxii</i>	520

ESPECIES	No. de registros
<i>Sula sula</i>	30
<i>Synthliboramphus craveri</i>	103
Mamíferos	
<i>Chaetodipus arenarius</i>	291
<i>Chaetodipus baileyi</i>	289
<i>Chaetodipus penicillatus</i>	489
<i>Lepus alleni</i>	168
<i>Myotis vivesi</i>	38
<i>Neotoma lepida</i>	647
<i>Peromyscus eva</i>	124
<i>Peromyscus merriami</i>	151
<i>Reithrodontomys spectabilis</i>	11
<i>Spermophilus tereticaudus</i>	181
Plantas	
<i>Bunchosia palmeri</i>	146
<i>Chiococca alba</i>	267
<i>Carlowrightia arizonica</i>	1026
<i>Dalea carthagenensis</i>	85
<i>Echites yucatanensis</i>	165
<i>Elaeodendron trichotomum</i>	72
<i>Hofmeisteria fasciculata</i>	103
<i>Melicoccus olivaeformis</i>	353
<i>Myriocarpa longipes</i>	310
<i>Opuntia karwinskiana</i>	68
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	198

4.1 Variables ambientales relevantes para las especies

El análisis para determinar la importancia de las variables ambientales para cada especie mostró resultados interesantes. De las cinco variables que fueron relevantes para un mayor número de especies, dos fueron de temperatura y tres fueron de precipitación: (1) estacionalidad de la temperatura (Bio4; 38 spp), (2) precipitación del trimestre más caliente (Bio18; 34 spp), (3) precipitación anual (Bio12; 33 spp), (4) estacionalidad de la precipitación (Bio15, 32 spp) y temperatura media del trimestre más seco (Bio9; 31 spp). Por el contrario, la variable que fue importante para un menor número de especies fue la temperatura media del trimestre más cálido (Bio10; 11 spp) (Cuadro 2).

Cuadro 4-2. Variables ambientales relevantes para las especies analizadas. Nomenclatura: Bio1-Temperatura media anual; Bio2-Intervalo diurno medio de la temperatura; Bio3-Isotermalidad; Bio4-Estacionalidad de la temperatura; Bio5-Temperatura máxima del mes más cálido; Bio6-Temperatura mínima del mes más frío; Bio7-Intervalo anual de la temperatura; Bio8-Temperatura media del trimestre más húmedo; Bio9-Temperatura media 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 trimestre más seco; Bio18-Precipitación del trimestre más cálido; Bio19-Precipitación del trimestre más frío.

Especie	Variables Bioclimáticas																		
	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio5	Bio6	Bio7	Bio8	Bio9	Bio10	Bio11	Bio12	Bio13	Bio14	Bio15	Bio16	Bio17	Bio18	Bio19
ANFIBIOS																			
<i>Anaxyrus californicus</i>								1	1				1		1			1	1
<i>Aneides lugubris</i>		1				1		1	1				1		1		1	1	
<i>Batrachoseps major</i>							1	1						1				1	1
<i>Incilius alvarius</i>			1	1	1	1			1	1		1			1	1			1
<i>Lithobates forreri</i>				1	1				1	1		1			1	1	1	1	1
<i>Pseudacris cadaverina</i>	1	1		1				1	1				1	1	1			1	
REPTILES																			
<i>Aspidoscelis hyperythra</i>	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Crotalus cerastes</i>	1	1	1	1				1		1		1	1	1	1			1	1
<i>Crotalus tigris</i>		1	1	1	1	1			1					1				1	1
<i>Crotaphytus dickersonae</i>				1				1				1				1			
<i>Ctenosaura pectinata</i>		1	1	1	1	1	1	1				1	1		1		1	1	
<i>Eridiphas slevini</i>				1								1			1	1			1
<i>Masticophis bilineatus</i>	1		1	1				1	1	1		1	1	1	1		1	1	1
<i>Petrosaurus thalassinus</i>		1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		1		1	1	
<i>Phyllodactylus homolepidurus</i>		1						1	1	1			1	1	1	1	1	1	1
<i>Phyllodactylus unctus</i>	1	1	1	1				1				1		1		1	1	1	
<i>Phyllodactylus xanti</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1	1	1	1
<i>Phyllorhynchus decurtatus</i>	1		1	1	1	1	1		1			1	1	1	1		1	1	1
AVES																			
<i>Egretta rufescens</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1		1	1
<i>Pelecanus occidentalis</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1				1	1
<i>Ptychoramphus aleuticus</i>			1	1								1					1	1	1
<i>Sula sula</i>								1	1			1		1	1			1	1
<i>Sula leucogaster</i>		1	1	1	1			1	1			1	1	1	1			1	1
<i>Sula neboxii</i>	1	1						1		1	1		1	1	1	1		1	1
<i>Synthliboramphus craveri</i>				1	1			1	1	1		1						1	1
MAMÍFEROS																			
<i>Chaetodipus arenarius</i>	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Chaetodipus baileyi</i>		1		1					1	1	1	1		1	1	1	1		1
<i>Chaetodipus penicillatus</i>	1	1	1	1	1			1	1			1	1			1	1		1
<i>Lepus alleni</i>			1	1			1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Myotis vivesi</i>				1				1		1		1	1			1			1
<i>Neotoma lepida</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1			1	1	1
<i>Peromyscus eva</i>	1	1	1	1	1	1						1	1		1	1	1	1	1
<i>Peromyscus merriami</i>	1	1	1	1				1	1	1		1					1	1	1
<i>Reithrodontomys spectabilis</i>				1				1	1	1				1			1		1
<i>Spermophilus tereticaudus</i>	1	1	1	1	1	1			1						1	1	1	1	1
PLANTAS																			
<i>Bunchosia palmeri</i>				1				1		1	1	1			1	1	1	1	1
<i>Carlowrightia arizonica</i>		1	1		1			1	1	1	1	1			1	1	1	1	1
<i>Chiococca alba</i>	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1	1		1	1
<i>Dalea carthagenensis</i>		1	1	1				1		1		1	1	1		1	1	1	1
<i>Echites yucatanensis</i>	1		1	1				1	1			1	1				1	1	1
<i>Elaeodendron trichotomum</i>		1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1			1
<i>Hofmeisteria fasciculata</i>	1		1	1				1	1						1		1	1	1
<i>Melicoccus olivaeformis</i>	1	1	1					1	1			1	1	1					1
<i>Myriocarpa longipes</i>		1	1	1				1	1		1	1	1	1	1	1		1	1
<i>Opuntia karwinskiana</i>		1		1								1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>			1	1				1	1		1	1			1	1	1	1	1

Especie	Variables Bioclimáticas																		
	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio5	Bio6	Bio7	Bio8	Bio9	Bio10	Bio11	Bio12	Bio13	Bio14	Bio15	Bio16	Bio17	Bio18	Bio19
ANFIBIOS																			
<i>Anaxyrus californicus</i>								1	1				1		1			1	1
<i>Aneides lugubris</i>		1				1		1	1					1		1		1	1
<i>Batrachoseps major</i>								1	1					1					1
<i>Incilius alvarius</i>				1	1	1	1		1	1				1	1				1
<i>Lithobates forreri</i>				1	1				1	1		1			1		1	1	1
<i>Pseudacris adaverina</i>	1	1		1					1	1				1	1	1			1
REPTILES																			
<i>Aspidoscelis hyperythra</i>	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1
<i>Crotalus cerastes</i>	1	1	1	1				1		1		1	1	1		1			1
<i>Crotalus tigris</i>			1	1	1	1			1					1					1
<i>Crotaphytus dickersonae</i>					1				1				1				1		
<i>Ctenosaura pectinata</i>			1	1	1	1	1	1	1				1	1		1		1	1
<i>Eridiphasis levinii</i>					1								1			1			1
<i>Masticophis lateralis</i>	1		1	1				1	1	1		1	1	1	1	1		1	1
<i>Petrosaurus halassinus</i>			1	1	1	1	1	1	1				1	1		1		1	1
<i>Phyllodactylus homolepidurus</i>			1					1	1	1			1	1		1		1	1
<i>Phyllodactylus sanctus</i>	1	1	1	1				1				1	1	1	1		1	1	1
<i>Phyllodactylus xanti</i>	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1
<i>Phyllorhynchus decurtatus</i>	1		1	1	1	1	1		1			1	1	1	1	1		1	1
AVES																			
<i>Egretta tricolor</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		1	1	1		1
<i>Pelecanus occidentalis</i>		1	1	1	1	1	1	1	1	1			1		1				1
<i>Ptychoramphus aleuticus</i>				1	1								1					1	1
<i>Sula sula</i>								1	1				1		1				1
<i>Sula leucogaster</i>			1	1	1	1		1	1				1	1	1	1		1	1
<i>Sula nebouxi</i>	1	1						1	1	1			1		1	1	1	1	1
<i>Synthliboramphus roveri</i>				1	1			1	1	1			1					1	1
MAMIFEROS																			
<i>Chaetodipus arenarius</i>	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Chaetodipus baileyi</i>		1		1					1	1	1	1		1	1	1	1		1
<i>Chaetodipus penicillatus</i>	1	1	1	1	1			1	1		1	1				1			1
<i>Lepus alleni</i>			1	1		1	1		1	1		1	1	1	1	1	1		1
<i>Myotis vivesi</i>				1				1	1			1	1			1			1
<i>Neotoma lepida</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1			1	1	1
<i>Peromyscus truei</i>	1	1	1	1	1	1					1	1		1	1	1	1	1	1
<i>Peromyscus merriami</i>	1	1	1	1				1	1	1		1						1	1
<i>Reithrodontomys spectabilis</i>				1				1	1	1				1				1	1
<i>Spermophilus tereticaudus</i>	1	1	1	1	1	1			1						1	1	1	1	1
PLANTAS																			
<i>Bunchosia almeri</i>				1				1		1		1	1		1	1	1	1	1
<i>Carlwrightia arizonica</i>		1	1		1			1	1	1	1	1			1	1	1		1
<i>Chiococca lba</i>	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1			1	1		1	1
<i>Dalea arthagenensis</i>		1	1	1				1	1		1	1	1	1		1		1	1
<i>Echites yucatanensis</i>	1		1	1		1	1			1	1	1	1	1				1	1
<i>Elaeodendron richotomum</i>		1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1			1
<i>Hofmeisteria fasciculata</i>	1		1	1		1		1	1						1			1	1
<i>Melicoccus livaeformis</i>	1	1	1		1	1		1		1	1	1	1	1					
<i>Myriocarpa longipes</i>		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1			1	1
<i>Opuntia arwinskiana</i>		1		1	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>			1	1				1	1		1	1			1	1		1	1

4.2 Selección de algoritmos

La prueba piloto con las 6 especies seleccionadas para determinar los algoritmos de mejor desempeño, indicaron que, con base en las pruebas de tasa de omisión y ROC parcial, además del juicio de expertos, no hay un solo algoritmo que funcionara mejor para todas las especies ni tampoco bajo las dos métricas de desempeño. Por ejemplo, MaxEnt obtuvo relativamente buen desempeño según la prueba de tasa de omisión (Fig. 1), pero bajo desempeño de acuerdo a la prueba de ROC parcial (Fig. 2). Ponderando los resultados de las pruebas de desempeño y los mapas resultantes, los algoritmos de desempeño más consistente fueron: Generalised Boosting Model (GBM), Generalised Linear Models (GLM) y Multiple Adaptive Regression Splines (MARS).

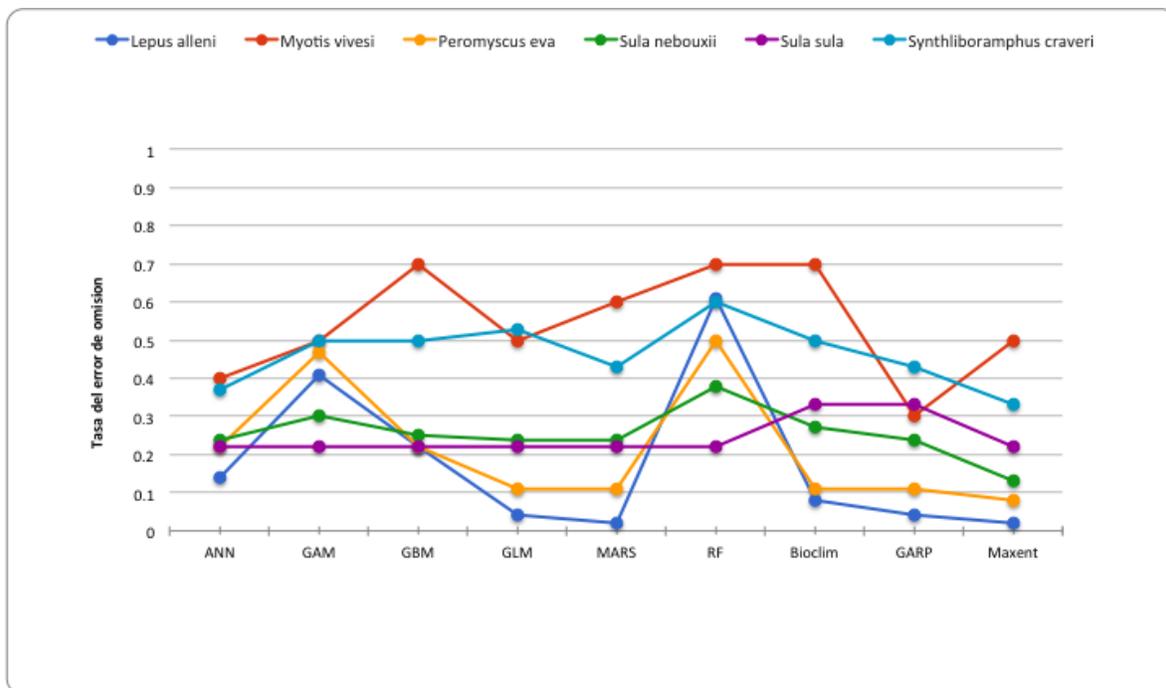


Figura 4-1. Prueba de la tasa de omisión para medir el desempeño de los 9 algoritmos usados en las 6 especies como prueba piloto.

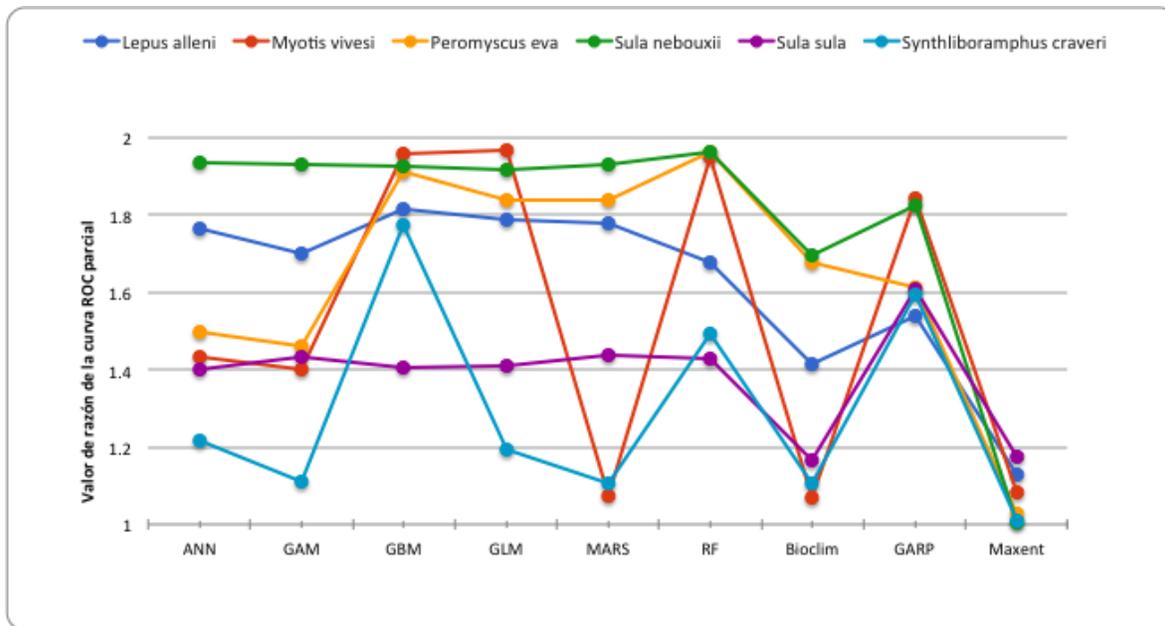


Figura 4-2. Prueba de ROC parcial para medir el desempeño de los 9 algoritmos usados en las 6 especies como prueba piloto.

4.3 Validación de los modelos

Las pruebas de validación para la mayoría de las especies fueron satisfactorias, ya que los valores de omisión se mantuvieron por debajo de 0.1 y los de TSS por arriba de 0.75 (Cuadro 3). Los modelos de las especies que manifestaron bajo desempeño fueron: la salamandra *Aneides lugubris*, la culebra *Eridiphas slevini* y las plantas *Dalea carthagenensis* y *Chiococca alba* (Cuadro 3). Por ello, se recomienda cautela en la interpretación de los resultados para estas especies en particular.

Cuadro 4-3. Pruebas de validación TSS y tasa de omisión de los modelos de nicho para las especies analizadas y los tres algoritmos de modelación utilizados.

	GBM		GLM		MARS		
	TSS	Omisión	TSS	Omisión	TSS	Omisión	
Anfibios	<i>Anaxyrus californicus</i>	0.99	0.90	0.98	0.00	0.85	0.99
	<i>Aneides lugubris</i>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	1.00
	<i>Batrachoseps major</i>	1.00	0.00	0.99	0.00	1.00	0.00
	<i>Incilius alvarius</i>	0.91	0.02	0.88	0.02	0.90	0.05
	<i>Lithobates forreri</i>	0.85	0.03	0.85	0.03	0.83	0.03
	<i>Pseudacris cadaverina</i>	0.97	0.00	0.86	0.04	0.97	0.00
Reptiles	<i>Aspidoscelis hyperythra</i>	0.93	0.00	0.85	0.10	88.10	0.06
	<i>Crotalus cerastes</i>	0.84	0.00	0.84	0.07	0.84	0.03
	<i>Crotalus tigris</i>	0.81	0.12	0.84	0.07	0.84	0.05
	<i>Crotaphytus dickersonae</i>	0.99	0.00	0.99	0.00	0.99	0.00
	<i>Ctenosaura pectinata</i>	0.86	0.03	0.85	0.03	0.82	0.02
	<i>Eridiphas slevini</i>	0.65	0.33	0.96	0.00	0.50	0.50
	<i>Masticophis bilineatus</i>	0.82	0.01	0.75	0.09	0.75	0.06
	<i>Petrosaurus thalassinus</i>	0.92	0.04	0.84	0.13	0.95	0.00
	<i>Phyllodactylus homolepidurus</i>	0.92	0.06	0.91	0.06	0.90	0.06
	<i>Phyllodactylus unctus</i>	0.99	0.00	0.97	0.02	0.99	0.00
<i>Phyllodactylus xanti</i>	0.88	0.03	0.89	0.05	0.87	0.07	
<i>Phyllorhynchus decurtatus</i>	0.87	0.02	0.87	0.03	0.87	0.03	
Aves	<i>Egretta rufescens</i>	0.88	0.01	0.86	0.04	0.87	0.04
	<i>Pelecanus occidentalis</i>	0.87	0.03	0.86	0.05	0.85	0.04
	<i>Ptychoramphus aleuticus</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
	<i>Sula sula</i>	0.97	0.00	0.97	0.00	0.57	0.43
	<i>Sula leucogaster</i>	0.94	0.01	0.95	0.01	0.94	0.01
	<i>Sula neboxii</i>	0.93	0.02	0.94	0.02	0.94	0.01
	<i>Synthliboramphus craveri</i>	0.95	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00
Mamíferos	<i>Chaetodipus arenarius</i>	0.94	0.01	0.86	0.09	0.95	0.00
	<i>Chaetodipus baileyi</i>	0.88	0.00	0.81	0.01	0.88	0.00
	<i>Chaetodipus penicillatus</i>	0.86	0.02	0.87	0.00	0.86	0.01
	<i>Lepus alleni</i>	0.85	0.06	0.87	0.02	0.86	0.02
	<i>Myotis vivesi</i>	0.99	0.00	1.00	0.00	0.99	0.00
	<i>Neotoma lepida</i>	0.88	0.01	0.88	0.04	0.90	0.01
	<i>Peromyscus eva</i>	0.95	0.03	0.95	0.00	0.97	0.00
	<i>Peromyscus merriami</i>	0.86	0.07	0.85	0.04	0.88	0.04
	<i>Reithrodontomys spectabilis</i>	1.00	0.00	0.99	0.00	1.00	0.00
<i>Spermophilus tereticaudus</i>	0.89	0.02	0.88	0.02	0.87	0.02	
Plantas	<i>Bunchosia palmeri</i>	0.87	0.05	0.84	0.02	0.83	0.02
	<i>Carlwrightia arizonica</i>	0.80	0.04	0.76	0.11	0.76	0.03
	<i>Chiococca alba</i>	0.69	0.08	0.66	0.14	0.65	0.06
	<i>Dalea carthagenensis</i>	0.66	0.04	0.69	0.04	0.67	0.12
	<i>Echites yucatanensis</i>	0.89	0.04	0.83	0.08	0.86	0.08
	<i>Elaeodendron trichotomum</i>	0.76	0.05	0.75	0.10	0.81	0.14
	<i>Hofmeisteria fasciculata</i>	0.97	0.00	0.84	0.10	0.97	0.00
	<i>Melicoccus olivaeformis</i>	0.90	0.04	0.91	0.03	0.92	0.02
	<i>Myriocarpa longipes</i>	0.83	0.06	0.80	0.11	0.82	0.04
	<i>Opuntia karwinskiana</i>	0.85	0.10	0.83	0.10	0.84	0.10
	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	0.83	0.03	0.81	0.07	0.80	0.08

		GBM		GLM		MARS	
		TSS	Omisión	TSS	Omisión	TSS	Omisión
Anfibios	<i>Anaxyrus californicus</i>	0.99	0.90	0.98	0.00	0.85	0.99
	<i>Aneides lugubris</i>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	1.00
	<i>Batrachoseps major</i>	1.00	0.00	0.99	0.00	1.00	0.00
	<i>Incilius alvarius</i>	0.91	0.02	0.88	0.02	0.90	0.05
	<i>Lithobates forreri</i>	0.85	0.03	0.85	0.03	0.83	0.03
	<i>Pseudacris cadaverina</i>	0.97	0.00	0.86	0.04	0.97	0.00
Reptiles	<i>Aspidoscelis hyperythra</i>	0.93	0.00	0.85	0.10	88.10	0.06
	<i>Crotalus terastes</i>	0.84	0.00	0.84	0.07	0.84	0.03
	<i>Crotalus tigris</i>	0.81	0.12	0.84	0.07	0.84	0.05
	<i>Crotaphytus dickersonae</i>	0.99	0.00	0.99	0.00	0.99	0.00
	<i>Ctenosaura pectinata</i>	0.86	0.03	0.85	0.03	0.82	0.02
	<i>Eridiphasis levinii</i>	0.65	0.33	0.96	0.00	0.50	0.50
	<i>Masticophis bilineatus</i>	0.82	0.01	0.75	0.09	0.75	0.06
	<i>Petrosaurus halassinus</i>	0.92	0.04	0.84	0.13	0.95	0.00
	<i>Phyllodactylus homolepidurus</i>	0.92	0.06	0.91	0.06	0.90	0.06
	<i>Phyllodactylus punctus</i>	0.99	0.00	0.97	0.02	0.99	0.00
	<i>Phyllodactylus xanti</i>	0.88	0.03	0.89	0.05	0.87	0.07
	<i>Phyllorhynchus securtatus</i>	0.87	0.02	0.87	0.03	0.87	0.03
Aves	<i>Egretta trufescens</i>	0.88	0.01	0.86	0.04	0.87	0.04
	<i>Pelecanus occidentalis</i>	0.87	0.03	0.86	0.05	0.85	0.04
	<i>Ptychoramphus aleuticus</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
	<i>Sula sula</i>	0.97	0.00	0.97	0.00	0.57	0.43
	<i>Sula leucogaster</i>	0.94	0.01	0.95	0.01	0.94	0.01
	<i>Sula nebouxi</i>	0.93	0.02	0.94	0.02	0.94	0.01
	<i>Synthliboramphus traverii</i>	0.95	0.00	0.98	0.00	0.98	0.00
Mamíferos	<i>Chaetodipus arenarius</i>	0.94	0.01	0.86	0.09	0.95	0.00
	<i>Chaetodipus baileyi</i>	0.88	0.00	0.81	0.01	0.88	0.00
	<i>Chaetodipus penicillatus</i>	0.86	0.02	0.87	0.00	0.86	0.01
	<i>Lepus alleni</i>	0.85	0.06	0.87	0.02	0.86	0.02
	<i>Myotis vivesi</i>	0.99	0.00	1.00	0.00	0.99	0.00
	<i>Neotoma lepida</i>	0.88	0.01	0.88	0.04	0.90	0.01
	<i>Peromyscus leva</i>	0.95	0.03	0.95	0.00	0.97	0.00
	<i>Peromyscus merriami</i>	0.86	0.07	0.85	0.04	0.88	0.04
	<i>Reithrodontomys spectabilis</i>	1.00	0.00	0.99	0.00	1.00	0.00
	<i>Spermophilus tereticaudus</i>	0.89	0.02	0.88	0.02	0.87	0.02
Plantas	<i>Bunchosia palmeri</i>	0.87	0.05	0.84	0.02	0.83	0.02
	<i>Carlowrightia arizonica</i>	0.80	0.04	0.76	0.11	0.76	0.03
	<i>Chiococca alba</i>	0.69	0.08	0.66	0.14	0.65	0.06
	<i>Dalea arthagenensis</i>	0.66	0.04	0.69	0.04	0.67	0.12
	<i>Echites yucatanensis</i>	0.89	0.04	0.83	0.08	0.86	0.08
	<i>Elaeodendron trichotomum</i>	0.76	0.05	0.75	0.10	0.81	0.14
	<i>Hofmeisteria fasciculata</i>	0.97	0.00	0.84	0.10	0.97	0.00
	<i>Melicoccus livaeformis</i>	0.90	0.04	0.91	0.03	0.92	0.02
	<i>Myriocarpa longipes</i>	0.83	0.06	0.80	0.11	0.82	0.04
	<i>Opuntia karwinskiana</i>	0.85	0.10	0.83	0.10	0.84	0.10
	<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	0.83	0.03	0.81	0.07	0.80	0.08

4.4 Modelos de distribución actual y futura

Los modelos de distribución presente y al futuro permiten observar algunos patrones generales. En primer lugar, en todos los grupos taxonómicos hay algunas especies que muestran aumentos y otras que muestran reducciones en las áreas de distribución potencial futura bajo cualquiera de los escenarios. En anfibios, cuatro de las 6 especies tienden a perder área de distribución potencial al futuro. En particular, los diversos escenarios futuros para la salamandra *Aneides lugubris* muestran una pérdida de entre 27 y 99% de su distribución potencial actual y para la rana *Pseudacris cadaverina* las reducciones van de 29 a 96%, dependiendo del escenario (Fig. 3). Por otro lado, dos especies tienden a aumentar su área de distribución al futuro: el sapo *Incilius alvarius* presenta aumentos que van del 31 al 186%, dependiendo del escenario, mientras que para *Lithobates forreri* los aumentos fueron más modestos, del 3 al 31% (Fig. 3).

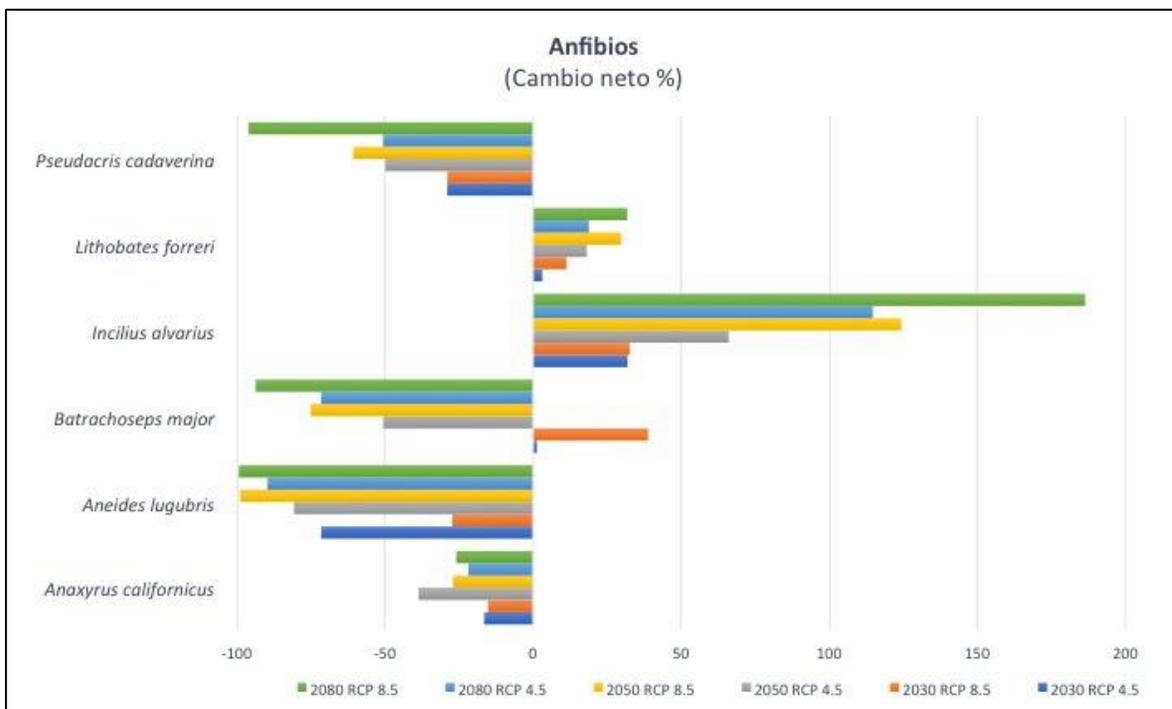
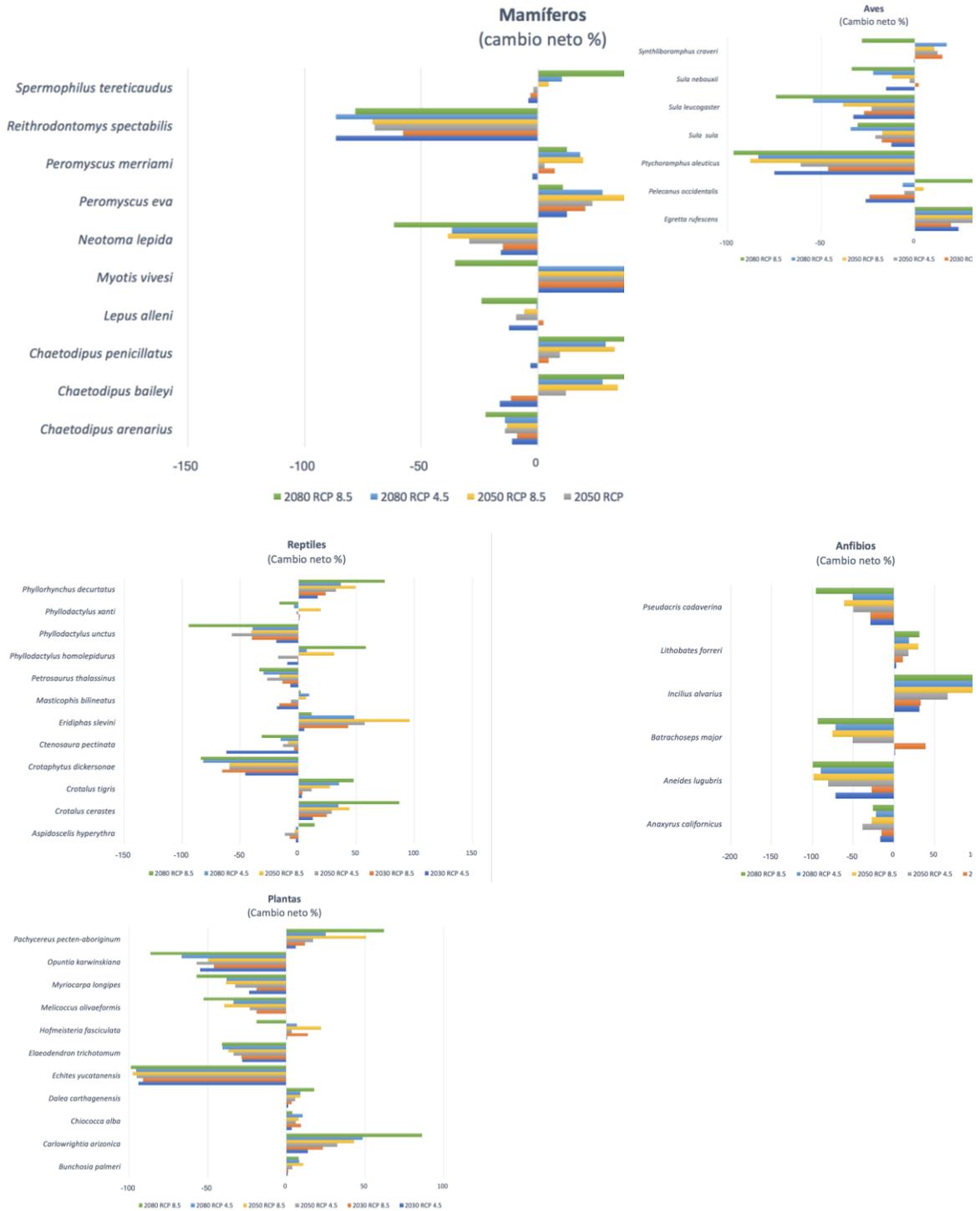


Figura 4-3. Cambio neto en la proporción del área de distribución potencial en escenarios futuros con respecto al presente para las especies de anfibios.

En el caso de los reptiles, de las 12 especies estudiadas, 5 tienden a perder área de distribución potencial hacia el futuro, 4 tienden a ganar y 3 (los geckos *Phyllodactylus xanti*, *P. homolepiduris* y la serpiente *Masticophis bilineatus*) muestran patrones inconsistentes, es decir, bajo algunos escenarios ganan y bajo otros pierden (Fig. 4). De las especies que potencialmente se podrían ver más desfavorecidas, la lagartija *Crotaphytus dickersonae* y el gecko *Phyllodactylus unicus* son las que en general pierden más área de distribución potencial, con reducciones de entre 46 y 85% y 19 y 94%, respectivamente, con respecto a su distribución potencial actual (Fig. 4). Las especies favorecidas por el cambio climático serían las serpientes *Eridiphas sehvi*, *Crotalus cerastes* y

Phyllorhynchus decurtatus con aumentos de 5 a 96%, de 24 a 87% y de 16 a 74%, respectivamente, con respecto a su área de distribución potencial actual (Fig. 4).

Figura 4-4: Cambio neto en la distribución potencial de las 46 especies evaluadas en este estudio.



5. Entregables

5.1 Listado de especies y registros de presencia

Las localidades revisadas de las especies se entregan en archivos separados por grupos y guardadas en formato plano delimitado por comas (.csv). Son cinco archivos: *Anfibios.csv*, *Aves.csv*, *Mamíferos.csv*, *Reptiles.csv* y *Plantas.csv*. Están ubicados en la carpeta: Registros de presencias por grupo. En el siguiente cuadro se presenta el número de registros únicos por especie.

5.2 Mapas de distribución potencial presente y futura

Los mapas de distribución potencial para el presente y los diferentes escenarios al futuro de las 46 especies se entregan en cinco carpetas separadas por grupo: Anfibios, Aves, Mamíferos, Reptiles y Plantas. Los archivos dentro de cada carpeta presentan la siguiente información para cada especie:

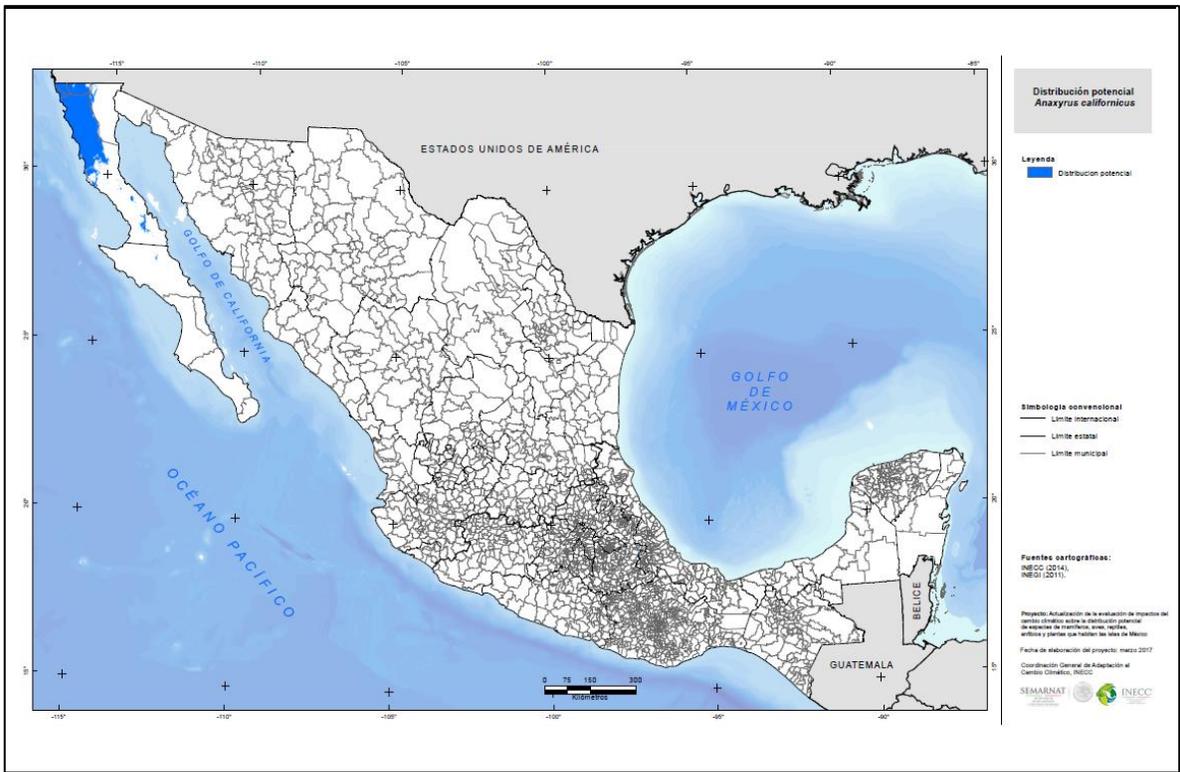
- i. Mapa de distribución potencial para el presente en formato raster (TIF)
- ii. Metadato del mapa de distribución potencial según la Norma Técnica para la Elaboración de Metadatos Geográficos” (INEGI, 2010), en los formatos html, xml y txt.
- iii. Mapa temático en formato PDF, JPG, y MXD

Los archivos de cada especie se identifican con el nombre científico de la especie (Género y especie), se presenta un ejemplo de los 7 archivos principales que corresponde a cada especie:

1. *Anaxyrus_californicus.tif* (mapa de distribución potencial en formato raster)
2. *Anaxyrus_californicus.pdf* (mapa temático)
3. *Anaxyrus_californicus.jpg* (mapa temático)
4. *Anaxyrus_californicus.mxd* (cartografía)
5. *Anaxyrus_californicus.html* (metadato)
6. *Anaxyrus_californicus.xml* (metadato)
7. *Anaxyrus_californicus.txt* (metadato)

Para la captura de metadatos se utilizó el Sistema de Captura de Metadatos (SICAM), cliente - servidor, versión 1.0 – Actualizado el 18 de mayo de 2016. Descargado de la página de internet: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/metadatos/aplicaciones_conversion.aspx. Los archivos que se utilizaron para los mapas temáticos se anexan en las carpetas “1Shape_basicos” y “6Logos”. A continuación se presenta un ejemplo de lo mapas temáticos generados para cada especie.

Figura 5-1. Distribución potencial en de *Anaxyrus californicus*



6. Referencias Bibliográficas

- Aguirre-Muñoz, A., D. A. Croll, C. J. Donlan, R. W. Henry III, M. A. Hermosillo, G. R. Howald, B. S. Keitt, L. Luna-Mendoza, M. Rodríguez-Malagón & L. M. Salas-Flores. 2008. High-impact conservation: invasive mammal eradications from the islands of western Mexico. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* **37**:101-107.
- Aguirre Muñoz, A., J. Bezaury Creel, H. De la Cueva, I. March Mifust & E. Peters Recagno. 2009. Islas de México. Un recurso estratégico. INECC, SEMARNAT, The Nature Conservancy, Conservación de Islas, CICESE.
- Allouche, O., A. Tsoar, & R. Kadmon. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, 43(6), 1223-1232.
- BirdLife International (BI) & NatureServe (NS). 2015. *Bird species distribution maps of the world*. BirdLife International, Cambridge, UK and NatureServe, Arlington, USA.
- Buisson L., Thuiller W., Casajus N., Lek S. & Grenouillet, G. 2010. Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. *Global Change Biology* 16: 1145-1157.
- Castro-Franco, R, & G. Gaviño. 1990. Reptiles de la isla La Peña, Nayarit, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM. Serie Zoología* 61: 175-187.
- Cavazos, T., J. A. Salinas, B. Martínez, G. Colorado, P. De Grau, R. Prieto González, A. C. Conde Álvarez, A. Quintanar Isaías, J. S. Santana Sepúlveda, R. Romero Centeno, M. E. Maya Magaña, J. G. Rosario De La Cruz, Ma. Del R. Ayala Enríquez, H. Carrillo Tlazazanatza, O. Santiesteban Y M. E. Bravo. 2013. Actualización De Escenarios De Cambio Climático Para México Como Parte De Los Productos De La Quinta Comunicación Nacional. Informe Final Del Proyecto Al Inecc, 150 Pp. Con Resultados Disponibles En: [Http://Escenarios.Inecc.Gob.Mx/Index2.Html](http://Escenarios.Inecc.Gob.Mx/Index2.Html)
- Ceballos, G. and Oliva, G., 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2016. *Biodiversidad Mexicana*. www.biodiversidad.gob.mx.
- Fielding, A.H. & J.F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.
- Flores-Villela, O. 1993. Herpetofauna Mexicana: Lista anotada de las especies de anfibios y reptiles de México, cambios taxonómicos recientes, y nuevas especies. *Carnegie Museum of Natural History. Special Publication* 17: 1-73.

Grismer, L. 1999. Checklist of Amphibians and Reptiles on Islands in the Gulf of California, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences* 98: 45-56.

Grismer, L.L. 2002. *Amphibians and reptiles of Baja California, including its Pacific islands and the islands in the Sea of Cortés*. Vol. 4. University of California Press. Berkely and Los Angeles, USA.

Guzmán, U., S. Arias & P. Dávila. 2003. Catálogo de cactáceas mexicanas. CONABIO-UNAM. México, D.F.

Harter, D.E., S.D. Irl, B. Seo, M.J. Steinbauer, R. Gillespie, K.A. Triantis & C. Beierkuhnlein. 2015. Impacts of global climate change on the floras of oceanic islands—Projections, implications and current knowledge. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 17(2): 160-183.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25(15): 1965-1978.

Hijmans, R. J., S. Phillips, J. Leathwick, & J. Elith. 2015. dismo: Species distribution modeling. R package version 1.0-12. The R Foundation for Statistical Computing, Vienna <http://cran.r-project.org>.

Huntley, B., Collingham, Y.C., Willis, S.G. & Green, R. E. 2008. Potential impacts of climate change on European breeding birds. *PlosOne* 3: e1439.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 2010. Norma Técnica para la elaboración de Metadatos Geográficos (NTM). Diario Oficial de la Federación.

Jeschke, J.M. & D.L. Strayer. 2008. Usefulness of bioclimatic models for studying climate change and invasive species. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1134 (1): 1-24.

Kays, R.W. & D.E. Wilson. 2009. *Mammals of North America*. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Parmesan, C., & G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421 (6918): 37-42.

Peterson, A.T. Ortega-Huerta, M.A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J. & Buddemeier, R.H. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416: 626-629.

Peterson, A.T., M. Papes & J. Soberón. 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* 213(1): 63-72.

Peterson, A.T., J. Soberón, R.G. Pearson, R.P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura & M.B. Araújo. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Monographs in Population Biology. Princeton University Press, Princeton, N.J.

- Phillips, S.J. & Dudík, M. 2009. Modeling of species distributions with MaxEnt: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- Qiao, H., Soberón, J., & Peterson, A.T. 2015. No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution* 6(10): 1126-1136.
- Rocchini, D., J. Hortal, S. Lengyel, J.M. Lobo, A. Jiménez-Valverde, C. Ricotta & A. Chiarucci. 2011. Accounting for uncertainty when mapping species distributions: the need for maps of ignorance. *Progress in Physical Geography* 35(2), 211-226.
- Stockwell, D.R.B. & Peters, D.P. 1999. The GARP modelling system: Problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Systems* 13: 143-158.
- Team, R. C. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., Sykes, M.T. & Prentice, I.C. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 8245-8250.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. & Araújo, M.B., 2009. BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32(3): 369-373.
- Wilson, D.E. & S. Ruff. 1999. *The Smithsonian book of North American mammals*. Smithsonian Institute, Washington, USA.



Plataforma de colaboración sobre
**CAMBIO CLIMÁTICO
Y CRECIMIENTO VERDE**
entre Canadá y México

Este documento fue desarrollado en el marco de la Plataforma de
Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y
México, todos los derechos reservados

Derechos reservados © 2018
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
Montes Urales 440, Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CDMX C.P. 11000
www.mx.undp.org

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Blvd. Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CDMX CP. 14210
www.gob.mx/inecc



Environment
Canada

Environnement
Canada

SEMARNAT
SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA
Y CAMBIO CLIMÁTICO



Al servicio
de las personas
y las naciones