



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Evaluación de vulnerabilidad de mamíferos enlistados
como prioritarios ante condiciones de cambio climático.**

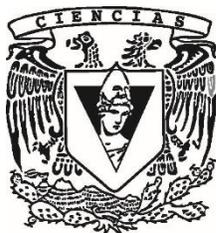
T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

GABRIELA MERCEDES RAMIREZ BARRON



**TUTORA:
DRA. CAROLINA URETA SÁNCHEZ**



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.

1. Datos del alumno.

Ramírez

Barrón

Gabriela

Mercedes

55 16 95 84 79

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

310210924

2. Datos del tutor

Dra.

Carolina

Ureta

Sánchez

3. Datos del sinodal 1

Dr.

Fernando Alfredo

Cervantes

Reza

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Angela Patricia

Cuervo

Robayo

5. Datos del sinodal 3

Dr.

Constantino

González

Salazar

6. Datos del sinodal 4

Dr.

Alejandro

Ismael

Monterroso

Rivas

7. Datos del trabajo escrito

Evaluación de vulnerabilidad de mamíferos enlistados como prioritarios ante condiciones de cambio climático

92 p.

2018

Agradecimientos oficiales

Principalmente a mi asesora la Dra. Carolina Ureta Sánchez, que me apoyo y dirigió en la elaboración de este proyecto de investigación.

Al Dr. Fernando Alfredo Cervantes Reza, por su asesoría como experto en mamíferos.

Quiero agradecer a la Dra. María Elena Álvarez-Buylla y al laboratorio de Genética Molecular, Desarrollo y Evolución de Plantas por la beca CONACYT otorgada del proyecto 687 para realizar este proyecto de investigación.

Esta tesis se llevó a cabo dentro del taller: "Ecología Terrestre y Manejo de Recursos Bióticos" de la Facultad de Ciencias, UNAM, bajo la asesoría de los profesores: Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez, Dr. Zenón Cano Santana, M. en C. Iván Castellanos Vargas, M. en C. Irene Pisanty Baruch, Dra. Mónica Elisa Quejeiro Bolaños, Dra. Mariana Hernández Apolinar, Dra. Joanne Peel, M. en C. Juan Carlos Flores Vázquez, M en C. Rosa Mancilla Ramírez y al Dr. Jordan Golubov.

A mis sinodales: Dra. Carolina Ureta Sánchez, Dr. Fernando Alfredo Cervantes Reza, Dra. Angela Patricia Cuervo Robayo, Dr. Constantino González Salazar y al Dr. Alejandro Ismael Monterroso Rivas, por sus comentarios que mejoraron bastante este trabajo.

Dedicatoria

A mi mamá Mercedes Amalia Barrón Villalobos quién me dio la fuerza para seguir
adelante y cumplir las metas que soñamos juntas.

A mi abuelo Manuel Barrón Farfán que me inspiró a amar la naturaleza y estuvo conmigo
hasta su último momento.

Ustedes siempre estarán en mis recuerdos más felices y en mi corazón.

A Carolina Ureta, una mujer a la cual admiro mucho.

Que no solo me apoyó en la elaboración de esta tesis, también a nivel personal, desde que
la conocí
se tomó el tiempo y la paciencia para orientarme.

A Edgar Andrés Sánchez García quién me ayudó la elaboración de los modelos de nicho
ecológico, por su tiempo, cariño y apoyo.

A Martín Alejandro Fuentes Cano por apoyarme, confiar en mí y siempre estar conmigo.

Índice

Introducción.....	8
Mamíferos prioritarios	10
Propuesta de índice de vulnerabilidad	12
Características biológicas de las especies.....	12
Modelado de nicho ecológico y cambio climático	13
Áreas Naturales Protegidas.....	16
Objetivo	18
Métodos	19
Área de estudio	19
Especies de estudio.....	20
<i>Antilocapra americana</i>	21
<i>Ateles geoffroyi</i>	22
<i>Alouatta pigra</i>	23
<i>Alouatta palliata</i>	25
<i>Canis lupus baileyi</i>	26
<i>Cynomys ludovicianus</i>	27
<i>Cynomys mexicanus</i>	28
<i>Panthera onca</i>	29
<i>Romerolagus diazi</i>	31
<i>Tayassu pecari ringens</i>	32
<i>Tapirus bairdii</i>	33
<i>Ursus americanus</i>	35
Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático.....	36
Características biológicas de los mamíferos prioritarios.....	37
Modelado de nicho ecológico.....	40
Empalme de escenarios modelados con Áreas Naturales Protegidas.....	44
Índice de vulnerabilidad	45
Resultados.....	47
Empalme de mapas de distribución potencial con Áreas Naturales Protegidas	56
Características biológicas de los mamíferos prioritarios.....	58
Índice de vulnerabilidad	59
Discusión	63
Especies con mayor vulnerabilidad al cambio climático.....	63
Especies con valores intermedios de vulnerabilidad al cambio climático.....	66
Especies con menor vulnerabilidad al cambio climático.....	69
Limitantes del índice de vulnerabilidad	72
Vulnerabilidad al cambio climático o vulnerabilidad a otros factores	72
Conclusiones.....	74
Literatura citada.....	76

Resumen

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales creó una lista de especies prioritarias, cuyo objetivo es la conservación y recuperación de las especies y sus hábitats. En esta lista existen diferentes grupos de vertebrados, pero en esta tesis en particular nos enfocamos en los mamíferos. México es uno de los países con mayor riqueza y endemismos de mamíferos en el mundo y aunque existen distintos estudios enfocados a su fisiología, taxonomía, fenología y reproducción, aún falta información que permita enfocar esfuerzos adecuadamente para su conservación bajo condiciones de cambio climático. Debido a que las especies no se adaptan fácilmente a cambios tan rápidos y drásticos, el cambio climático se ha considerado una amenaza importante. Por tanto, en este estudio proponemos aportar información a través de crear e implementar un índice de vulnerabilidad al cambio climático sobre doce mamíferos prioritarios ante escenarios de cambio climático. Este índice de vulnerabilidad toma en cuenta: a) La modelación de la distribución potencial en el presente y futuro, b) la obtención del porcentaje de área futura que cae dentro de Áreas Naturales Protegidas, y c) las características biológicas de las especies. Encontramos que las especies más vulnerables al cambio climático serán: *Cynomys mexicanus*, *Cynomys ludovicianus*, *Tayassu pecari ringens* y *Ursus americanus*, ya que su área de distribución futura se verá drásticamente reducida y no estará suficientemente protegida por las Áreas Naturales Protegidas de este país. Respecto a las características biológicas que las hacen más vulnerables al cambio climático, las cuatro especies muestran dependencia a algún detonador ambiental para llevar a cabo su ciclo de vida. Además *C. mexicanus*, *C. ludovicianus* y *T. pecari ringens* presentan poca versatilidad de hábitat, y *C. mexicanus* y

C. ludovicianus tienen una alimentación especializada. Otras especies en cambio mostraron aumento en el área de distribución potencial, como *Alouatta palliata*. Sin embargo, esta situación no necesariamente implica que esté fuera de peligro ya que las condiciones climáticas óptimas se modificarán espacialmente y su distribución quedará con solo el 2.66% en protección de ANP.

1. Introducción

El cambio climático por definición es una variación del clima que se suma a la variabilidad natural y cuya causa se relaciona con actividades antropogénicas que modifican la composición de la atmósfera (IPCC 2014). Estas actividades antropogénicas son principalmente la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo que aumentan la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera (SEMARNAT 2009). A pesar de que existen causas naturales que han propiciado cambios climáticos a lo largo de la historia de la Tierra (erupciones volcánicas, la tectónica de placas o cambios en la energía recibida del Sol) (INECC 2018); el cambio climático del que estamos siendo testigos en la actualidad se debe a causas antropogénicas. El cambio en el clima está sucediendo de manera abrupta y sin precedentes (Monroe 2013). lo que podría producir impactos irreversibles en la biodiversidad, ya que las especies no se adaptan tan fácilmente a cambios tan drásticos y rápidos (Cárdenas 2010). Se espera que el cambio climático afecte a todos los grupos de vertebrados, incluidos los mamíferos, que es uno de los grupos más carismáticos y de los que se tiene más información (Parmesan 2006).

Existen estudios de cambio climático y mamíferos desde una perspectiva fisiológica, fenológica, demográfica y ecológica. Por ejemplo, el estudio de fisiología de Cherry et al. (2008) nos indica que, debido al deshielo de los polos, los osos polares se han tenido que retirar de tierra firme sin haber completado sus reservas de grasa. Esta situación provoca que la hembra al no tener los suministros de alimento para sostenerse a sí misma, pierda la capacidad de quedar preñada. El estudio de fenología de McLean (1991) nos dice que el aumento de temperatura hará que las hembras gestantes del grupo de los mamíferos

presenten estrés térmico, lo que hará que algunas especies tengan una alta mortalidad embrionaria. Por otro lado, Laidre et al. (2008) en su estudio de demografía concluye que la composición de especies de mamíferos enfrentará significativas pérdidas en su riqueza de una magnitud sin precedentes en el tiempo geológico reciente, que no serán compensadas por la afluencia de recambio de especies. Otro estudio hecho por Trejo et al. (2011) sobre modelado de nicho ecológico aplicado a nueve zonas bioclimáticas de México y a 61 especies de mamíferos, indican que en general se prevé que para el 2050 casi la mitad de las especies analizadas perderán alrededor del 50% de su área de distribución, como resultado del impacto del cambio climático.

Para enfocar esfuerzos de conservación sobre un grupo de vertebrados como el de los mamíferos, es importante seguir generando información sobre posibles impactos para crear estrategias que amortigüen dichos impactos. Para saber dónde deben de localizarse los mayores esfuerzos, una alternativa es hacer estudios comparativos a través de índices de vulnerabilidad. Hasta el momento, existen diferentes propuestas de índices para evaluar la vulnerabilidad de las especies a los impactos del cambio climático (Gay et al. 2006; Conde-Álvarez et al. 2007; Young 2009). Entre ellos está el de Pearson et al. (2014) que analiza la importancia de usar diferentes variables para determinar la vulnerabilidad de las especies al cambio climático, y el de Foden et al. (2008) en donde se destaca la importancia de las características biológicas para identificar la vulnerabilidad de las especies. En el estudio de Pearson et al. (2014) indica la importancia de usar información demográfica, como el tamaño de la población, la tasa de crecimiento, la longitud de generación, la variabilidad de la tasa de vida, entre otras. A pesar de ello, no incorpora características biológicas que pueden proporcionar información muy relevante sobre la vulnerabilidad de las especies

frente al cambio climático. En cambio, Foden et al. (2008) toma en cuenta características biológicas que hacen susceptibles a las especies al cambio climático, como son: la especialización del hábitat, la tolerancia ambiental, la dependencia a señales ambientales, la dependencia a las interacciones interespecíficas y la dispersión. Sin embargo, no toma en cuenta qué tan protegida está y estará la especie en el futuro por áreas dedicadas a la conservación de la biodiversidad.

Obteniendo información de ambos índices, nosotros proponemos en esta tesis evaluar la vulnerabilidad de los mamíferos prioritarios ante el cambio climático mediante el uso de la información sobre las características biológicas que aumentan la susceptibilidad de una especie al cambio climático, creando mapas de distribución potencial presente y futura por especie mediante el modelado de nicho ecológico e incorporando la evaluación del porcentaje de área de distribución de cada especie dentro de un Área Natural Protegida (ANP).

1.1. Mamíferos prioritarios

En el 2014 el Diario Oficial de la Federación publicó el "Acuerdo de especies prioritarias para la conservación", en el cual la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la encargada de elaborar y publicar la lista de especies prioritarias para la conservación (LGVS 2011; CONABIO et al. 2012; SEMARNAT 2014). Dentro de los parámetros para enlistar a una especie como prioritaria se considera a especies bandera, clave, sombrilla o en riesgo con la finalidad de conservar procesos ecológicos, hábitats críticos y/o para obtener ventajas económicas (CONABIO et al. 2012; SEMARNAT 2014).

Las especies prioritarias dotan de estructura y funcionamiento a los ecosistemas. Es muy importante trabajar con ellas porque se consideran especies con mayor alcance geográfico, beneficiando a las especies con las que interactúan en tiempo y espacio (CONABIO et al. 2012; Valera Bermejo 2016). Sin embargo, en este enlistado aún no se ha tomado en consideración la vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático (Millennium Ecosystem Assessment 2005; INECC 2007), característica que puede ser importante para enfocar esfuerzos y recursos para su conservación.

La lista de especies prioritarias (<https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/espPrioritaria.html>) se encuentra dividida en 9 rubros: cícadas y pinos, palmas y pastos, magnolias y margaritas, corales, mariposa monarca, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. En este trabajo nos enfocamos en los primeros mamíferos terrestres prioritarios propuestos por SEMARNAT (CONABIO et al. 2012) que cuentan con más de 10 presencias únicas georreferenciadas a una resolución de 1km². Estas especies son: el mono aullador pardo (*Alouatta palliata*), mono aullador negro (*Alouatta pigra*), mono araña (*Ateles geoffroyi*), berrendo (*Antilocapra americana*), perrito llanero cola negra (*Cynomys ludovicianus*), perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*), jaguar (*Panthera onca*), zacatuche (*Romerolagus diazi*), tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*), pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari ringens*), oso negro (*Ursus americanus*) y lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*). El lobo mexicano se encuentra en la categoría de “probablemente extinta en el medio silvestre (E)” según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, lo que indica que los ejemplares en vida libre dentro del territorio nacional han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del Territorio Mexicano (NOM-

059-SEMARNAT-2010). Sin embargo, aunque esta subespecie este declarada como extinta en vida silvestre se han hecho esfuerzos para llevar a cabo su reintroducción en el país (CONANP. 2009). Este estudio aporta información de la situación de la especie frente al cambio climático, con el fin de identificar zonas óptimas para su reintroducción y lograr la recuperación de la subespecie. Enfocarnos en el grupo de los mamíferos de la lista de especies prioritarias en general nos resultan un buen estudio de caso para probar nuestro índice de vulnerabilidad, porque son organismos cuya biología ha sido ya bien estudiada y nos permite identificar las características biológicas que les da mayor vulnerabilidad al cambio climático.

1.2. Propuesta de índice de vulnerabilidad

1.2.1. Características biológicas de las especies

Existen características biológicas de las especies que las hacen más vulnerables al cambio climático y que aunque estén protegidas por alguna ANP o bien, su área de distribución potencial no se vea negativamente impactada, las especies resultan vulnerables al cambio climático. Por ejemplo, una característica que hace que las especies sean más vulnerables es la plasticidad en el tipo de alimentación. Es decir, si una especie puede alimentarse con más de un tipo de organismo es menos vulnerable a cambios en sus interacciones tróficas ocasionadas por cambios en el entorno. En cambio, especies como el murciélago maguero mayor (*Leptonycteris nivalis*) se alimenta del néctar del maguey, esta especie tiene una relación simbiótica con su alimento, por lo que ambas especies son estrechamente dependientes una de la otra, lo cual las hace muy vulnerables a cualquier cambio (Arita 1991). Otra característica biológica es la especificidad de hábitat. Si una especie puede vivir

en varios ecosistemas y uno resulta sumamente afectado, esta especie podría refugiarse en los otros ecosistemas. Sin embargo, si la especie está estrechamente vinculada con un ecosistema como por ejemplo el zacatuche (*Romerolagus diazi*) que está relacionado con el zacatonal, en el momento que el zacatonal está en riesgo la especie también lo estará (Velázquez1996). Finalmente, la dependencia a detonadores ambientales como la estacionalidad marcada en tiempos de reproducción también aumenta la vulnerabilidad de la especie. Por ejemplo, la ardilla endémica de Perote (*Xerospermophilus perotensis*), solo se reproduce entre abril y junio antes de comenzar a hibernar (Alvarez-Castañeda 2016), la duración de la estacionalidad climática podría causar cambios en la masa corporal y el tamaño de la población (Bagatella 2015). Conocer las características biológicas de las especies como: la versatilidad de hábitat, versatilidad de alimento o la dependencia de detonadores ambientales nos ayuda a entender a las especies y a darle sentido biológico a los modelos de distribución potencial, con esos aspectos podemos analizar la vulnerabilidad ante el cambio climático de las especies.

1.2.2. Modelado de nicho ecológico y cambio climático

Para analizar la distribución potencial bajo condiciones de cambio climático de los 12 mamíferos prioritarios utilizamos la teoría del nicho ecológico. El nicho ecológico como lo define Hutchinson es el hipervolumen de “n” condiciones bióticas y abióticas en las que una especie es capaz de subsistir a largo plazo (Hutchinson 1957). El nicho ecológico es modelado a través de una aproximación empírica matemática que tiene como principal objetivo relacionar diferentes tipos de variables ambientales con presencias georreferenciadas, para generar mapas predictivos de distribución potencial (Soberón

2010). El modelado de nicho ecológico (MNE) estima la distribución potencial en áreas con condiciones ambientales similares que las de los puntos de presencia de la especie (Peterson et al. 2011).

Para crear un MNE se pueden utilizar distintos algoritmos (ej. GARP, GLIM, Maxent) que proporcionan predicciones probabilísticas de las condiciones ambientales y se utilizan de acuerdo al planeamiento del problema para generar una mejor interpretación de los datos. Los algoritmos pueden utilizar datos distintos, como los registros de presencias, presencia-ausencia o pseudoausencias (Soberón y Nakamura 2009). En general son métodos correlativos, aunque se diferencian en el planteamiento matemático. GARP es un algoritmo genético, que funciona haciendo competir algoritmos completamente distintos y da como resultado una combinación de algoritmos que replican mejor las presencias y pseudoausencias (Peterson et al. 2007). GLM es un método de regresión lineal, que presupone un modelo para los datos, de manera que reproduce los datos de manera justa sin importar la extrapolación de datos (Crawley 1993). Por otro lado, existen algoritmos como Maxent, que se basa en el enfoque de la máxima entropía para predecir el área de distribución de una especie, donde cada celda de la gradilla pronostica las condiciones idóneas para la especie (Ortega-Huerta y Peterson 2008).

Los modelos del MNE se han utilizado con diferentes propósitos, para encontrar nuevas especies a través de especies emparentadas (Raxworthy et al. 2003), conocer el área de distribución potencial de especies invasoras (Herborg et al. 2009), proyectar distribución potencial de fósiles en el pasado (Alba-Sánchez et al. 2010) y también para evaluar vulnerabilidad al cambio climático (Loarie et al. 2009). Para evaluar la vulnerabilidad al

cambio climático modelamos el área de distribución potencial actual en escenarios climáticos presentes y a futuro, de tal forma que se puede analizar si hubo expansión, reducción o cambio de las áreas con las condiciones climáticas óptimas para que la especie pueda existir a largo plazo (Guisan y Zimmermann 2000; Pearson y Dawson 2003; Thomas et al. 2004; Pearson et al. 2007) y analizamos el papel de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) para la conservación de las especies .

Para crear el nicho se puede utilizar diferentes variables ambientales como clima, suelo, altitud, pendiente o la humedad. Sin embargo, en este estudio que nos enfocaremos en el impacto del cambio climático, proponemos utilizar variables únicamente de clima para conocer cómo cambios en estas variables afectarán la distribución de las especies en estudio. Se utilizarán las 19 variables bioclimáticas (WorldClim 2007), que han sido ampliamente utilizadas en el MNE porque proporcionan información sobre tendencias anuales, temporales y extremas de temperatura y precipitación (Nix, 1986). Estas variables bioclimáticas son: BIO1= temperatura media anual, BIO2= Rango diurno medio, BIO3= isotermia, BIO4= estacionalidad de la temperatura, BIO5= temperatura máxima del mes más cálido, BIO6= temperatura mínima del mes más frío, BIO7= rango anual de 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= temporada de precipitación, BIO16= precipitación del cuarto más húmedo, BIO17=

precipitación del cuarto más seco, BIO18= precipitación del cuarto más cálido y BIO19= precipitación del cuarto más frío.

1.2.3. Áreas Naturales Protegidas

Como parte de la evaluación de vulnerabilidad de los 12 mamíferos prioritarios que analizamos en este estudio, calculamos el porcentaje de la distribución potencial modelada que cae dentro de una ANP en el presente y ante condiciones de cambio climático. De esta manera, pudimos analizar qué tan protegidas están y estarán estas especies en el futuro. México cuenta con 182 ANP que se dividen en nueve regiones dentro del país y representan alrededor del 12.9% del territorio nacional (CONANP 2017; CONANP 2018) (Tabla 1). Estas zonas a lo largo de la historia se han decretado bajo diferentes criterios que no necesariamente estaban enfocados en la conservación (Ceballos 1998). Como resultado, algunas ANP presentan mala ubicación, nula composición de especies o funcionalidad, porque no ha habido un debido proceso de planeación (Rodrigues et al.1999). Por tal motivo, es importante evaluar su eficacia en el presente y futuro (Zamora Martínez 2018).

Tabla 1 Áreas Naturales protegidas divididas en nueve regiones dentro del país.

Península de Baja California y Pacífico Norte	<p>Área de Protección de flora y Fauna Islas del Golfo de California en: Baja California, Baja California Sur y Sonora.</p> <p>Área de Protección de Flora y Fauna Valle de los Cirios</p> <p>Parque Nacional Archipiélago de San Lorenzo.</p> <p>Parque Nacional Bahía de Loreto.</p> <p>Reserva de la Biósfera Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y Salsipuedes.</p> <p>Parque Nacional Archipiélago de Espíritu Santo.</p> <p>Parque Nacional Cabo Pulmo.</p> <p>Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe</p>
Noroeste y Alto Golfo de California	<p>Reserva de la Biosfera El Pinacate</p> <p>Gran Desierto de Altar</p> <p>Reserva de la Biosfera Isla San Pedro Mártir</p>
Norte y Sierra Madre Occidental	
Norte y Sierra Madre Oriental	<p>Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas.</p> <p>Parque Nacional Cumbres de Monterrey.</p> <p>Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena</p>
Occidente y Pacífico Centro	<p>Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán.</p> <p>Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca</p>
Centro y Eje Neovolcánico	<p>Área de protección de Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin</p> <p>Parque Nacional Grutas de Cacahuamilpa</p> <p>Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl</p> <p>Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca</p> <p>Reserva de la Biosfera Sierra Gorda</p> <p>Reserva de la Biosfera Tehuacán Cuicatlán</p>
Planicie Costera y Golfo de México	<p>Áreas Protegidas del Golfo de México</p>
Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur	<p>Reserva de la Biosfera El Triunfo</p>
Península de Yucatán y Caribe Mexicano	<p>Parque Nacional Arrecife Alacranes</p> <p>Parque Nacional Arrecifes de Cozumel</p> <p>Parque Nacional Tulum</p> <p>Reserva de la Biosfera Calakmul</p>

2. Objetivo

General

Evaluar la vulnerabilidad al cambio climático de 12 mamíferos prioritarios a partir de un índice de vulnerabilidad que incorpora información de modelado de nicho, biología de la especie y nivel de protección a futuro, para generar información que permita crear futuras medidas para su conservación.

Específicos

- a) Comparar la distribución potencial que obtuvimos del modelado de nicho ecológico en el presente y futuro para conocer el porcentaje de área ganada o perdida por efecto del cambio climático.
- b) Evaluar las características biológicas de las especies seleccionadas para conocer su vulnerabilidad intrínseca.
- c) Conocer el porcentaje de área de la distribución potencial que quedará protegida en el presente y futuro dentro de Áreas Naturales Protegidas.
- d) Proponer y aplicar un índice de vulnerabilidad que integre toda esta información para identificar a las especies de mamíferos prioritarios más vulnerables a los cambios climáticos futuros.

Hipótesis

Se espera que el cambio climático impacte a los mamíferos prioritarios evaluados que tengan dentro de sus características biológicas la especialización de alimento o hábitat y

dependencia a detonadores ambientales, también que estén sometidas a cambios drásticos en su distribución futura y que no cuenten con protección de un ANP.

3. Métodos

3.1. Área de estudio

La zona de estudio es la zona continental de México con una extensión de 1964375 km². Colinda al norte con Estados Unidos, al sur con Guatemala y Belice, al este con el Golfo de México y al oeste con el Océano Pacífico (Fig. 1). Sus coordenadas máximas y mínimas son norte 32° 43' 06" latitud norte, sur: 14° 32' 27" latitud norte, este: 86° 42' 36" latitud oeste, y oeste: 118° 27' 24" (SRE 2018). Se sitúa en una zona transicional climática, al norte con aridez y al sur con humedad tropical y subtropical, proporcionando climas templados y fríos en las zonas elevadas. De acuerdo con García (2004) los climas del país se han clasificado en: cálido húmedo, cálido subhúmedo, seco, muy seco, templado subhúmedo y templado húmedo

Los tipos de vegetación con los que cuenta son: bosque tropical perennifolio, bosque tropical subcaducifolio, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso, matorral xerófilo, pastizal, bosque de *Quercus*, bosque de coníferas, bosque mesófilo de montaña y vegetación acuática y subacuática (Rzedowski 2006).

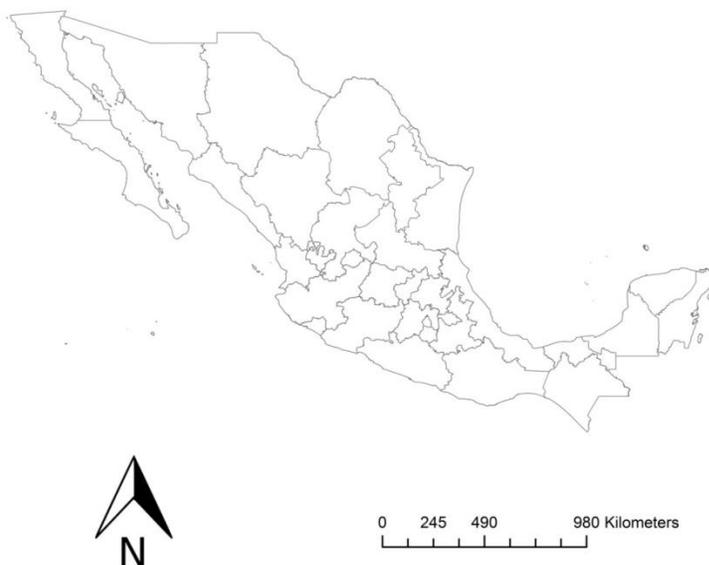


Fig. 1 Ubicación del área de estudio, México.

3.2. Especies de estudio

Los mamíferos terrestres que evaluamos en la presente tesis y que se describen a continuación son parte de las primeras especies propuestas como prioritarias por SEMARNAT para su conservación (<http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/espMamiferos.html>). Las primeras especies fueron propuestas como especies prioritarias porque favorecen la conservación de sus hábitats a distintas escalas geográficas y a niveles de interacción biológica (March et al. 2009; LGVS Art. 61, 2011). No se incluyeron especies marinas, porque el enfoque del modelado de nicho ecológico (MNE) ha sido poco utilizado en sistemas acuáticos (Ibarra-Montoya et al. 2010), debido a la falta de capas en el mar (Iguchi et al. 2004). También dejamos fuera del análisis a *Bison bison* por no presentar un número de registros únicos suficientes para llevar a cabo el MNE ($n < 5$). A continuación, presentaremos una breve descripción biológica de cada una de las especies en estudio.

3.2.1. *Antilocapra americana*

Descripción: Los berrendos son animales robustos, la longitud de su cuerpo es de entre 1.30 a 1.50 metros y pesan alrededor de 35 a 60 kg (SEMARNAT 2009). Ambos sexos presentan cuernos negros, planos y perpendiculares. Los dos sexos mudan los cuernos anualmente después de la temporada de la reproducción, formando anillos de crecimiento (Rodríguez 2011; Fig.2).



Fig. 2 *Antilocapra americana*. Foto: Erin y Lance Willett

Hábitos: Presenta actividad durante el día y la noche. En la temporada reproductiva los machos dominantes delimitan sus territorios con orina, heces y secreciones (CONANP 2009).

Reproducción: Su comportamiento reproductivo es polígamo, aunque los machos más jóvenes son excluidos por los adultos dominantes. Tienen una gestación de 250 días y dan a luz de una a tres crías. Ambos sexos tienen capacidad reproductiva de aproximadamente diez años, pero no producen crías cada año (Mitchell 1967).

Alimentación: Se alimentan de diferentes tipos de plantas que van desde hierbas hasta cactus, rebrotes y musgos. Mediante sus adaptaciones fisiológicas y conductuales obtienen

agua del forraje que consumen y en condiciones de sequía disminuyen sus requerimientos de agua y alimento disminuyendo su movilidad y otras actividades que implican un costo energético (Mitchell 1967).

Hábitat: Pastizales, llanuras con lomeríos, causes de arroyo y mesetas. Se encuentra generalmente en lugares con vegetación xerófila (Ramírez 2011).

3.2.2. *Ateles geoffroyi*

Descripción: Es un primate grande, el macho mide entre 0.38-0.495 m y la hembra entre 0.34-0.52 m. Se le llama mono araña por sus extensas extremidades. Tienen tronco globular delgado, donde surgen sus brazos, piernas y cola esbeltos. Las manos son alargadas, lo cual les permite trepar como si tuvieran ganchos (CONABIO 2011; Fig.3).



Fig.3 *Ateles geoffroyi* Foto: Brian Gratwicke

Hábitos: Son gregarios y se comunican mediante el olfato, poseen glándulas cercanas al cuello que emiten señales olorosas. Se comunican vocalmente para coordinar los movimientos de subgrupos incluidos en un grupo (Carpenter 1935).

Reproducción: No tienen temporadas de apareamiento marcadas. Los machos alcanzan la madurez sexual antes que las hembras (entre los 4 y 5 años en machos y 6.5 años las hembras). Su periodo de gestación dura 7.5 meses aproximadamente, y su edad reproductiva termina alrededor de los 20 años (Carpenter 1935).

Alimentación: Se alimenta en gran medida de frutas carnosas, además de hojas, flores, semillas, savia, corteza de árboles e insectos (Carpenter 1935).

Hábitat: Se distribuye en hábitats húmedos tropicales con densa cobertura arbórea, en el bosque tropical perennifolio, subcaducifolio y caducifolio. Están entre la vegetación de zonas inundables temporales, pantanos y manglares (CONABIO 2011).

3.2.3. *Alouatta pigra*

Descripción: El mono aullador negro es un primate grande. Las medidas corporales para ambos sexos son de 4.15-6.4 m. Su cabeza es grande y poseen un rostro relativamente plano con mandíbula prominente. El cuerpo es rechoncho y tiene manos con cinco dedos cuyo pulgar no es oponible. Presentan una cola larga y prensil carente de pelo en la punta (CONABIO 2011; Fig. 4).



Fig. 4 *Alouatta pigra* Fotografía: Kevin Schafer

Hábitos: Son gregarios, forman grupos permanentes de 2 a 6 individuos, con uno o dos machos adultos y el resto son hembras. Tienen hueso hioideo modificado que le sirve para producir vocalizaciones. Los machos emiten aullidos de aislamiento territorial (Pozo 2003).

Reproducción: Su periodo reproductivo se da durante todo el año, pero durante la estación seca se da el pico reproductivo. La hembra alcanza la madurez sexual entre los 4 a 5 años y los machos después de los 5 años. Dan a luz una cría, cuyo cuidado parental dura un año (Pozo 2003).

Alimentación: Se alimentan de hojas, semillas y frutos tiernos, pero tienen una flexibilidad alimenticia que les da la capacidad de sobrevivir en distintos tipos de hábitat. Incluso son capaces de vivir con limitada cantidad de especies arbóreas y con cierto grado de perturbación (SEMARNAT-CONANP 2012).

Hábitat: Prefieren hábitats húmedos con dosel cerrado, como son el bosque tropical perennifolio y bosque tropical subcaducifolio, que se caracterizan por tener una cobertura arbórea densa y abundante (Pozo-Montuy y Serio-Silva 2006).

3.2.4. *Alouatta palliata*

Descripción: El mono aullador pardo es un primate corpulento. El macho es más grande que la hembra y miden entre 0.38-0.58 m. Su cabeza es grande en proporción a su cuerpo, tienen el vientre abultado, brazos largos y fuertes, con los que se desplaza por las ramas ayudándose de sus piernas y cola. Sus manos tienen cinco dedos sin el pulgar oponible. (CONABIO 2011; Fig. 5).

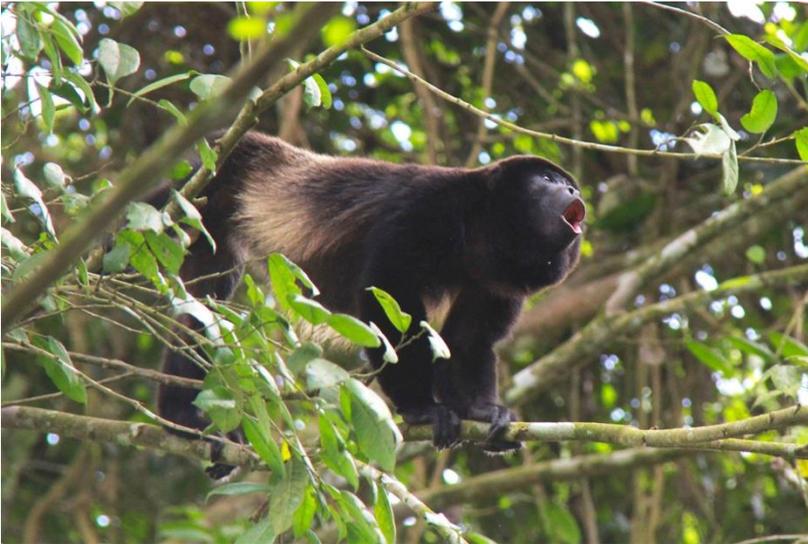


Fig. 5 *Alouatta palliata* Foto: Malki Bustos

Hábitos: Forman grupos conformados por crías, juveniles y adultos. Los monos más viejos poseen menores privilegios y los más jóvenes tienen más privilegios. Avisan mediante vocalizaciones su ubicación a otros grupos de monos (CONABIO 2011).

Reproducción: Estos grupos presentan un macho dominante, que puede tener un harem de hasta cinco hembras. La hembra tiene la capacidad de reproducirse durante todo el año, alcanzan la madurez sexual entre los 3-5 años, en cambio los machos la alcanzan de los 4-5 años. Presentan un periodo de gestación de 180-194 días, con periodos entre nacimientos de dos años y dan a luz a una sola cría (CONABIO 2011).

Alimentación: Es herbívoro, principalmente folívoro y frugívoro. Se alimenta de hojas de brotes tiernos, suaves y poco fibrosas, frutos maduros, hojas maduras, flores, semillas, musgo, algunos tallos y termitas (CONABIO 2011).

Hábitat: Se distribuye en bosques tropicales, pero también puede habitar zonas fragmentadas de bosque húmedo (CONABIO 2011).

3.2.5. *Canis lupus baileyi*

Descripción: El lobo mexicano es la subespecie de *Canis lupus* más pequeña de Norte América. Pesan entre 22.9- 31.4 kg. Poseen extremidades largas y fuertes, que están adaptadas para correr largas distancias. Tienen la cabeza grande, el hocico corto y grueso (con un cojinete nasal ancho), y sus ojos son pequeños (CONABIO 2011; Fig.6).



Fig. 6 *Canis lupus baileyi* Foto: Clark Jim

Hábitos: Es una especie de comportamiento social definido que se asocia en manadas familiares donde se establecen relaciones jerárquicas. Existe una pareja alfa que es reproductiva. Cazan en pareja o de manera individual (CONABIO 2011).

Reproducción: Son monógamos, de ciclo reproductivo monoéstrico estacional que está influenciado por estímulos ambientales tales como la duración de las horas luz, los recursos alimenticios o la temperatura ambiental. Su período de gestación es de 60-63 días y dan a luz alrededor de 9 cachorros de los que usualmente sobreviven de cuatro a cinco (CONABIO 2011).

Alimentación: Se alimentan de otros mamíferos como venados, pecarí, antílopes, conejos, roedores, berrendos y borrego cimarrón. Regularmente consumen alrededor 2.8 kg de carne al día, pero pueden ayunar durante dos semanas hasta encontrar nuevas presas (CONABIO 2011).

Hábitat: Habita regiones boscosas y montañosas que le permiten esconderse y encontrar alimento (Moctezuma et al. 2004).

3.2.6. *Cynomys ludovicianus*

Descripción: El perrito llanero de cola negra es una ardilla terrestre. Su tamaño es de 0.373 a 0.43 m. Su pelaje es de color entre amarillento pardo y rojizo pardo, con manchas de pelos negros y la parte final de la cola es negra. El color varía según la estación del año y cambia todo su pelaje dos veces al año, en invierno es más corto y verano menos denso. (Ceballos et al. 1993; Hoogland 1995; Fig. 7).



Fig. 7 *Cynomys ludovicianus* Fotografía: Juan Cruzado Cortés

Hábitos: Viven en congregaciones de miles de individuos. Poseen conducta territorial agresiva hacia otros grupos. Los machos están en alerta constante para que otros machos no entren a su territorio, y forman una comunicación por medio de diferentes vocalizaciones (Hoogland 1995; Ceballos y Pacheco 2000).

Reproducción: Se reproducen anualmente y alcanzan la madurez sexual en uno o dos años. Tienen un periodo de gestación de 30 días aproximadamente y dan a luz entre 2 a 10 crías (Ceballos et al. 1999; CONABIO 2011).

Alimentación: Son herbívoros, se alimentan de plantas y algunos insectos (Ceballos et al. 1999; CONABIO 2011).

Hábitat: Habita lugares secos, áridos y semiáridos como desiertos y estepas (Ceballos y Pacheco 2000).

3.2.7. *Cynomys mexicanus*

Descripción: El perrito llanero mexicano es endémico del centro-norte de México. Es una ardilla terrestre que realiza vocalizaciones parecidas a ladridos. Su pelaje es color pardo amarillento, con pelos de negros a grises. Su cuerpo es robusto con cola y orejas cortas. No

posee pabellón auditivo. Tiene patas cortas, pero pies largos con garras definidas y ojos a los lados. (CONABIO 2011; Fig.8).



Fig. 8 *Cynomys mexicanus* Fotografía: Carlos Velasco

Hábitos: Vive en colonias bien organizadas formados por un macho dominante, dos o tres hembras, juveniles y crías. Es de hábitos diurnos, excava madrigueras para formar túneles. Permanecen en montículos de tierra para observar hacia su alrededor y defender su territorio, lanzar la alarma y huir dentro de la madriguera (Ceballos et al. 1993).

Reproducción: Se reproducen anualmente, dan a luz de 2 a 10 crías. Nacen ciegos y sin pelo. Los adultos que ya son reproductivos invaden madrigueras de otros adultos reproductivos, lo que provoca peleas entre ellos (Ceballos y Pacheco 2000).

Alimentación: Es herbívoro, se alimentan de hierbas, pastos, semillas, tallos, raíces y ocasionalmente insectos (Ceballos y Pacheco 2000).

Hábitat: Vive en climas secos, en sitios áridos y semiáridos (CONABIO 2011).

3.2.8. *Panthera onca*

Descripción: Es el felino más grande de América. Presentan una altura de entre 1.12–1.85

m. Su apariencia es robusta, a pesar de esto puede saltar entre los árboles, nadar a grandes distancias y es muy ágil. Su pecho es fuerte, sus piernas delanteras son muy musculosas, tienen la cabeza grande, el hocico amplio y chato (CONANP 2009; Mircea et al. 2015; Fig.9).



Fig. 9 *Panthera onca*. Fotografía: Brandon Sideleau

Hábitos: Tienen hábitos nocturnos, son solitarios y territoriales, solo se reúnen durante la época de apareamiento (Aranda y Sánchez-Cordero 1996).

Reproducción: La reproducción de esta especie depende de la estacionalidad. La gestación se da en un promedio de 100 días y dan a luz de una a cuatro crías (Ceballos y Oliva 2005).

Alimentación: Es un depredador oportunista que aprovecha a las especies más vulnerables y disponibles. Su método es cazar acechando. Se alimentan de otros mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces e invertebrados (Ceballos y Oliva 2005).

Hábitat: Habita bosques tropicales, manglares, bosque mesófilo de montaña, bosque espinoso, bosque de pino-encino y ocasionalmente matorral xerófilo. Puede habitar áreas

con cierto grado de perturbación, pero tienen que conservar presa natural y cubierta arbórea (SEMARNAP 2000).

3.2.9. *Romerolagus diazi*

Descripción: El conejo de los volcanes es el lagomorfo más pequeño de México. Pesan entre 0.417-0.535 kg y tienen una longitud corporal de 234-321 mm. Presenta orejas pequeñas (40-50 mm), patas cortas y cola no visible (Cervantes et al. 1990; CONABIO 2010 Fig. 10).



Fig.10 *Romerolagus diazi*. Fotografía: Miguel Ángel Sicilia

Hábitos: Se agrupa en colonias de 2-5 individuos, donde hay jerarquías sociales. Interactúan con peleas y juegos (Cervantes et al. 1990; CONABIO 2010).

Reproducción: Una pareja actúan como dominante y es la única en tener crías. La hembra dominante suele tener un comportamiento agresivo respecto a los machos y hembras en subordinación. Se reproducen durante todas las épocas del año y la gestación dura entre 38–40 días. Dan a luz de una a tres crías (Cervantes 1982; SEMARNAT 2012)

Alimentación: Son herbívoros y coprófagos. Producen excretas duras y blandas, las blandas son ingeridas para aprovechar los nutrientes producidos en la fermentación fecal (Gaumer 1913; Cervantes y Martínez 1992).

Hábitat: Su hábitat consiste en zonas con abundantes hierbas y arbustos, como zacatonales, bosques abiertos de pino y bosques húmedos (Cervantes et al. 1990; Cervantes y González 1996; Romero y Cervantes 2005; Romero Malpica 2008).

3.2.10. *Tayassu pecari ringens*

Descripción: El pecarí de labios blancos tiene una longitud de 0.93–1.3 m. Presenta el hocico alargado, su cabeza tiene forma triangular, tiene piernas delgadas, cola vestigial y sus extremidades terminan en pezuñas donde sus huellas indican que sus dos dedos son funcionales, tanto en las manos como en las patas (Ceballos 2014; Fig. 11).



Fig. 11 *Tayassu pecari ringens* Foto: Simon J. Tonge

Hábitos: Son activos durante el día y la noche. Forman grandes manadas y marcan su territorio con ayuda de una glándula odorífera dorsal. Otro hábito que se ha observado en esta especie es que se dan baños de lodo (Ceballos 2014).

Reproducción: Se aparean en cualquier época del año. Las hembras alcanzan la madurez sexual al año, mientras que los machos la alcanzan a los 11 meses. La hembra es reproductiva toda su vida y el macho hasta los 7 años. Su periodo de gestación es de 5 meses y dan a luz generalmente 2 crías (Naranjo 2013; SEMARNAT 2011).

Alimentación: Es omnívoro y en mayor porcentaje consume frutos, pastos, semillas, arbustos, mamíferos y lagartijas pequeñas. Para alimentarse utilizan la nariz, con la que remueve la vegetación o el suelo (Hidalgo y Contreras 2012; Naranjo 2013).

Hábitat: Son terrestres, pero pasan la mayor parte del tiempo en cuerpos de agua, por esto se distribuyen a través de los bosques tropicales perennifolios, subperennifolios y ocasionalmente bosques tropicales espinosos (Hidalgo y Contreras 2012; Naranjo 2013).

3.2.11. Tapirus bairdii

Descripción: El Tapir centroamericano, es un ungulado con cuerpo robusto que pesa entre 150 y 300 kg. Sus piernas son cortas y posee cuatro dedos en las extremidades anteriores y tres en las posteriores. Tiene un labio superior elongado en forma de probosis (Naranjo y Vaughan 2000; Nolasco 2007; Fig. 12).



Fig. 12 *Tapirus bairdii* Fotografía: Andy Carvin

Hábitos: Tienen hábitos nocturnos, pero pueden estar activos durante el día. Son solitarios, se reúnen en la época reproductiva en parejas y la cría permanece con la madre hasta el año de edad (Naranjo 2001; Nolasco 2009).

Reproducción: Las hembras alcanzan la madurez sexual a los 3 o 4 años de edad. Tienen periodos de 48 horas de celo cada 50 a 80 días. El periodo de gestación es de 390 a 400 días y dan a luz a una cría (Naranjo y Cruz 1998; Peña-Azcona et al. 2015).

Alimentación: Son herbívoros estrictos que se alimentan principalmente de hojas, brotes tiernos, frutos, flores y corteza de plantas. Realizan actividades de forrajeo y cambian la estructura y la dinámica de la vegetación de las áreas que habita (Ceballos y Oliva 2005).

Hábitat: Prefiere las zonas húmedas tropicales, como la selva alta perennifolia, selva mediana subperennifolia, selva baja caducifolia y bosque mesófilo de montaña. Pasa la mayoría del tiempo en cuerpos de agua, se desplaza por coberturas vegetales y por lugares con cierto grado de perturbación (Naranjo y Cruz 1998; Nolasco 2009).

3.2.12. *Ursus americanus*

Descripción: El oso negro americano es el carnívoro de mayor tamaño en México y tiene una longitud total de 1300–2000 mm, pero las hembras son más pequeñas que los machos.

Presenta cuerpo robusto, garras largas con uñas no retráctiles, orejas pequeñas y redondeadas. Tiene los sentidos de la vista, oído y olfato altamente desarrollados.

(INE/SEMARNAT. 1999; Larivière 2001; Kennedy et al. 2002; Fig.13).



Fig. 13 *Ursus americanus* Foto: Roland Kilcher

Hábitos: Los machos son solitarios, mientras que las hembras con sus crías conviven en una jerarquía dependiente del tamaño corporal, fuerza y agresividad. Los machos son dominantes, excepto cuando las hembras tienen crías y se tornan agresivas para defenderlos (Delfín-Alonso et al.2011).

Reproducción: Son polígamos y alcanzan la madurez sexual entre los 3 y 5 años de edad. El periodo de gestación dura de entre 210 y 215 días y dan a luz de 2 a 3 crías. Las crías nacen

ciegas y con poco pelo, pero presenta un crecimiento muy rápido al ser amamantados con leche materna (Moreno-Arzate 2008).

Alimentación: Es omnívoro y se alimenta de bayas, flores, hierbas, frutos secos, insectos, miel, etcétera. Cuando hay escasez de alimento y condiciones climáticas adversas en el invierno, acumulan reservas de grasa, asimilando grasas y carbohidratos. Llegando el proceso del sueño de invierno reducen su temperatura corporal y tasa metabólica (Larivière 2001; Kennedy et al. 2002).

Hábitat: Habita exclusivamente en América del Norte, en zonas templadas y frías (CONABIO 2011; Juárez-Casillas y Varas 2013).

3.3. Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático

Para evaluar la vulnerabilidad de los 12 mamíferos prioritarios ante condiciones de cambio climático, proponemos un índice de vulnerabilidad que integre (Fig. 14): a) La distribución potencial de las especies obtenidas a través del MNE, b) el empalme de la distribución potencial con el sistema de ANP y c) las características biológicas de las especies que las convierten intrínsecamente vulnerables al cambio climático como dependencia a detonadores ambientales, versatilidad en el tipo de alimentación de la especie y la especialización de hábitat. Este índice aporta información muy valiosa para determinar cuáles de los 12 mamíferos serán los más vulnerables al cambio climático.

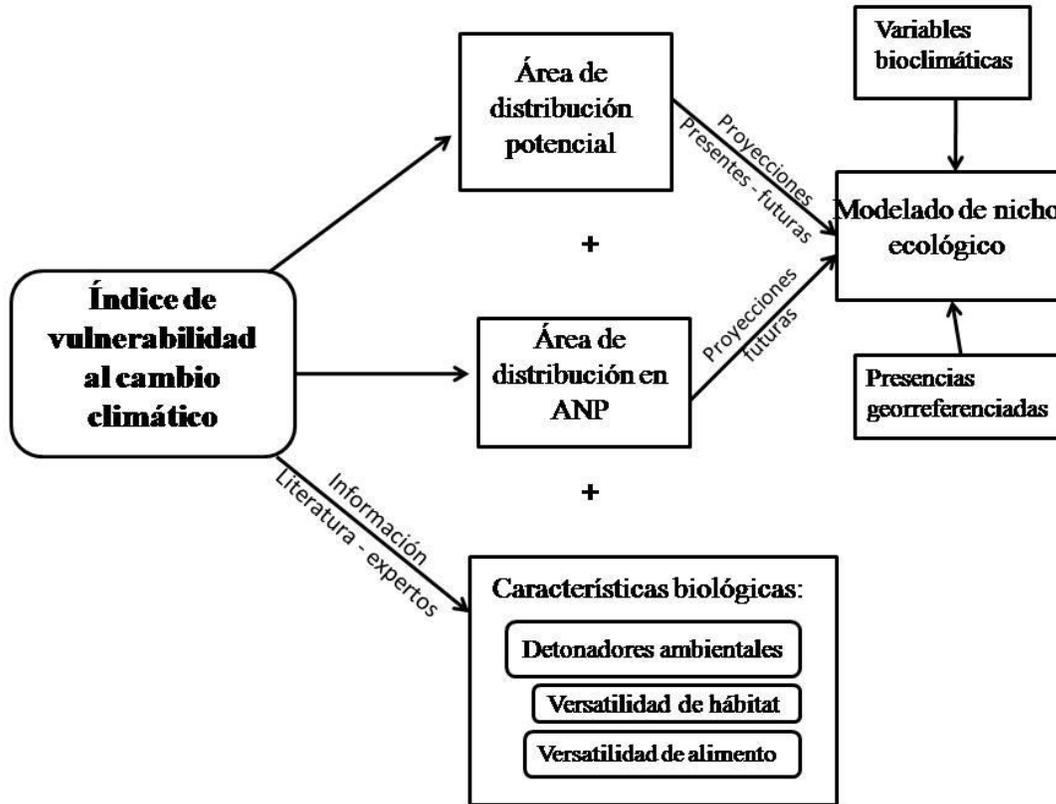


Fig. 14 Índice de vulnerabilidad al cambio climático. La vulnerabilidad de las especies al cambio climático está en función de los cambios en sus zonas ambientales óptimas. La vulnerabilidad de los mamíferos se calculó mediante el modelado de nicho, y la descripción de las características biológicas de cada especie.

3.3.1. Características biológicas de los mamíferos prioritarios

En este estudio obtuvimos información sobre las características biológicas de las especies que las hacen más vulnerables al cambio climático de dos fuentes: 1) literatura (Tabla 2) y 2) entrevistas con expertos (Dr. Fernando Alfredo Cervantes Reza). Para incorporar este rubro al índice de vulnerabilidad nos enfocamos en conocer si las especies tenían o no algunas de las siguientes características e hicimos una suma porcentual de cada una:

1. En términos de dependencia a detonadores ambientales (DDA), investigamos si la especie a través de un estímulo ambiental migraba, hibernaba o presentaba sueño de

invierno. Para integrarlo al índice de vulnerabilidad le asignamos tres valores posibles: 1- si la especie no tiene ninguna DDA, 0.66- si la especie tiene una DDA y 0.33- si la especie tiene más de una DDA.

2. En cuanto a versatilidad de alimentación (VA), si la dieta de cada una de las especies en estudio estaba basada en un sólo tipo de organismo o en varios. Los valores que les asignamos para agruparlo en el índice de vulnerabilidad son: 1- si la especie se alimenta de varios organismos y 0.66- si solo se alimenta de un tipo de organismo.

3. Si la especie puede vivir en uno o en más de un tipo de hábitat (VH). Le asignamos a cada una de las especies los siguientes valores para intégralos a nuestro índice de vulnerabilidad: 1- si la especie puede vivir en varios tipos de hábitat, 0.66- si la especie si la especie vive en solo un tipo de hábitat y 0.33- si es una especie con un hábitat muy específico porque se encuentra en una zona restringida.

Tabla 2 Literatura sobre los mamíferos. Literatura donde obtuvimos información sobre las características biológicas de cada uno de los mamíferos prioritarios.

Autor	Año de publicación
Gaumer	1913
Carpenter	1935

Mitchell	1967
Cervantes	1982
Cervantes et al.	1990
Cervantes et al.	1990
Cervantes y Martínez	1992
Ceballos et al.	1993
Hoogland	1995
Aranda y Sánchez-Cordero	1996
Cervantes y González	1996
Naranjo y Cruz	1998
Ceballos et al.	1999
INE/SEMARNAT	1999
Ceballos y Pacheco	2000
SEMARNAP	2000
Naranjo y Vaughan	2000
Naranjo	2001
Larivière	2001
Kennedy et al	2002
Pozo	2003
Moctezuma et al.	2004
Ceballos y Oliva	2005
Romero y Cervantes	2005
Romero Malpica	2008
Moreno-Arzate	2008
SEMARNAT	2009
CONANP	2009
Nolasco	2009
Argüello-Sánchez et al.	2010
CONABIO	2010
Rodríguez	2011
Ramírez	2011
CONABIO	2011
SEMARNAT	2011
Delfín- Alonso et al.	2011
SEMARNAT	2012
Hidalgo y Contreras	2012
Naranjo	2013
Juárez-Casillas y Varas	2013
Ceballos	2014
Mircea et al.	2015
Peña-Azcona et al.	2015

3.3.2. Modelado de nicho ecológico

Para correr el MNE obtuvimos los registros necesarios del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). Recopila las bases de colecciones científicas como: El Instituto de Historia Natural y Ecología, la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia UNAM, el Instituto de Biología, de American Museum of Natural History, California Academy of Sciences, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, entre otras. En la base de datos incluimos campos con información sobre los datos de la especie y lugar de captura (país, estado, lugar y coordenadas geográficas).

De cada una de las 12 especies hicimos una revisión de los datos georreferenciados para analizar si coinciden con su distribución histórica, con ayuda del experto en mamíferos: Dr. Fernando Alfredo Cervantes Reza. Después eliminamos presencias georreferenciadas repetidas que se encontraban dentro de un rango de 1 km², para reducir el sesgo resultante del exceso de muestreo y mantener la información útil en términos de registros únicos (Pearson 2007). Obtuvimos datos únicos georreferenciados con un umbral de 16 presencias mínimo a una resolución de 1 km² (ver Tabla 3). Un menor número de datos únicos puede crear modelos poco confiables en su predicción (Pearson et al. 2007), razón por la que se dejó afuera al *Bison bison*. Del total de los datos georreferenciados por especie elegimos de manera aleatoria el 70% como datos de calibración y 30% como datos de validación del modelo (Thuiller et al. 2009) creando al azar 10 000 pseudoausencias y 10 réplicas. La calibración del modelo se refiere a los análisis estadísticos que buscan el ajuste del modelo para proyectarlo en el espacio geográfico (Plischoff y Fuentes-Castillo 2011). Y la validación consiste en contrastar las predicciones del modelo comparándolo con un conjunto de presencias independientes a los datos de calibración (Guisan y Zimmermann 2000; CONABIO y KU. 2011).

Tabla 3 Registros de presencia de cada uno de los 12 mamíferos prioritarios para la generación de los modelos de distribución potencial. Registros de presencia= número de registros únicos a 1 km², Registros para modelación= registros utilizados por el algoritmo para el modelado de nicho ecológico, Registros de validación= registros utilizados para validar el modelo.

Especie	Registros de presencia	Registros para modelación	Registros de validación
<i>Alouatta palliata</i>	48	33	15
<i>Alouatta pigra</i>	61	43	18
<i>Antilocapra americana</i>	32	10	22
<i>Ateles geoffroyi</i>	141	99	42
<i>Canis lupus baileyi</i>	21	15	6
<i>Cynomys ludovicianus</i>	25	18	7
<i>Cynomys mexicanus</i>	64	45	19
<i>Panthera onca</i>	123	86	37
<i>Romerolagus diazi</i>	71	50	21
<i>Tapirus bairdii</i>	74	52	22
<i>Tayassu pecari ringens</i>	67	47	20
<i>Ursus americanus</i>	38	27	11

De los algoritmos más utilizados en el MNE está Maxent (Phillips et al. 2006; Elith et al. 2011). Utilizamos este algoritmo que se basa en el principio de la máxima entropía (Phillips et al. 2006) porque ha demostrado tener un buen desempeño a comparación de otros algoritmos al ser confiable entre diversos métodos de modelación (Elith et al. 2006; Ortega-Huerta y Peterson 2008; Elith et al. 2011). El algoritmo de Maxent se corrió en la plataforma de Biomod, que tiene como ventaja poder hacer ensambles de manera

automática y utilizar varios algoritmos simultáneamente (Peterson et al. 2011). Aunque en este caso no corrimos otros algoritmos, sí nos facilitó el hacer ensambles con las 10 repeticiones que llevamos a cabo para cada una de las especies.

El ensamble se hizo con la suma de las probabilidades del modelo a través del valor estadístico de habilidad verdadero (TSS) ≤ 0.7 , así cada modelo del ensamble tenía al menos ese valor de validación. Elegimos la prueba TSS porque se ha demostrado que es la mejor opción estadística para interpretar fenómenos ecológicos con mapas binarios (Allouche et al. 2006). Además, la plataforma Biomod nos arroja el área de distribución potencial por especie que toma en cuenta su dispersión total futura (CD) y otra que asume que la especie no tendrá posibilidad de dispersión (SD).

Como variables para ejecutar el MNE utilizamos algunas de las 19 variables bioclimáticas a una resolución de 1km² (Hijmans et al. 2005). Para elegir variables llevamos a cabo el cálculo de una matriz de correlación para conocer la relación y la dependencia de una variable respecto a otra en una región geográfica determinada, en este caso fue todo la República Mexicana. El criterio de correlación fue de 0.8 y para decidir que variable se iba a utilizar, elegimos con ayuda del Dr. Fernando Alfredo Cervantes Reza la variable bioclimática que nos ayudaba a interpretar el ciclo de vida de la especie de estudio. Después del análisis de correlación, elegimos únicamente aquellas variables que aportaban nueva información al modelo y lo mejoraron. Al final, nos quedamos con 7 de las 19 variables bioclimáticas (Tabla 4).

Tabla 4 Variables bioclimáticas empleadas en el modelado de nicho ecológico.

ID	Variabes
Bio4	Estacionalidad de temperatura
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio10	Temperatura media del trimestre más caliente
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio19	Precipitación del trimestre más frío

Estas variables fueron utilizadas para hacer los modelos bajo el escenario base (presente que va del año 1961-2000) y ante escenarios de cambio climático (del año 2075-2099 con RCP 8.5 W/m²). Los escenarios se obtuvieron de capas provenientes de Modelos de Circulación General (MCG) que son simulaciones de los movimientos atmosféricos en la Tierra y los procesos en escalas espacio temporales (IPCC 2014). Debido a la actualización de los escenarios de cambio climático mundial para estudios de impacto, vulnerabilidad y adaptación, se desarrollaron quince MCG propuestos en el reporte de la Quinta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (2012).

En México se generó un ensamble ponderado llamado Reliability Ensemble Averaging (REA) que utiliza de manera simultánea varios de los MCG que han demostrado un buen desempeño para México. El REA otorga mayor peso a los MCG que contengan menos errores y sesgo, homogenizando la resolución espacial de 0.5° x 0.5° (Conde y Gay 2008). Los MCG proyectados al futuro están formados a su vez por 4 escenarios de trayectorias de concentración de gases (RCP por sus siglas en inglés). Los RCP son diferentes escenarios que representan qué tanta energía proveniente del sol es absorbida por el planeta o lanzada al espacio dada la cantidad de gases con efecto invernadero que hay en

la atmósfera (IPCC 2014). Esta energía se mide en W/m^2 . Los cuatro escenarios que fueron adoptados por el IPCC en el quinto informe de evaluación del IPCC: Cambio climático en el 2014 (IPCC 2014) son los siguientes: RCP 2.6 W/m^2 , RCP 4.5 W/m^2 , RCP 6 W/m^2 y RCP 8.5 W/m^2 .

En este estudio modelamos la distribución potencial en un escenario base (presente) que va del año 1961-2000, y lo proyectamos al futuro 2075-2099 bajo el RCP 8.5 W/m^2 que es el más pesimista. Escogimos el escenario más pesimista para conocer las peores consecuencias que podrían esperarse a futuro, siguiendo el “Principio Precautorio”. El “Principio precautorio” celebrado en la Declaración de Río de Janeiro (1992), dice que: “Con el fin de proteger el medio ambiente, cuando haya peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente” (Cafferatta 2004). El escenario RCP 8.5 W/m^2 nos permitió generar información del planeta con un incremento constante de gases con efecto invernadero en la atmósfera.

3.3.3. Empalme de escenarios modelados con Áreas Naturales Protegidas

Una vez obtenidos los mapas del MNE tanto en condiciones climáticas actuales como en condiciones futuras, empalmamos los mapas con las capas de Áreas Naturales Protegidas (ANP) (descargado de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) (SEMARNAT-CONANP 2017). El empalme de mapas lo realizamos con la ayuda de sistemas de información geográfica (ArcGis 10.5), y luego analizamos el porcentaje de presencia de

cada uno de los mamíferos prioritarios que se ajustaba dentro del mapa de ANP.

3.3.4. Índice de vulnerabilidad

Se evaluaron las características biológicas de cada especie asignándoles un valor a partir de la integración de tres rubros: Dependencia a detonadores ambientales, versatilidad de alimento y versatilidad de hábitat. Para cada uno de los rubros se pueden tener tres valores: Alta vulnerabilidad=0.33, vulnerabilidad=0.66, y neutro=1 (Tabla 5). La alta vulnerabilidad (0.33) se refiere a aquellas especies que encontramos con más de una señal ambiental para completar su ciclo de vida, como *Ursus americanus*. La vulnerabilidad media (0.66) se refiere a aquellas especies que tienen una señal ambiental dentro de su ciclo de vida, como *Cynomys mexicanus* y el valor neutro se refiere a especies que no dependan de ninguna señal ambiental para concluir su ciclo de vida, como en la especie *Romerolagus diazi*, que los valores ambientales no son significativos.

Para considerar el MNE dentro del índice, utilizamos los valores que automáticamente arroja la plataforma de modelado de BIOMOD con el algoritmo Maxent. Estos valores están relacionados con cuánta área climáticamente adecuada (píxeles con resolución de 1 km²) para una especie se gana, se pierde o permanece en el futuro. Para aquellas especies que ganan área, pierden superficie o mantienen la misma proporción de área el MNE arrojó mediante el algoritmo Maxent un valor. El valor se basa a partir de rasters de un medio físico en el cual se calculó la distribución de probabilidad donde cada celda tiene una idoneidad predictiva de condiciones para la especie.

Finalmente, el índice también incorpora el porcentaje de área de distribución dentro de ANP en el futuro como se presenta en la fórmula (1). La manera de incluir refleja que si la especie tiene más del 10% de su área de distribución dentro ANP la especie tendrá mayor posibilidad de supervivencia ante los efectos del cambio climático. El índice de vulnerabilidad puede ir de 0 a 4, donde el 0 indica mayor vulnerabilidad y 4 nada vulnerable.

(1)

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{DDA} + \text{VA} + \text{VH}) + (\% \text{ANPP} - \% \text{ANPF}) + \left(\frac{\text{ADPF SD} - \text{ADPP}}{\text{ADPP}} \right) + \left(\frac{\text{ADPF CD} - \text{ADPP}}{\text{ADPP}} \right)$$

Donde DDA= Dependencia a detonadores ambientales, VA= versatilidad de alimentación, VH= versatilidad de hábitat, %ANPP= es el porcentaje de distribución potencial dentro de un ANP en el presente y %ANPF= es el porcentaje de distribución potencial dentro de ANP en el futuro ante condiciones de cambio climático. ADPP= Área de distribución potencial en condiciones climáticas actuales, ADPF SD= Área de distribución potencial ante condiciones de cambio climático considerando que la especie no pudo dispersarse (RCP 8.5 W/m², REA), ADPF CD= Área de distribución potencial ante condiciones de cambio climático considerando que la especie pudo dispersarse libremente en el espacio (RCP 8.5 W/m², REA).

Tabla 5 Variables de vulnerabilidad. Variables de vulnerabilidad= características biológicas de las especies que las hacen intrínsecamente más vulnerables al cambio climático. Valores= Alta vulnerabilidad= 0.33, Vulnerabilidad= 0.66, y Neutro = 1.

Variables de vulnerabilidad		Valores
Dependencia a detonadores ambientales		
Más de una señal ambiental	Alta vulnerabilidad	0.33
Una señal ambiental	Vulnerabilidad	0.66
No tiene una señal ambiental	Neutro	1
Versatilidad de alimento		
Especialista	Vulnerabilidad	0.66
Generalista	Neutro	1
Versatilidad de hábitat		
Un hábitat	Vulnerabilidad	0.66
Varios hábitats	Neutro	1

4. Resultados

Los resultados del modelado de nicho ecológico (MNE) muestran que cuando la especie tiene posibilidades de moverse y migrar, pueden encontrar nuevas ADP que representan nuevas zonas con condiciones climáticas óptimas. Si consideramos que las especies no tienen capacidad de migrar, podemos observar de manera general que todas las especies pierden ADP en condiciones de cambio climático (Tabla 6). Aún con posibilidad de dispersión (CD) hay especies que pierden ADP, por ejemplo *U. americanus* y *C. ludovicianus* pierden casi el 100% de su ADP. Mientras que *T. pecari ringens*, *C. mexicanus*, *C. lupus baileyi* y *T. bairdii* que pierden más del 80%. Otras como *R. diazi* y *A. geoffroyi* pierden más del 15% de ADP. Sin embargo, hay otras especies que ganan ADP con posibilidad de dispersión (CD), como *A. palliata* que gana más del 100% de ADP, otras como *P. onca*, *A. pigra* y *A. americana* que ganan más del 20% de ADP. En cambio, sin posibilidad de dispersión (SP) las especies que pierden casi el 100% de su ADP

son *C. ludovicianus* y *U. americanus*. Otras como *C. mexicanus* y *T. pecari ringens* que pierden más del 90% ADP. Mientras que *T. bairdii* y *C. lupus baileyi* pierden el 80% de su ADP. Las especies que pierden más del 50% de ADP son *A. geoffroyi*, *R. diazi*, *P. onca*. Y las especies que pierden más del 10% son *A. americana*, *A. palliata* y *A. pigra*.

Tabla 6 Modelado de nicho ecológico en condiciones climáticas actuales y de cambio climático. ADPP= Área de distribución potencial en condiciones climáticas actuales, ADPF SD (km²)= Área de distribución potencial ante condiciones de cambio climático considerando que la especie no pudo dispersarse, ADPF CD (km²)= Área de distribución potencial ante condiciones de cambio climático considerando que la especie pudo dispersarse libremente en el espacio, % P/G SD= Porcentaje ganado o perdido de área de distribución potencial ante condiciones de cambio climático considerando que la especie no pudo dispersarse y % P/G CD= Porcentaje ganado o perdido de área de distribución potencial ante condiciones de cambio climático considerando que la especie pudo dispersarse, dentro de la tabla el signo negativo (-) significa el porcentaje de pérdida.

Especie	ADPP (km ²)	ADPF SD(km ²)	ADPF CD(km ²)	% P/G SD	% P/G CD
<i>C. ludovicianus</i>	17987	1	111	-99.99	-99.38
<i>U. americanus</i>	224247	1293	1850	-99.42	-99.18
<i>C. mexicanus</i>	181367	3694	27814	-97.96	-84.66
<i>T. pecari ringens</i>	170160	6719	19075	-96.05	-88.79
<i>T. bairdii</i>	357980	45314	71012	-87.34	-80.16
<i>C. lupus baileyi</i>	442518	69320	72533	-84.34	-83.61
<i>A. geoffroyi</i>	372753	150562	303295	-59.61	-18.63
<i>R. diazi</i>	71772	29050	29612	-59.52	-58.74
<i>P. onca</i>	599639	284945	932402	-52.48	55.49
<i>A. americana</i>	762802	529752	921001	-30.55	20.74
<i>A. palliata</i>	358283	253838	945523	-29.15	163.90
<i>A. pigra</i>	260041	230352	408142	-11.42	56.95

Los resultados del MNE se pueden visualizar en los mapas de la Figura 15, en dónde observamos que las especies que reducen gravemente su área de distribución en el norte de México son: *C. ludovicianus* (Figura 15, VI) *U. americanus* (Figura 15, XII) y *C. lupus baileyi* (Figura 15, V). *C. mexicanus* (Figura 15, VII) es la única de las dos especies

anteriores que disminuye su área de distribución, pero aumenta una pequeña porción al oeste de México. Las especies que reducen su área de distribución en el sur del país son: *T. pecari ringens* (Figura 15, XI) y *T. bairdii* (Figura 15, X). En el centro del país *R. diazi* (Figura 15, IX) modifica su área de distribución hacia el estado de Oaxaca. *P. onca* (Figura 15, VIII) pierde área de distribución, pero una porción se mueve más hacia el centro del país.

En cambio, hay especies que aumentan su área de distribución como: *A. americana* (Figura 15, III) que aumenta su distribución más al norte de México. Por otro lado, *A. geoffroyi* (Figura 15, IV) aumenta su área de distribución, pero casi desaparece de su distribución actual porque se modifica más al suroeste del país. La especie que aumenta en mayor cantidad su área de distribución es *A. palliata* (Figura 15, I) aumenta su área de distribución a sur de México.

Fig. 15 Modelos de distribución potencial para los 12 mamíferos prioritarios: *Alouatta palliata* (I), *Alouatta pigra* (II), *Antilocapra americana* (III), *Ateles geoffroyi* (IV), *Canis lupus baileyi* (V), *Cynomys ludovicianus* (VI), *Cynomys mexicanus* (VII), *Panthera onca* (VIII), *Romerolagus diazi* (IX), *Tapirus bairdii* (X), *Tayassu pecari ringens* (XI) y *Ursus*

americanus (XII), en México. Se muestra marcado en gradilla en el mapa de México las Áreas Naturales Protegidas, de color gris claro el área de distribución potencial en condiciones climáticas actuales (ADPP), de rosa el área de distribución potencial ante condiciones de cambio climático (ADPF), de morado el área de distribución potencial que se conserva en el escenario del presente y en de cambio climático (ADPPF) y los puntos amarillos indican el registro de presencias de las especies.

I

Alouatta palliata

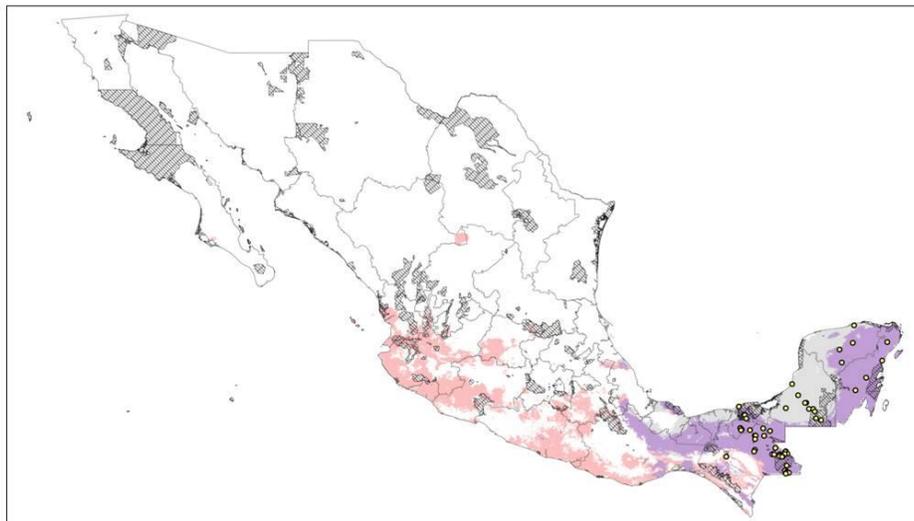


Leyenda



II

Alouatta pigra

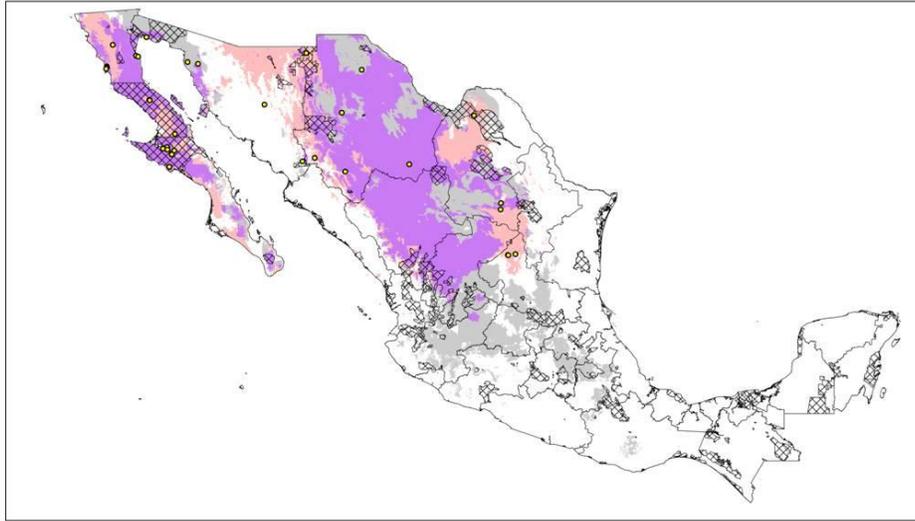


Leyenda



III

Antilocapra americana



Leyenda



ANP



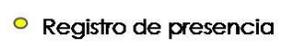
ADPP



ADPF



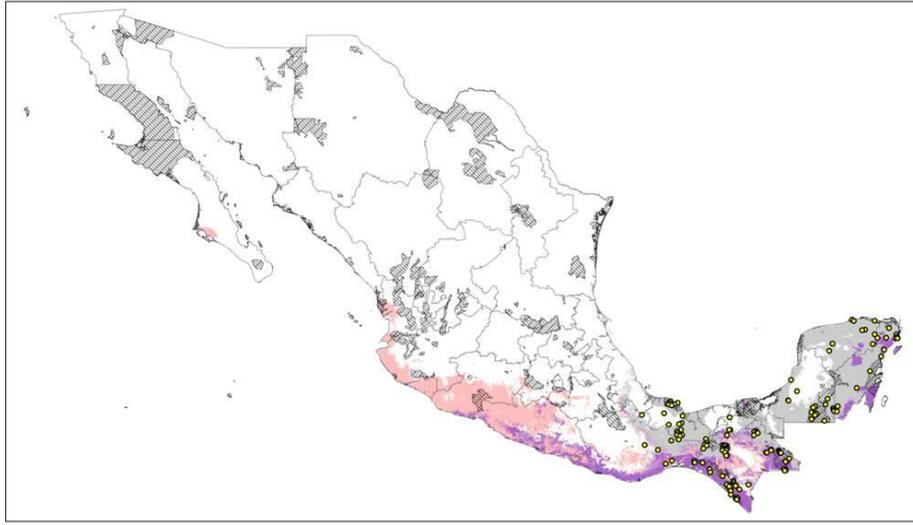
ADPPF



Registro de presencia

IV

Ateles geoffroyi

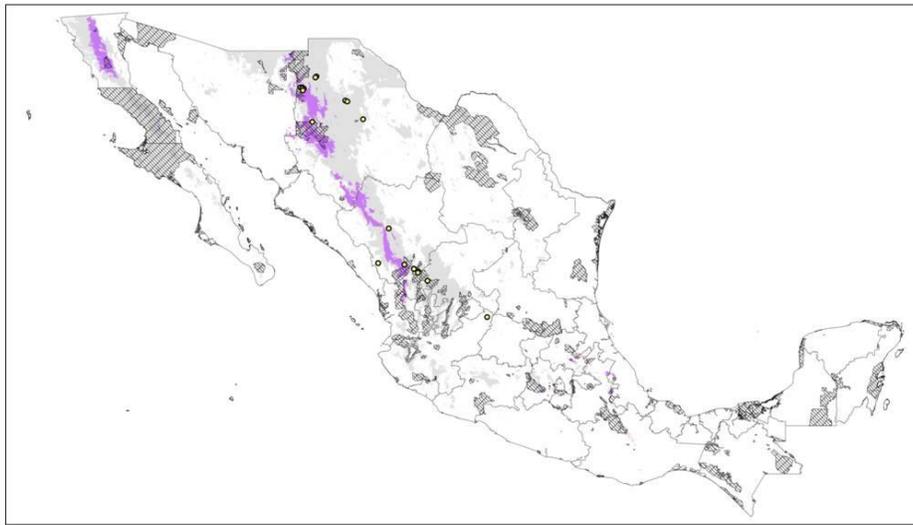


Leyenda



V

Canis lupus baileyi



Leyenda



VI

Cynomys ludovicianus



Leyenda



VII

Cynomys mexicanus

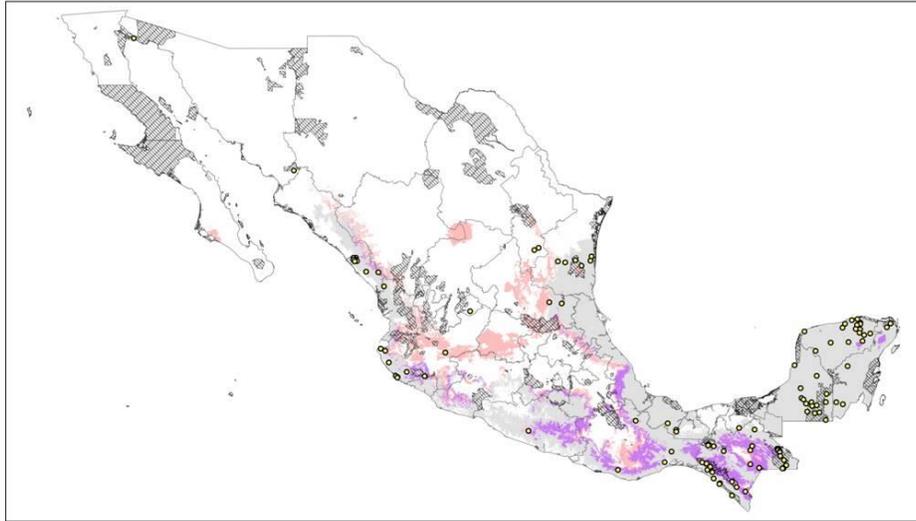


Leyenda



VIII

Panthera onca



Leyenda



IX

Romerolagus diazi



Leyenda



X

Tapirus bairdii

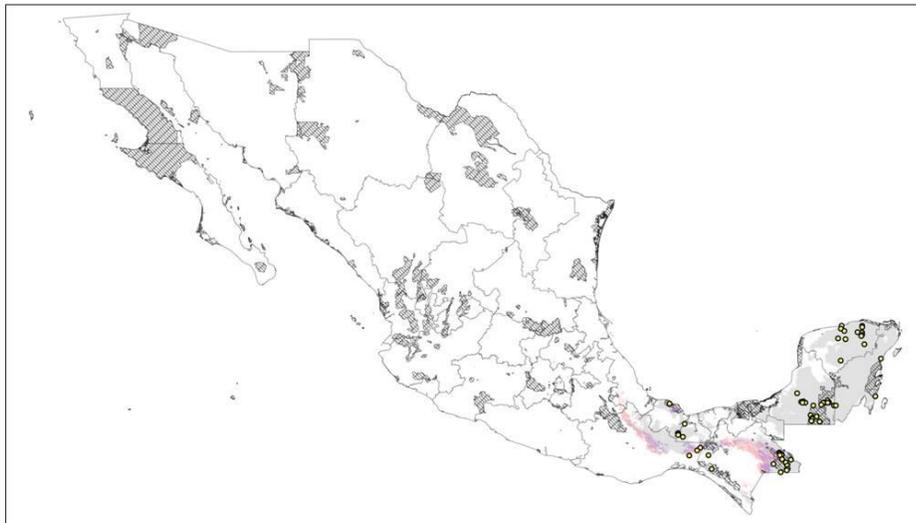


Leyenda



XI

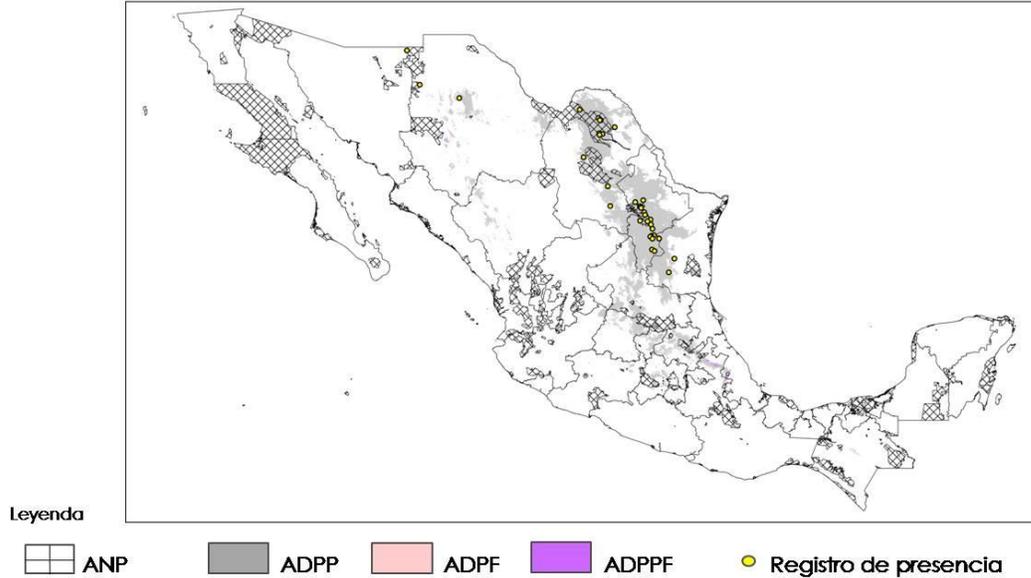
Tayassus pecari ringens



Leyenda



XII

Ursus americanus

4.1. Empalme de mapas de distribución potencial con Áreas Naturales Protegidas

De acuerdo a los mapas de distribución potencial arrojados por el modelado de nicho ecológico y su empalme con los mapas de Áreas Naturales Protegidas, los 12 mamíferos prioritarios a lo largo de su distribución están dentro de ANP, tanto en condiciones climáticas actuales como ante condiciones de cambio climático. Como podemos observar en la Tabla 7 en el escenario del presente, las especies que tienen menos del 10% de su distribución dentro de un ANP son: *T. bairdii*, *A. palliata*, *A. geoffroyi*, *T. pecari ringens* y *R. diazi*. Por otro lado, las especies que cuentan con más del 10% son: *P. onca*, *A. pigra*, *U. americanus*, *C. lupus baileyi*, *C. mexicanus*, *A. americana* y *C. ludovicianus* (Tabla 7).

En el escenario del futuro (2075-2099) las especies con menor área de distribución empalmada dentro de un ANP serán: *C. mexicanus*, *A. palliata*, *A. geoffroyi*, *R. diazi* y *T. pecari ringens* cada una con menos del 10% (Tabla7). Las especies que cuentan con más

del 10% de su área de distribución dentro de un ANP en condiciones de cambio climático son: *P. onca*, *A. pigra*, *A. americana*, *T. bairdii*, *C. lupus baileyi*, *C. ludovicianus* y *U. americanus* (Tabla 7).

Sin embargo, *A. americana* y *A. pigra* son los únicos de los mamíferos prioritarios que al aumentar su área de distribución en el futuro CD, también aumentará su área dentro de un ANP, aunque solo aumentan menos del 10 % (Tabla 7). Además, son las especies que pierden menos del 31% de ADP SD. Las especies que pierden al mismo tiempo ADP y área dentro de un ANP son 3: 1) *C. mexicanus* pierde SD 99.9% y CD 99.38% de su ADP y pierde 12.66% de su distribución dentro de ANP respecto al presente, 2) *C. ludovicianus* pierde SD 99.42% y CD 99.18% de su ADP y disminuye 8.92% de su distribución dentro ANP, y 3) *R. diazi* que pierde SD 59.52% y CD 58.74% de su ADP y disminuye 2.08% (Tabla 6 y 7).

Tabla 7 Porcentaje de área de distribución dentro de ANP. Porcentaje de distribución potencial que arroja el modelado de nicho ecológico dentro de Áreas Naturales Protegidas, en el escenario del presente (1961- 2000) y futuro lejano (2075-2099) ante condiciones de cambio climático (RCP 8.5 W/m²), para cada uno de los 12 mamíferos prioritarios, (-) significa el porcentaje de pérdida.

Especies	ANP presente (1961-2000)	ANP futuro (2075-2099, RCP 8.5 W/m)	Aumento/Disminución
<i>Tapirus bairdii</i>	2.43%	13.47%	11.04%
<i>Ursus americanus</i>	11.26%	21.13%	9.87%
<i>Antilocapra americana</i>	11.86%	19.82%	7.96%
<i>Tayassu pecari ringens</i>	4.93%	7.62%	2.69%
<i>Canis lupus baileyi</i>	14.57%	16.63%	2.06%
<i>Ateles geoffroyi</i>	4.53%	6.50%	1.97%
<i>Alouatta pigra</i>	10.93%	11.25%	0.32%
<i>Panthera onca</i>	10.84%	10.31%	-0.53%
<i>Alouatta palliata</i>	4.08%	2.66%	-1.42%
<i>Romerolagus diazi</i>	9.59%	7.51%	-2.08%
<i>Cynomys ludovicianus</i>	26.08%	17.16%	-8.92%
<i>Cynomys mexicanus</i>	14.96%	2.30%	-12.66%

4.2. Características biológicas de los mamíferos prioritarios

Con base en las características biológicas que tomamos en cuenta en este estudio, podemos determinar la vulnerabilidad intrínseca de los 12 mamíferos prioritarios ante condiciones de cambio climático. En la Tabla 8 se muestra que cuatro de las especies evaluadas no presentan dependencia a ningún detonador ambiental: *A. palliata*, *A. pigra*, *A. geoffroyi* y *R. diazi*. En cambio, el resto de los mamíferos prioritarios, *A. americana*, *C. lupus baileyi*, *C. ludovicianus*, *C. mexicanus*, *P. onca*, *T. bairdii*, *T. pecari ringens* y *U. americanus* sí presentan dependencia a detonadores ambientales para llevar a cabo sus ciclos biológicos. Cada una de estas especies depende de la estacionalidad para poder reproducirse, ya sea por temperatura, precipitación, variación en el fotoperiodo, entre otros factores. Mientras que

U. americanus es el mamífero que resultó tener mayor dependencia a estos detonadores ambientales, porque además de estacionalidad marcada, también depende de la temperatura para llevar a cabo su período de hibernación (Tabla 8).

En cuanto a la alimentación *A. palliata*, *A. pigra*, *A. geoffroyi*, *C. ludovicianus*, *C. mexicanus* y *R. diazi*, tienen un tipo de dieta especialista, es decir que se alimentan de una sola especie, este factor las hace más estrecho su rango de condiciones ambientales óptimas. Mientras que *A. americana*, *C. lupus baileyi*, *P. onca*, *T. bairdii*, *T. pecari ringens* y *U. americanus* tienen una alimentación más versátil, y se puede desarrollar en mayores condiciones ambientales y hacer uso de varios recursos naturales (Tabla 8).

Respecto al tipo de ecosistema en el que pueden habitarlos mamíferos prioritarios, *A. palliata*, *A. pigra*, *A. geoffroyi*, *R. diazi*, *C. ludovicianus*, *C. mexicanus*, *T. bairdii* y *T. pecari ringens*, viven en solo un tipo de ecosistema, lo que hace que tenga más limitadas sus zonas ambientales óptimas. En cambio, *A. americana*, *C. lupus baileyi*, *P. onca* y *U. americanus*, pueden vivir en varios ecosistemas, por lo que tienen una gama más amplia de zonas donde vivir (Tabla 8).

4.3. Índice de vulnerabilidad

Nuestro índice tiene la finalidad de ser una herramienta comparativa entre diferentes especies, su importancia se encuentra en el posicionamiento relativo de las especies en la escala que se construye con él. Es decir, con el índice se crea una escala relativa entre especies, en la cual la especie más vulnerable obtiene el menor valor y la menos vulnerable

el mayor. Para mantener la relación directa entre nuestras variables y el índice de vulnerabilidad, proponemos la suma directa de las cantidades porcentuales de interés.

Construimos el índice de vulnerabilidad basándonos en el estudio de Foden et al. (2009). En él se encuentra la identificación de las características asociadas a la extinción por efecto del cambio climático según el Imperial College London, la UICN y el Zoological Society of London. Dentro de las cinco características que propusieron nosotros seleccionamos cuatro, la característica que dejamos fuera de este estudio fueron las interacciones biológicas debido a que requieren mayor tiempo de estudio y una perfecta comprensión de la relación entre especies distintas. Las cuatro características que utilizamos para el índice son: La especialización de hábitat, dependencia a detonadores ambientales, interacción intraespecífica con sus presas y habilidad para dispersarse o colonizar una nueva área adecuada. Para mantener la relación directa entre la suma de DDA, VA, VH, ANPP, ANPF ADPP, ADPF (SD) Y ADPF (CD).

En la primera parte sumamos en conjunto las siguientes características (Tabla 9):

1. Dependencia a detonadores ambientales (DDA): Muchas especies dependen de señales para llevar a cabo su migración, reproducción, hibernación, temperatura, lluvia, entre otros factores que es probable que por el cambio climático sean modificados.
2. Versatilidad de alimento (VA): Especies dependientes de las interacciones con sus presas se verán afectadas por el cambio climático, ya sea debido a la disminución o pérdida de su alimento. Las especies que tengan un alto grado de especialización de alimento es poco probable que sean capaces de cambiar o sustituirlo por otras especies.

3. Versatilidad de hábitat (VH): Se basa en que las especies que requieran de hábitats generalizados o no especializados es posible que sean capaces de tolerar el cambio climático. En cambio, especies especializadas a un tipo de hábitat es difícil que puedan tolerar cambios en sus áreas adecuadas climáticamente.

Sumamos las tres características porcentuales DDA, VA, VH, en donde DDA tiene tres valores posibles, 1, 0.66 y 0.33, estos corresponden a que la especie no tuviera ninguna DDA, una DDA o más de una DDA respectivamente. De esta manera se establece una dependencia lineal entre las DDA y la vulnerabilidad. Referente a la VA, tenemos dos opciones que sea generalista con un valor de 1 y especialista con valor de 0.66. Y sobre la VH, se tuvieron tres rubros si la especie puede vivir en varios tipos de hábitat les asignamos un valor de 1, si es específico de un hábitat se le dio un valor de 0.66, y si es una especie con un hábitat muy específico porque aparte vive en una zona muy restringida se le dio un valor de 0.33.

Respecto a la habilidad para dispersarse o colonizar una nueva área adecuada que menciona Foden (2009) consideramos con el ADP que arroja el MNE, ya que estos valores están relacionados con cuánta área climáticamente adecuada tendrá la especie en el futuro, con posibilidad de dispersión y sin posibilidad de dispersión. Para este apartado calculamos el área que se ganará o perderá en el futuro respecto a la que se tenía en el presente. La aportación de nuestro índice fue sumarle el porcentaje de ADPP protegido por un ANP en la actualidad y la ADPF en protección de un ANP en el futuro, para así poder asegurar la protección y supervivencia de la especie (Tabla 9).

Tabla 8 Índice de vulnerabilidad. Especie= 12 mamíferos prioritarios, Detonadores ambientales= dependencia a algún detonador ambiental de la que depende el ciclo de vida de la especie, Alimento= especialista si está estrechamente vinculado a un único tipo de alimento o generalista si tiene versatilidad en su dieta, Hábitat= específico si puede vivir en un único tipo de hábitat o varios si la especie es capaz de vivir en diferentes tipos de hábitats, % ANPP= porcentaje de área de distribución potencial dentro de ANP en el presente, % ANPF= porcentaje de área de distribución potencial dentro de ANP en el futuro, %ADPF= porcentaje total de área de distribución potencial en el futuro, V1-3= valor que corresponde dentro del índice de vulnerabilidad. Alta vulnerabilidad= 0.33, vulnerabilidad= 0.66, y neutro = 1.

Especies	DCA	V1	Alimento	V2	Hábitat	V3	% ANPP	%ANPF	ADPP (km ²)	ADPF SD(km ²)	ADPF CD(km ²)
<i>Alouatta palliata</i>	Ninguna	1	Especialista	0.66	Específico	0.66	4.08%	2.66%	459646	279368	991738
<i>Alouatta pigra</i>	Ninguna	1	Especialista	0.66	Específico	0.66	10.93%	11.25%	372753	150562	303295
<i>Antilocapra americana</i>	1	0.66	Generalista	1	Varios	1	11.86%	19.82%	762802	529752	921001
<i>Ateles geoffroyi</i>	Ninguna	1	Especialista	0.66	Específico	0.66	4.53%	6.50%	260041	230352	408142
<i>Canis lupus baileyi</i>	1	0.66	Generalista	1	Varios	1	14.57%	16.63%	404967	37573	49467
<i>Cynomys ludovicianus</i>	1	0.66	Especialista	0.66	Específico	0.66	26.08%	17.16%	17987	1	111
<i>Cynomys mexicanus</i>	1	0.66	Especialista	0.66	Específico	0.66	14.96%	2.30%	181367	3694	27814
<i>Panthera onca</i>	1	0.66	Generalista	1	Varios	1	10.84%	10.31%	599639	284945	932402
<i>Romerolagus diazi</i>	Ninguna	1	Muy especialista	0.33	Específico	0.66	9.59%	7.51%	71772	29050	29612
<i>Tapirus bairdii</i>	1	0.66	Generalista	1	Específico	0.66	2.43%	13.47%	357980	45314	71012
<i>Tayassus pecari ringens</i>	1	0.66	Generalista	1	Específico	0.66	4.93%	7.62%	170160	6719	19075
<i>Ursus americanus</i>	3	0.33	Generalista	1	Varios	1	11.26%	21.13%	224247	1293	1850

Tabla 9 Índice de vulnerabilidad. Vulnerabilidad= valor asignado de acuerdo con las tres características evaluadas: Modelado de nicho, características biológicas, área de distribución dentro de un ANP. El índice va de 0-4, en donde el valor más bajo (0.33) indica mayor vulnerabilidad y el valor más alto (3.15) menor vulnerabilidad.

Especie	Vulnerabilidad
<i>Cynomys mexicanus</i>	0.33
<i>Cynomys ludovicianus</i>	0.42
<i>Tayassu pecari ringens</i>	0.60
<i>Ursus americanus</i>	0.67
<i>Tapirus bairdii</i>	0.80
<i>Romerolagus diazi</i>	0.98
<i>Canis lupus baileyi</i>	1.19
<i>Alouatta pigra</i>	1.76
<i>Antilocapra americana</i>	2.88
<i>Ateles geoffroyi</i>	2.89
<i>Panthera onca</i>	2.90
<i>Alouatta palliata</i>	3.15

5. Discusión

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad ante condiciones de cambio climático de 12 mamíferos prioritarios, a partir de un índice de vulnerabilidad que incorpora información de modelado de nicho, biología de la especie y nivel de protección a futuro por el sistema de Áreas Naturales Protegidas (ANP). Incluir este tipo de información en el análisis ofrece evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático mejor detalladas. A continuación, se estarán discutiendo los principales hallazgos.

5.1. Especies con mayor vulnerabilidad al cambio climático

De acuerdo con el índice de vulnerabilidad las especies más vulnerables, es decir las que obtuvieron valores más bajos en el índice (Tabla 9) son: *Cynomys mexicanus*, *Cynomys ludovicianus*, *Tayassu pecari ringens* y *Ursus americanus*. De manera general los mamíferos

C. mexicanus, *C. ludovicianus* y *T. pecari ringens* tienen en común una poca versatilidad de hábitat y distribución restringida. Ambas características pueden convertir a una especie muy vulnerable a cualquier cambio en su entorno (Ureta 2012; Pearson 2014), a diferencia de *Ursus americanus* que tiene mayor versatilidad de hábitat y eso podría darle una ventaja sobre las otras especies. *C. mexicanus* y *C. ludovicianus*, tienen una alimentación especialista, en cambio *T. pecari ringens* y *Ursus americanus* tienen una alimentación más generalista. De las especies vulnerables, la que obtuvo el menor valor en el índice y por lo tanto, la más vulnerable fue *C. mexicanus*. Esta especie tuvo bajos valores en los tres criterios que se tomaron en cuenta en el índice: ADP futura, ADP dentro de un ANP y características biológicas. Es una especie que se encuentra estrechamente relacionada a un hábitat de ambientes secos y poca precipitación (Treviño-Villareal y Grant 1990; CONABIO 2011), que bajo condiciones de cambio climático se espera se vuelva aún más seco y cálido (IPCC 2014). Además, esta especie no suele migrar a sitios lejanos por lo que se espera una importante reducción de su hábitat bajo cambio climático, tal como se sugiere en nuestros resultados con distribución limitada. Finalmente, su dependencia a detonadores ambientales para la reproducción podría ocasionar que las colonias si saltaran ciclos reproductivos (Treviño-Villareal y Grant 1990). El caso de *C. ludovicianus* es muy similar a *C. mexicanus*, razón por la que es la segunda especie más vulnerable en nuestra lista. La vulnerabilidad de *C. ludovicianus* ha sido ya reconocida en otros estudios en los que se proyecta un decremento de su ADP de hasta 80% (INE 2008; INE-SEMARNAT 2009; Trejo et al. 2011). Al igual que *C. mexicanus*, *C. ludovicianus* tiene un estrecho vínculo con su hábitat que se proyecta como vulnerable al cambio climático (Wiens 2009). También tiene gran dependencia a detonadores ambientales para su reproducción, siendo la hembra receptiva al macho únicamente una vez año (CONABIO 2011). Salió menos vulnerable al cambio climático que *C. mexicanus* porque

pierde menor ADP en el futuro. Ninguna de estas dos especies estará suficientemente bien protegida por alguna ANP en el futuro. Aunado al impacto del cambio climático, estas dos especies también están siendo amenazada por el cambio de uso de suelo y el envenenamiento (Álvarez-Castañeda et al. 2008).

La tercera especie en nuestro índice de vulnerabilidad es *T. pecari ringens*. Nuestros resultados sobre esta especie están en la misma línea con resultados obtenidos de otro trabajo (Martínez-Martínez y Ballesteros-Barrera 2017) en donde hablan de una importante disminución en el ADP. También se proyectó un repliegue de sus poblaciones hacia las ANP. Al igual que las otras tres especies más vulnerables de este estudio, *T. pecari ringens* también tiene dependencia a detonadores ambientales en su ciclo reproductor y está estrechamente vinculado a su hábitat. Esta especie al igual que las del género *Cynomys*, está siendo amenazada por otros factores como cambio de uso de suelo.

Finalmente, *U. americanus* es la especie de este grupo que muestra mayor dependencia a detonadores ambientales: Tiene un periodo de hibernación (Brody y Pelton 1988; Larivière 2001), estacionalidad marcada en periodo de reproducción y alumbramiento estacional (Leopold 1977; Larivière 2001). Se han hecho estudios que indican que la variación en la disponibilidad del alimento influye directamente en la reproducción y sobrevivencia de la especie (Rogers 1976; Costello et al. 2001, 2003). Además, presenta estacionalidad marcada en periodo de reproducción, las hembras poseen un mecanismo de implantación retardada, la hembra realiza la gestación al tener los suficientes suministros de grasa para soportar el parto y alimentar a los cachorros durante la hibernación (Leopold 1977; Larivière 2001). Por lo que si se modifican estos patrones debido al cambio climático la hembra podría dar a luz cachorros

con menor peso, lo que afecta la subsistencia de la especie, e incluso podría perder la capacidad de quedar preñada al no tener los suficientes suministros para mantenerse a sí misma. A diferencia de las otras especies de este grupo de mamíferos más vulnerables al cambio climático, tiene mayor versatilidad en cuanto a su hábitat y alimentación (Larivière 2001; Pelton et al. 1999; Corona et al. 2005). Sin embargo, esta especie llega a ser una de las más vulnerables debido a que su distribución se ve extremadamente reducida en el futuro ante condiciones de cambio climático. Estos resultados están en la misma dirección que lo que se obtuvo por Crosby et al. (2016). Tanto en esta especie como en *T. pecari ringens* se ve un aumento a futuro en el porcentaje de área dentro de un ANP, pero este aumento es únicamente debido a una muy alta disminución en el ADP.

5.2. Especies con valores intermedios de vulnerabilidad al cambio climático

Con valores intermedios en nuestro índice de vulnerabilidad (Tabla 9) están las especies *T. bairdii*, *R. diazi*, *C. lupus baileyi* y *A. pigra*. De manera general *T. bairdii*, *R. diazi* y *A. pigra* tienen en común que no presentan ninguna dependencia a detonadores ambientales, y tienen poca versatilidad de hábitat, que no tengan DDA les podría dar una ventaja sobre las otras especies, sin embargo, la poca VH puede provocar que cualquier cambio en su hábitat amenace la supervivencia de las especies. *A. pigra* y *R. diazi* tienen una alimentación más especialista, este tipo de alimentación depende de su tipo de hábitat. Mientras que *T. bairdii* tiene una alimentación más generalista, al igual que *C. lupus baileyi*. Sin embargo, *C. lupus baileyi* puede vivir en varios tipos de hábitat, tiene una dieta más variada, pero depende de la estacionalidad para su reproducción. De las especies con valores intermedios de vulnerabilidad, la especie que tuvo el valor más bajo fue *T. bairdii*. Se encuentra en valores intermedios principalmente por perder más del 80% de su ADP, además de presentar poca

versatilidad de hábitat y dependencia a claves ambientales. *T. bairdii* se encuentra estrechamente relacionada a su hábitat. Es una especie que se encuentra intrínsecamente relacionada a cuerpos de agua para llevar a cabo su ciclo de vida (Naranjo 2001), y en condiciones de cambio climático se esperan intensas sequías que amenazarán su hábitat (Reyna-Hurtado et al. 2010; Mardero et al. 2012; Pérez-Cortez 2012). Por lo anterior, el cambio climático impactará negativamente a *T. bairdii* debido a un aumento en la severidad de las sequías lo que disminuye la disponibilidad de agua (García et al. 2016).

R. diazi es la segunda especie con valores intermedios en nuestro índice de vulnerabilidad. Esta especie tuvo bajos valores en dos de los criterios que tomamos en cuenta en el índice: ADP dentro de un ANP y características biológicas, a pesar de ello no se encuentra dentro de las especies más vulnerables porque no pierde tanta ADP futura en comparación con las especies más vulnerables de nuestro índice. *R. diazi* es una especie con un hábitat muy restringido (CONABIO, 2010) y se encuentra fuertemente relacionada a su hábitat al igual que *T. bairdii*. Está muy adaptada a los zacatonales, por este motivo es muy probable que si se modifican sus zonas óptimas por cambio climático se reduzca su área de distribución (Domínguez-Pérez 2007). Señalamos que esta especie se encuentra gravemente amenazada al encontrarse restringida a una región geográfica, por lo que no solo el cambio climático es relevante para esta especie, cualquier cambio en su hábitat podría llevarla hacia su desaparición. Sin embargo, la vulnerabilidad de esta especie ya ha sido reportada en otros estudios, que indican la pérdida de más del 50% de su área de distribución en condiciones de cambio climático (Domínguez-Pérez et al. 2007; INE-SEMARNAT 2009; Tejo et al. 2011). Además, también se predice que el cambio climático causará la reducción de su hábitat, y *R.*

diazi encontrará condiciones ambientales óptimas en zonas con mayores altitudes (Escalante et al. 2007; Pérez 2008; Anderson et al. 2009).

La tercera especie con valores intermedios dentro de nuestro índice de vulnerabilidad es *C. lupus baileyi*. Es la especie de este grupo que muestra menor dependencia a detonadores ambientales, puede vivir en varios hábitats y alimentarse de distintas especies. Sin embargo, se sabe que los lobos tienen una fuerte relación con el clima para completar su ciclo de reproducción (Stenseth et al. 2002). Si el período de invierno no es tan extremo las manadas de lobos serán más pequeñas, por lo que la población de lobos estará limitada por la disponibilidad de alimento y la competencia intraespecífica (Lara-Díaz 2010). Aunado a lo anterior nuestro estudio indica que *C. lupus baileyi* pierde mucha área de distribución potencial en condiciones de cambio climático. Así mismo, la especie se no se encuentra amenazada por el cambio climático, también en la actualidad ha sido extirpada en vida libre por la cacería, cambio de uso de suelo y envenenamiento (CONABIO 2011). Este estudio aporta información para los programas de reintroducción de especies, que se han convertido en un paso clave para evitar las extinciones, así como para reconstruir las comunidades naturales perturbadas por las actividades humanas (Martínez-Meyer 2006).

Por último *A. pigra*, muestra estrecha relación con su hábitat (Marsh et al. 2008). Al igual que las dos primeras especies con valores intermedios de nuestro índice de vulnerabilidad *R. diazi* y *T. bairdii*. Nuestro estudio arroja valores bajos para la especie dentro del rubro de las características biológicas, debido a que no muestra versatilidad de hábitat y tiene una alimentación más especialista. Se predice en otro estudio (IPCC 2001) que el cambio climático afectará el hábitat de *A. pigra*, debido al aumento de la temperatura y a una menor

precipitación en regiones tropicales donde habita la especie. Así que el cambio climático podría ser un determinante en la distribución de especies tropicales, composición y diversidad al modificar la disponibilidad de recursos esenciales para las especies (Engelbrecht et al.2007). De la misma manera que las otras tres especies con valores intermedios de vulnerabilidad de este estudio están siendo amenazadas por otros factores como la fragmentación de su hábitat.

5.3. Especies con menor vulnerabilidad al cambio climático

Las especies que se encuentran en los valores más altos de nuestro índice (Tabla 9) son: *Antilocapra americana*, *Ateles geoffroyi*, *Panthera onca*, y *Alouatta palliata*. La primera especie del grupo de las especies menos vulnerables de nuestro índice es *A. americana*. La especie obtuvo valores altos en algunos rubros de nuestro índice, porque vive en varios ecosistemas, se alimenta de diferentes especies y gana área de distribución potencial en el futuro. Al igual que las tres especies anteriores, la principal amenaza para la especie es el cambio de uso de suelo (SEMARNAP 2000). Sin embargo, a pesar de que el cambio climático no amenaza sustancialmente a la especie es muy importante tener consideraciones para su conservación. Nuestros resultados arrojan que *A. americana* perderá área de distribución en condiciones de cambio climático SD. Ya se ha documentado que es muy difícil que *A. americana* pueda desplazarse y atravesar por sí sola hacia las zonas ambientalmente adecuadas para su supervivencia. A pesar de que un estudio indica que *A. americana* tiene dos migraciones de 80-258 km dentro de Yellowstone (White et al. 2007), por lo que en las condiciones adecuadas esta especie podría desplazarse. Sin embargo, entre los años 1997-2000, se evidenció que hay zonas ambientalmente óptimas para que viva la especie, pero no han sido utilizadas porque la especie no ha logrado desplazarse hacia ellas por falta de acceso (CONABIO 2011).

La segunda especie menos vulnerable de nuestro índice es *A. geoffroyi*. Sin embargo, se tiene que tener precaución al afirmar que la especie no es vulnerable al cambio climático, porque muestra valores bajos en algunos rubros del índice por su fuerte relación a su hábitat, no tiene versatilidad de alimento y tiene poca protección de un ANP. Se han hecho estudios que indican que la especie es susceptible a cualquier cambio en su entorno, por lo que no solo el cambio climático la hace vulnerable. Un estudio muestra que las poblaciones de la especie están declinando principalmente porque depende de la calidad de su hábitat y de sus fuentes de alimento (CONABIO 2011), por lo que el cambio climático causará el aumento de temperatura y provocará la pérdida de las selvas húmedas amenazando la supervivencia de *A. geoffroyi*. Sin embargo, nuestros resultados indican que esta especie es menos vulnerable porque perderá poca área de distribución si tiene forma de dispersarse en el futuro respecto a los otros 11 mamíferos prioritarios. Otros estudios indican que el cambio climático podría provocar el aumento de la temperatura y disminuirá la precipitación (Korstjens et al. 2010; FAO 2011). Probablemente, *A. geoffroyi* se verá forzada a prolongar su tiempo de descanso para llevar a cabo su proceso de termorregulación y digestión. Si la especie prolonga su tiempo de descanso limitará otras actividades, y como consecuencia se reducirá el tamaño de las poblaciones, e incluso podría reducir su área de distribución, lo que incluso amenazaría la supervivencia de la especie en condiciones de cambio climático (Anderson et al. 2009; González-Zamora et al. 2011).

La tercera especie menos vulnerable dentro de nuestro índice es *P. onca*. La especie mostró valores altos en nuestro índice porque tiene ventajas sobre las otras especies de nuestro estudio, se puede alimentar de varias especies, tiene una amplia distribución y habita en una

gran variedad de ecosistemas (Ceballos et al. 2002), cuenta con más del 10% de su ADP protegida por un ANP, e incluso gana área de distribución en el futuro. Por lo que el cambio climático no será la principal amenaza que enfrenta la especie, su principal amenaza es la pérdida y fragmentación de su hábitat, y la cacería (Harmsen 2010; Foster et al. 2010; Medellín et al. 2016). Se sabe que los carnívoros de talla grande se verán más afectados si incrementan los cambios en su hábitat (Pérez-Irineo y Santos-Moreno 2014), y el cambio climático podría afectar la calidad de su hábitat y la abundancia de sus presas (Brown y Davis 1999). Así mismo, una de las principales presas de *P. onca* es *T. pecari* (CONABIO 2011), la cual se encuentra en nuestro índice con valores altos de vulnerabilidad al cambio climático, por lo que un cambio en la abundancia de sus presas podría amenazar la supervivencia de la especie (Aranda 1994). En la misma línea que nuestro estudio distintos estudios predicen que el cambio de uso de suelo y el cambio climático modificarán y reducirán las zonas ambientalmente adecuadas para la especie (Cuervo-Robayo y Monroy-Vilchis 2012; Peña-Mondragón y Castillo 2013).

Finalmente, la especie menos vulnerable de nuestro índice es *A. palliata*. La especie obtuvo valores altos en el índice de vulnerabilidad porque es la única especie en comparación con los otros 12 mamíferos que aumenta casi el doble su ADP con posibilidad de dispersión. Sin embargo, al igual que *A. geoffroyi*, *P. onca* y *A. americana*, su principal amenaza es la pérdida y fragmentación de su hábitat (Mandujano et al. 2004; CONABIO 2011). La especie se encuentra fuertemente relacionada a su hábitat, y este hábitat la provee de recursos para su supervivencia. Un estudio indica que el cambio climático modificará la estructura vegetal que conforma el patrón alimenticio de *A. palliata* (Dunn et al. 2010), ya que la distribución de muchas especies de plantas cambiará y la supervivencia de las especies dependerá de su

capacidad para dispersarse y establecerse (Leishman et al. 1992). *A. palliata* tendrá que modificar su distribución para encontrar su alimento y así asegurar la supervivencia de la especie (Dunn et al. 2009).

5.4. Limitantes del índice de vulnerabilidad

La vulnerabilidad al cambio climático es multifactorial. En esta tesis procuramos tomar en cuenta varios de los factores más importantes como la vulnerabilidad intrínseca y las condiciones climáticamente óptimas a las que se enfrentarían las especies en el futuro. Sin embargo, puede haber muchos otros factores involucrados e incluso interactuando de manera simultánea. Tal es el caso del disturbio antropogénico. Nos enfocamos a hacer un índice de mamíferos únicamente, que es uno de los grupos más conocidos, pero es claro que la tarea de generar un único índice para varias especies es sumamente complicado. Incluso cuando estas especies conforman un solo grupo de vertebrados, siguen siendo muy distintas entre sí. Esta experiencia nos muestra la gran complejidad de crear un índice único para todas las especies del planeta. El reto es enorme, pero dado que los recursos para la conservación son limitados, es importante seguir haciendo el esfuerzo para poder priorizar.

5.5. Vulnerabilidad al cambio climático o vulnerabilidad a otros factores

Los ecosistemas están siendo impactados por las actividades de la humanidad (Hernández Ramírez 2014). Actualmente la pérdida y fragmentación del hábitat es considerada como una de las principales causas de la crisis de biodiversidad (Santos y Tellería 2006), sin embargo, los ecosistemas también son potencialmente vulnerables al cambio climático (Michener et al. 1997). El clima no lo podemos controlar, pero sí podemos mejorar las condiciones de sus hábitats para facilitar su capacidad adaptativa. Se sabe que hay especies que dependen de sus

hábitats y son muy susceptibles a cualquier cambio que suceda en ellos, estas especies se caracterizan por presentar ciclos de vida largos, baja fecundidad, limitada capacidad de dispersión, una mayor especificidad de requerimientos de su hábitat, distribución restringida y baja tolerancia a condiciones estresantes (Hernández Ramírez 2014). En este grupo se encuentran varios de los mamíferos de nuestro estudio, por lo cual no nos resulta insensato que para algunas de nuestras especies el cambio climático no sea su principal amenaza. Los mamíferos de nuestro estudio presentaron en el índice de vulnerabilidad gran especificidad de requerimientos ecológicos, como son hábitos de alimentación específicos, o bien son un grupo de especies endémicas o de distribución restringida. Además, las especies tienden a presentar patrones de distribución discontinuos producidos por la variación espacial de las condiciones ambientales que determinan la calidad de sus hábitats (Arroyo et al. 2004; Hansson y Merriam 2012). No obstante, se sabe que el área de distribución de las especies cambia con el tiempo (Maciel-Mata et al. 2015), por lo que el cambio de uso de suelo podría limitar el movimiento de la especie hacia otras áreas ambientalmente adecuadas para la especie. Es importante tomar en cuenta otras características que podrían hacer indirectamente vulnerable a alguna especie como su interacción con especies invasoras, barreras geográficas que no permitan a una especie migrar, el cambio uso suelo o la fragmentación o pérdida de hábitat. Por lo tanto, es importante considerar el nivel de protección de las especies dentro de las ANP, porque probablemente si les aseguramos ecosistemas sanos las especies logren sobrevivir. Nuestro estudio indica que, si bien una especie se puede ver favorecida al aumentar su área de distribución potencial bajo condiciones de cambio climático, puede a su vez estar en desventaja por encontrarse dentro de una zona con perturbación humana. Aunado a lo anterior, las acciones de conservación de especies deben tomar en cuenta a especies cuya área de

distribución no estará sujeta a protección por ANP, al encontrarse en zonas fragmentadas o desplazada a áreas menos protegidas y más impactadas por el ser humano.

6. Conclusiones

Este estudio es un esfuerzo para aumentar nuestro conocimiento de la vulnerabilidad de las especies al cambio climático. A través de este esfuerzo, fue posible generar un índice de vulnerabilidad que nos permitió comprender que se deben tomar distintos factores en conjunto para comprender la vulnerabilidad que enfrentarán las especies al cambio climático. Es importante destacar que a pesar de los esfuerzos por crear un índice único de vulnerabilidad para todas las especies es sumamente complicado. Trabajamos con un grupo selecto de mamíferos, que son de los animales mejor conocidos en el planeta. Que haya diversos estudios de los mamíferos de nuestro estudio nos ayudó a lograr cumplir con el objetivo para evaluar su vulnerabilidad al cambio climático, a partir de la generación de un índice de vulnerabilidad, que incorporó información de la biología de cada especie. Sin embargo, aunque se cuenta con un conocimiento detallado sobre la biología de estas especies, el hablar de la mayor vulnerabilidad al cambio climático de una especie sobre otra resulta muy difícil si consideramos que los esfuerzos y presupuesto se tendrían que dirigir. Por lo cual, la hipótesis que presentamos solo es aceptada para algunos de los mamíferos prioritarios que muestran una relación de especialización en todos los rubros tomados en cuenta en el índice de vulnerabilidad. Donde el cambio climático afectará más a los mamíferos prioritarios que tengan especialización de alimento o hábitat, dependencia a detonadores ambientales, que estén sometidas a cambios drásticos en su distribución futura y que no cuenten con dicha distribución protegida por un ANP. El MNE nos permitió comprender que en el futuro

existirán áreas climáticamente adecuadas para la mayoría de las especies. Aunque, también el MNE nos permitió observar que con *Ursus americanus* no se cumple del todo nuestra hipótesis, ya que se solo se encuentra dentro de las especies más vulnerables porque pierde demasiada área de distribución en el futuro. Por eso señalamos que el papel de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) es fundamental para proteger el área de distribución de las especies al enfrentarse al cambio climático. Puesto que, ayudan a preservar la supervivencia de todas las especies y no sólo elegir cual es más vulnerable respecto a la otra. Se deben de ampliar las áreas donde las especies encuentren sus zonas ambientales óptimas, para así coexistir de una manera más armoniosa y poder mantener las interacciones tróficas. Cada una de las especies de nuestro planeta es muy importante y si lo vemos de una manera antropocéntrica la extinción masiva de especies provocada por fenómenos como el cambio climático tarde o temprano terminará en nuestra propia extinción.

Finalmente, el cambio climático puede afectar a las especies de manera indirecta al modificar sus interacciones biológicas o simplemente que las especies tengan características biológicas que las hagan vulnerables a cualquier cambio ambiental.

7. Literatura citada

Alba-Sánchez, F., López-Sáez, J. A., Pando, B. B. D., Linares, J. C., Nieto-Lugilde, D., & López-Merino, L. (2010). Past and present potential distribution of the Iberian *Abies* species: a phytogeographic approach using fossil pollen data and species distribution models. *Diversity and Distributions*, 16 (2), 214-228.

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of applied ecology*, 43 (6), 1223-1232.

Álvarez-Castañeda, S.T., Castro-Arellano, I., Lacher, T. & Vázquez, E. (2008). *Cynomys mexicanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T6089A12413949.

Anderson, B. J., Akçakaya, H. R., Araújo, M. B., Fordham, D. A., Martinez-Meyer, E., Thuiller, W., & Brook, B. W. (2009). Dynamics of range margins for metapopulations under climate change. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, rspb-2008.

Aranda, M. (1994). Importancia de los pecaries (*Tayassu spp.*) En la alimentación del jaguar (*Panthera onca*). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, (62), 11-22.

Aranda, M., & Sánchez-Cordero, V. (1996). Prey spectra of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in tropical forests of Mexico. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 31 (2), 65-67.

Arita, H. T. (1991). Spatial segregation in long-nosed bats, *Leptonycteris nivalis* and *Leptonycteris curasoae*, in Mexico. *Journal of Mammalogy*, 72 (4), 706-714.

Arroyo, J. M., Carrión, J. S., Hampe, A., & Jordano, P. (2004). La distribución de las especies a diferentes escalas espacio-temporales.

Bagatella, S. H. M., & Romero, A. G. (2015). Análisis demográfico de una especie en estado crítico de conservación: la ardilla de Perote. *THERYA*, 5 (3), 737-749.

Brody, A. J., & Pelton, M. R. (1988). Seasonal changes in digestion in black bears. *Canadian Journal of Zoology*, 66 (6), 1482-1484.

Brown, D. E., & Davis, R. (1999). One Hundred Years of Vicissitude: Terrestrial Bird and Mammal Distribution Changes in the American Southwest. *Biodiversity and the Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico*, 231.

- Cafferatta, N. A. (2004). El principio precautorio. *Gaceta Ecológica*, (73), 5-21.
- Cárdenas, M. J. (2010). México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. *México. Greenpeace*.
- Carpenter, C. R. (1935). Behavior of red spider monkeys in Panama. *Journal of Mammalogy*, 16 (3), 171-180.
- Ceballos, G., Mellink, E., & Hanebury, L. R. (1993). Distribution and conservation status of prairie dogs *Cynomys mexicanus* and *Cynomys ludovicianus* in Mexico. *Biological Conservation*, 63-(2), 105-112.
- Ceballos, G., Rodríguez, P., & Medellín, R. A. (1998). Assessing conservation priorities in megadiverse Mexico: mammalian diversity, endemism, and endangerment. *Ecological Applications*, 8 (1), 8-17.
- Ceballos, G., Pacheco, J., & List, R. (1999). Influence of prairie dogs (*Cynomys ludovicianus*) on habitat heterogeneity and mammalian diversity in Mexico. *Journal of arid environments*, 41 (2), 161-172.
- Ceballos, G., & Pacheco, J. (2000). Los perros llaneros de Chihuahua. Importancia Biológica y Conservación. *Biodiversitas (Boletín de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO)*, 31, 1-5.
- Ceballos, G., Chávez, C., Rivera, A., Manterola, C., & Wall, B. (2002). Tamaño poblacional y conservación del jaguar en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México. *El jaguar en el nuevo milenio*, 403-418.
- Ceballos, G., & Oliva, G. (2005). Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Ceballos, G. (Ed.). (2014). *Mammals of Mexico*. JHU Press.
- Cervantes-Reza, F. A. (1982). Observaciones sobre la reproducción del Zacatuche o Teporingo *Romerolagus diazi* (Mammalia: Lagomorpha). *Doñana-Acta Vertebrata*, 9, 416-420.
- Cervantes, F. A., Lorenzo, C., & Hoffmann, R. S. (1990). *Romerolagus diazi*. *Mammalian Species*, (360), 1-7.
- Cervantes, F. A., & Martínez, J. (1992). Food habits of the rabbit *Romerolagus diazi* (Leporidae) in Central México. *Journal of Mamm.* 73, 830-834.
- Cervantes, F. A., & González, F. X. (1996). Los conejos y liebres silvestres de México. En *Ecología y conservación del conejo zacatuche (Romerolagus diazi) y su hábitat*. México:

Fondo de Cultura Económica.

Cherry, S. G., Derocher, A. E., Stirling, I., & Richardson, E. S. (2009). Fasting physiology of polar bears in relation to environmental change and breeding behavior in the Beaufort Sea. *Polar Biology*, 32 (3), 383-391.

CONABIO. (2010). Teporingo *Romerolagus diazi*. Fichas de Especies Mexicanas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

CONABIO. 2011. Fichas de especies prioritarias. Berrendo (*Antilocapra americana*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. 2011. Fichas de especies prioritarias. Jaguar (*Panthera onca*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. (2011). Fichas de especies prioritarias. Lobo mexicano (*Canis lupus*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. (2011). Fichas de especies prioritarias. Mono Araña (*Ateles geoffroyi*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. (2011). Fichas de especies prioritarias. Mono Aullador Pardo (*Alouatta palliata*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. (2011). Fichas de especies prioritarias. Perrito de la Pradera Cola Negra (*Cynomys ludovicianus*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.

CONABIO. (2011). Fichas de especies prioritarias. Perrito Llanero Mexicano (*Cynomys mexicanus*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. (2011). Fichas de especies prioritarias. Oso Negro (*Ursus americanus*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO & KU. (2011). Validación del modelo. octubre, 08, 2018, de Nichos y Áreas de Distribución Sitio web: <http://nicho.conabio.gob.mx/home/proposito-y-guia-del-usuario/validacion-del-modelo>

CONABIO. (2012). Dos décadas de historia. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 35.

CONABIO., CONANP., INE., DGVS-SEMARNAT., & PROFEPA. (2012). Propuesta de lista de especies prioritarias para la conservación en México. México, 22.

CONANP. (2009). Programa de Acción para la Conservación de Especies: Berrendo. CONANP-SEMARNAT. México.

CONANP. (2009). Programa de Acción para la Conservación de Especies: Jaguar (PACE: Jaguar). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

CONANP. 2009. Programa de Acción para la Conservación de Especies (PACE). <http://procer.conanp.gob.mx/>

CONANP. 2009. Programa de Acción para la Conservación de la Especie: lobo gris mexicano (*Canis lupus baileyi*), México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

CONANP. (2017). Biodiversidad y Carbono Forestal en Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre Oriental, México. octubre, 15, 2018, de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248950/Biodiveresidad_y_carbono_SMO.PDF.

CONANP. (2017). Biodiversidad y Carbono Forestal en Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre Oriental, México. octubre, 15, 2018, de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/248950/Biodiveresidad_y_carbono_SMO.PDF

CONANP. (2018). Áreas Naturales Protegidas decretadas. septiembre, 12, 2018, de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Sitio web: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm

Conde-Álvarez, C., & Saldaña-Zorrilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23 (2), 23-30.

Conde Álvarez, A. C., & Gay García, C. (2008). Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional.

Corona, R. S., Vazquez, I. A. S., Hurtado, M. D. C. S., & Gonzalez, C. A. L. (2005). Black bear abundance, habitat use, and food habits in the Sierra San Luis, Sonora, Mexico. In: Gottfried, Gerald J.; Gebow, Brooke S.; Eskew, Lane G.; Edminster, Carleton B., comps. Connecting mountain islands and desert seas: biodiversity and management of the Madrean Archipelago II. Proc. RMRS-P-36. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 36, 444-448.

Costello, C. M., Jones, D. E., Green-Hammond, K. A., Inman, R. M., Inman, K. H., Thompson, B. C., & Quigley, H. B. (2001). A study of black bear ecology in New Mexico with models for population dynamics and habitat suitability. Final Report, Federal Aid in Wildlife Restoration Project W-131-R, *New Mexico* Department of Game and Fish, Santa Fe, New Mexico, USA.

Costello, C. M., Jones, D. E., Inman, R. M., Inman, K. H., Thompson, B. C., & Quigley, H. B. (2003). Relationship of variable mast production to American black bear reproductive parameters in New Mexico. *Ursus*, 1-16.

Crawley, M. J. (1993). GLIM for ecologists. Blackwell Scientific Publications, Oxford, United Kingdom.

Cuervo-Robayo, A. P., & Monroy-Vilchis, O. (2012). Potential distribution of jaguar, *Panthera onca* (Carnivora: Felidae) in Guerrero, Mexico: persistence of areas for its conservation. *Revista de Biología Tropical*, 60 (3), 1357-1367.

Delfín-Alfonso, C. A., López-González, C. A., & Lara-Díaz, N. E. (2011). El oso negro americano en el noroeste de México: recuperación de registros de ocurrencia. *Acta zoológica mexicana*, 27 (3), 777-801.

Domínguez-Pérez A. (2007). Efecto del Cambio Climático en la Distribución del Conejo Endémico de México *Romerolagus diazi* (Lagomorpha: Leporidae). Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Dunn, J. C., Cristóbal-Azkarate, J., & Veà, J. J. (2009). Differences in diet and activity pattern between two groups of *Alouatta palliata* associated with the availability of big trees and fruit of top food taxa. *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society*

of *Primatologists*, 71 (8), 654-662.

Dunn, J. C., Cristóbal-Azkarate, J., & Veà, J. J. (2010). Seasonal variations in the diet and feeding effort of two groups of howlers in different sized forest fragments. *International Journal of Primatology*, 31 (5), 887-903.

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, RJ; Huettmann, F; Leathwick, JR; Lehmann, A; Li, J; Lohmann, LG; Loiselle, BA; Manion, G; Moritz, C; Nakamura, M; Nakazawa, Y; Overton, JM; Peterson, AT; Phillips, SJ; Richardson, KS; Scachetti-Pereira, R; Schapire, RE; Soberón, J; Williams, S; Wisz, MS; & Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57.

Engelbrecht, B. M., Comita, L. S., Condit, R., Kursar, T. A., Tyree, M. T., Turner, B. L., & Hubbell, S. P. (2007). Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature*, 447 (7140), 80.

Escalante, T., Rodríguez, G., Gámez, N., León-Paniagua, L., Barrera, O., & Sánchez-Cordero, V. (2007). Biogeografía y conservación de los mamíferos. *Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana*, 485-502,

FAO. (2011). State of the world's forest 2011. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Foden, W., Mace, G., Vié, J.-C., Angulo, A., Butchart, S., DeVantier, L., Dublin, H., Gutsche, A., Stuart, S., & Turak, E. (2008). Species susceptibility to climate change impacts. *The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Gland, Switzerland.

Foden, W., Mace, G., Vié, J.-C., Angulo, A., Butchart, S., DeVantier, L., Dublin, H., Gutsche, A., Stuart, S., & Turak, E. (2009). Species susceptibility to climate change impacts. *Wildlife in a changing world—an analysis of the 2008 IUCN Red List of threatened species*, 77.

Foster, R. J., Harmsen, B. J., & Doncaster, C. P. (2010). Habitat use by sympatric jaguars and pumas across a gradient of human disturbance in Belize. *Biotropica*, 42(6), 724-731.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros 6. Instituto de Geografía, UNAM. México

García, M., Jordan, C., O'Farril, G., Poot, C., Meyer, N., Estrada, N., Leonardo, R., Naranjo, E., Simons, Á., Herrera, A., Urgilés, C., Schank, C., Boshoff, L. & Ruiz-Galeano, M. 2016. *Tapirus bairdii*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016: e.T21471A45173340.

Gaumer, F. (1913). *Monografía sobre el Lagomys diazi; Ferrari Pérez* (No. Folleto 8357).

Gay, C., Conde, C., Eakin, H., Seiler, R., Vinocur, M., & Wehbe, M. (2006). Vulnerability and adaptation to climate change: The case of farmers in Mexico and Argentina. *Final report project* no. LA 29.

González-Zamora, A., Arroyo-Rodríguez, V., Chaves, O. M., Sánchez-López, S., Aureli, F., & Stoner, K. E. (2011). Influence of climatic variables, forest type, and condition on activity patterns of geoffroyi's spider monkeys throughout Mesoamerica. *American Journal of Primatology*, 73 (12), 1189-1198.

Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135 (2-3), 147-186.

Hansson, L., Fahrig, L., & Merriam, G. (2012). *Mosaic landscapes and ecological processes*. Springer Science y Business Media.

Harmsen, B. J., Foster, R. J., Gutierrez, S. M., Marin, S. Y., & Doncaster, C. P. (2010). Scrape-marking behavior of jaguars (*Panthera onca*) and pumas (*Puma concolor*). *Journal of Mammalogy*, 91 (5), 1225-1234.

Herborg, L. M., O'Hara, P., & Therriault, T. W. (2009). Forecasting the potential distribution of the invasive tunicate *Didemnum vexillum*. *Journal of Applied Ecology*, 46(1), 64-72.

Hernández Ramírez A. M. (2014). En el umbral de la extinción. CONABIO. *Biodiversitas*, 113, 1-7.

Hidalgo-Mihart, M. G., & Contreras-Moreno, F. M. (2012). Registro de pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*) en la región de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83 (3), 868-871.

Hidalgo-Mihart, M. G., Contreras-Moreno, F. M., de la Cruz, A. J., Juárez-López, R., Valera-Aguilar, D., Pérez-Solano, L. A., & Hernández-Lara, C. (2015). Registros recientes de jaguar en Tabasco, norte de Chiapas y oeste de Campeche, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86 (2), 469-477.

- 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.
- Hoogland, J. L. (1995). The black-tailed prairie dog. Social life of a burrowing mammal. The University of Chicago Press, Chicago.
- Huerta, M. A. O., & Peterson, A. T. (2008). Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 1 (1), 205-216.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding Remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 22, 415-427.
- Ibarra-Montoya, J. L., Rangel-Peraza, G., Gonzalez-Farias, F., De Anda, J., Zamudio-Reséndiz, M. E., Martínez-Meyer, E., & Macias-Cuellar, H. (2010). Ecological niche model to predict the potential distribution of phytoplankton in the Aguamilpa Dam, Nayarit, México. *Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 5 (3), 60-75.
- Iguchi, K., K. Matsuura, K. McNyset, A. T. Peterson, R. Scachetti-Pereira, K. A. Powers, D. A. Vieglais, E. O. Wiley, & Yodo, T. (2004). Predicting invasions of North American basses in Japan using native range data and a genetic algorithm. *Transactions of the American Fisheries Society* 133 (4), 845-854.
- INE/SEMARNAT. (1999). Proyecto para la Conservación y Manejo del Oso Negro (*Ursus americanus*) en México (105). Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobierno Federal, México.
- INE. (2008). Generación de escenarios de cambio climático a escala regional, al 2030 y 2050; evaluación de la vulnerabilidad y opciones de adaptación de los asentamientos humanos, la biodiversidad y los sectores ganadero, forestal y pesquero, ante los impactos de la variabilidad y el cambio climáticos; y fomento de capacidades y asistencia técnica a especialistas estatales que elaborarán programas estatales de cambio climático. Estudio coordinado por C. Gay y C. Conde, del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM para el Instituto Nacional de Ecología.
- INE-SEMARNAT, M. (2009). Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Comisión Intersecretarial de Cambio Climático*, 119-171.

INECC. (2007). Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. 15/11/2017, de INECC-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Sitio web:

<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/arriaga.html>

INECC. (2012). Identificación de áreas prioritarias para la conservación y su conectividad bajo diferentes escenarios de cambio climático: base para el diseño de áreas naturales protegidas. INECC- Sánchez-Cordero, V., P. Illoldi y M. Linaje (eds.). México.

INECC. (2018). Causas del cambio climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. octubre 1, 2018, de Acciones y Programas Sitio web:

<https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/causas-del-cambio-climatico>

IPCC. (2001). Cambio Climático 2001. La base científica. Contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, USA, 44.

IPCC. (2007): Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104.

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.

Juárez-Casillas, L.A., & Varas, C. (2013). Evaluation of black bear (*Ursus americanus*) diet and consequences in its conservation in Sierra de Picachos, Nuevo León, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 970–976.

Kennedy, M. L., Kennedy, P. K., Bogan, M. A., & Waits, J. L. (2002). Geographic variation in the black bear (*Ursus americanus*) in the eastern United States and Canada. *The Southwestern Naturalist*, 257-266.

Krosby, M., Michalak, J., Robbins, T.O., Morgan, H., Norheim, R., Mauger, G., & Murdock, T. (2016). The Washington - British Columbia Transboundary Climate - Connectivity Project:

Identifying climate impacts and adaptation actions for wildlife habitat connectivity in the transboundary region of Washington and British Columbia. Climate Impacts Group, University of Washington.

Korstjens, A. H., Lehmann, J., & Dunbar, R. I. M. (2010). Resting time as an ecological constraint on primate biogeography. *Animal Behaviour*, 79 (2), 361-374.

Laidre, K. L., Stirling, I., Lowry, L. F., Wiig, O., Heide-Jorgensen, M. P., & Ferguson, S. H. (2008). Quantifying the sensitivity of Arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecological Applications*, 18 (sp2), S97-S125.

Lara-Díaz, N. (2010). La comunidad de mamíferos previa a la liberación de *Canis lupus baileyi* en Sonora, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.

Larivière, S. 2001. *Ursus americanus*. *Mammalian Species*, 647,1-11.

Leishman, M. R., Hughes, L., French, K., Armstrong, D., & Westoby, M. (1992). Seed and seedling biology in relation to modelling vegetation dynamics under global climate change. *Australian Journal of Botany*, 40 (5), 599-613.

Leopold, A. (1977). *Fauna silvestre de México: Aves y mamíferos de caza* (No. SK 473. M6. L4618 1977).

LGVS. (2011). Versión de última reforma. Ley General de Vida Silvestre. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada 26-01-2015

Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B., & Ackerly, D. D. (2009). The velocity of climate change. *Nature*, 462 (7276), 1052-1055.

Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*, 25 (2), 03-19.

Mandujano, S., Escobedo-Morales, L. A., & Palacios-Silva, R. (2004). Movements of *Alouatta palliata* among forest fragments in Los Tuxtlas, Mexico. *Neotropical Primates*, 12 (3), 126-131.

March, I. J., M. de los Á. Carvajal, R. M. Vidal, J. E. San Román, & Ruiz. G. (2009). Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. En Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO,

México, 545-573

Márdero, S., Nickl, E., Schmook, B., Schneider, L., Rogan, J., Christman, Z., & Lawrence, D. (2012). Sequías en el sur de la península de Yucatán: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. *Investigaciones geográficas*, (78), 19-33.

Marsh, L.K., Cuarón, A.D., Cortés-Ortiz, L., Shedden, A., Rodríguez-Luna, E., & de Grammont, P.C. (2008). *Alouatta pigra*. La Lista Roja de Especies Amenazadas 2008 de la UICN: e.T914A13094441.

Martínez-Martínez, L. V., & Ballesteros-Barrera, C. (2017). Pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*; Link, 1795): especie vulnerable ante el Cambio Climático. Séptimo Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático: Del antropoceno a la sostenibilidad.

Martinez-Meyer, E., Peterson, A. T., Servín, J. I., & Kiff, L. F. (2006). Ecological niche modelling and prioritizing areas for species reintroductions. *Oryx*, 40(4), 411-418.

McLean, D. M. (1991). A climate change mammalian population collapse mechanism. *Energy and environment. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, New York, NY*, 93-100.

Medellín, R. A., de la Torre, J. A., Zarza, H., Chávez, C., & Ceballos, G. (2016). *El jaguar en el siglo XXI: la perspectiva continental*. Fondo de Cultura Económica.

Michener, W. K., Blood, E. R., Bildstein, K. L., Brinson, M. M., & Gardner, L. R. (1997). Climate change, hurricanes and tropical storms, and rising sea level in coastal wetlands. *Ecological Applications*, 7 (3), 770-801.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington. 15/11/17, Sitio web: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>.

Mitchell, G. J. (1967). Minimum breeding age of female pronghorn antelope. *Journal of Mammalogy*, 48 (3), 489-490.

Moctezuma, O., Gallo, J.P., & Servín J. (2004). ¿Podrá volver el lobo mexicano?. *Especies. Revista sobre Conservación y Biodiversidad*. México, 13, 4-11.

Moreno-Arzate, C. N. (2008). *Ecología conductual del oso negro (Ursus americanus) en la Sierra Madre Occidental*. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, A. C., México.

- Naranjo, E. J., & Cruz, E. (1998). Ecología del Tapir (*Tapirus bairdii*) en la Reserva de la Biósfera La Sepultura, Chiapas, México. *Acta Zoológica*, 73, 111-125.
- Naranjo, E., & Vaughan, C. (2000). Ampliación altitudinal del tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*). *Revista de Biología Tropical*, 48 (2-3), 724-725.
- Naranjo, E. (2001). El tapir en México. *Biodiversitas*, 36, 9-11.
- Naranjo, E. J., Amador, S. A., Falconi, F. A., & Reyna, R. A. (2013). Conocimiento integral del tapir (*Tapirus bairdii*) y el pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*) en México. El Colegio de la Frontera Sur. Unidad San Cristóbal de las Casas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. HK014. México.
- Nix, H. A. (1986). A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. *Atlas of elapid snakes of Australia*, 7, 4-15.
- Nolasco, A., Lira-Torres, I., & Ceballos, G. (2007). Ampliación del Área de Distribución Histórica del Tapir (*Tapirus bairdii*) en el Pacífico Mexicano. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 11 (1), 91-94.
- Nolasco, A. L. (2009). Distribución Actual y Estado de Conservación del Tapir Centroamericano *Tapirus bairdii* Gill, 1865 (*Perissodactyla: Tapiridae*) en México. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias, UNAM, México
- Norma Oficial Mexicana, NOM-059-SE-MARNAT-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". México: Diario Oficial de la Federación.
- Ortega-Huerta, M. A., & Peterson, A. T. (2008). Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 1(1), 205-216.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637-669.
- Pearson, R.G & Dawson, T.P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12, 361-371.

Pearson, R. G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., Townsend., & Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102-117.

Pearson, R. G., Stanton, J. C., Shoemaker, K. T., Aiello-Lammens, M. E., Ersts, P. J., Horning, N., Fordham, D. A., Raxworthy, C. J., Ryu, H. Y., McNees, J., & Akçakaya, H. R. (2014). Life history and spatial traits predict extinction risk due to climate change. *Nat. Clim. Change* 4, 217–221.

Pelton, M. R., Coley, A. B., Eason, T. H., Martinez, D. D., Pederson, J. A., van Manen, F. T., et al. (1999). American black bear conservation action plan. C. *Servheen, S. Herrero, and B. Peyton, compilers. Bears. Status survey and conservation action plan. IUCN/SSC bear and polar bear specialist groups. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK*, 144-156.

Peña-Mondragón, J. L., & Castillo, A. (2013). Depredación de ganado por jaguar y otros carnívoros en el noreste de México. *Therya*, 4 (3), 431-446.

Peña Azcona, I., Gómez Ugalde, R. M., & Briones-Salas, M. (2015). New records of the Central American tapir *Tapirus bairdii* in the Tehuantepec district, Oaxaca, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, 31, 120-122.

Pérez, J. (2008). *Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, Mexico, Dominican Republic* (No. AC/574.522209728 P6).

Pérez-Cortez, S., Enríquez, P. L., Sima-Panti, D., Reyna-Hurtado, R., & Naranjo, E. J. (2012). Influencia de la disponibilidad de agua en la presencia y abundancia de *Tapirus bairdii* en la selva de Calakmul, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(3), 753-761.

Pérez-Irineo, G., & Santos-Moreno, A. (2014). Density, distribution, and activity of the ocelot *Leopardus pardalis* (Carnivora: Felidae) in Southeast Mexican rainforests. *Revista de Biología Tropical*, 62 (4), 1421-1432.

Peterson, T., Papes M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30 (4), 550-560

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)* (Vol. 56). Princeton University Press.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190 (3-4), 231-259.

Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, (48), 61-79.

Pozo, G. (2003). Comportamiento de monos aulladores (*Alouatta pigra*) en hábitat fragmentado en la ranchería leona Vicario, Balancán, Tabasco.

Pozo-Montuy, G., & Serio-Silva, J. C. (2006). Comportamiento alimentario de monos aulladores negros (*Alouatta pigra* Lawrence, Cebidae) en hábitat fragmentado en Balacán, Tabasco, México. *Acta zoológica mexicana*, 22 (3), 53-66.

PROCER; et al. (2012). Propuesta de lista de especies prioritarias para la conservación en México. 10/11/17, de PROCER- CONABIO, CONANP, INE, DGVS-SEMARNAT, PROFEPA Sitio web: <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/espPrioritaria.html>

Ramírez S. (2011). Genética de poblaciones de una especie en peligro de extinción: caso de estudio del Berrendo (*Antilocapra americana*, Ord 1815) en Valle de Colombia, Coahuila, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

Raxworthy, C. J., Martinez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R. A., Schneider, G. E., Ortega-Huerta, M. A., & Peterson, A. T. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature*, 426 (6968), 837.

Reyna-Hurtado, R., O'Farril, G., Sima, D., Andrade, M., Padilla, A., & Sosa, L. (2010). Las aguadas de Calakmul, reservorios de fauna Silvestre y de la riqueza natural de México. *Biodiversitas*, 93, 1-6.

Rob Monroe. (2013). La historia de la curva de Keeling. octubre 28, 2018, de Scripps institute of oceanography Sitio web: <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/2013/04/03/the-history-of-the-keeling-curve/>

Rodrigues, A. S., Tratt, R., & Wheeler, B. D. (1999). The performance of existing networks of conservation areas in representing biodiversity. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 266 (1427), 1453-1460

Rodríguez, A. (2011). Plan de Manejo para la conservación y reintroducción del berrendo (*Antilocapra americana*) en sus áreas de distribución natural. Tesis de Licenciatura, Facultad

de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

Rogers, L. L. (1976, March). Effects of mast and berry crop failures on survival, growth, and reproductive success of black bears. In *Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conference* 41, 1-438.

Romero, F. J., & Cervantes, F. A. (2005). *Romerolagus diazi*. Conejo zacatuche. 832-838. En: G. Ceballos & G. Oliva (eds.). *Los Mamíferos Silvestres de México* (986). 1a. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Fondo de Cultura Económica, México.

Romero Malpica, F.J., Rangel Cordero, H., de Grammont, P.C., & Cuarón, A.D. (2008). *Romerolagus diazi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: Mexican Association for Conservation and Study of Lagomorphs (AMCELA).

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. México.

Santos, T., & Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Revista Ecosistemas*, 15 (2).

SEMARNAP. (2000). Manejo de Felinos en Cautiverio. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.

SEMARNAT. (2009). Cambio climático. *Ciencia, evidencia y acciones*. México

SEMARNAT. (2011). Plan de manejo tipo para pecarí de collar (*pecari tajacu*) manejo intensivo. México.

SEMARNAT. (2012). Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Zacatuche, *Romerolagus diazi*. Ismael Cruz Molina, Jesús Lizardo Cruz Romo & Miryam Prado Lallande (Eds.) (1a Ed.) México.

SEMARNAT. (2014). Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias. Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT-CONANP. (2012). Programa de Acción para la Conservación de las Especies: Primates, mono araña (*Ateles geoffroyi*) y monos aulladores (*Alouatta palliata*, *Alouatta pigra*). P. Oropeza Hernández y E. Rendón Hernández (eds.). México.

SEMARNAT-CONANP, (2017). 182ANP_Geo_ITRF08_Noviembre_2017, edición: 2017. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/anpnov17gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (11 de octubre del 2018).

Soberón, J., & Nakamura, M. (2009). Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (Supplement 2), 19644-1965.

Soberón, J. M. (2010). Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33 (1), 159-167.

SRE. (2018). Acerca de México. Secretaría de Relaciones Exteriores Recuperado de <https://embamex.sre.gob.mx/eua/index.php/es/enterate/391-acerca-de-mexico>

Stenseth, N. C., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrell, J. W., Chan, K. S., & Lima, M. (2002). Ecological effects of climate fluctuations. *Science*, 297(5585), 1292-1296.

Stockwell, D. (1999). The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International journal of geographical information science*, 13 (2), 143-158.

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B. F. N., de Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L., & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427 (6970), 145.

Thuiller, W., Broennimann, O., Hughes, G., Alkemade, J. R. M., Midgley, G. F., & Corsi, F. (2006). Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, 12 (3), 424-440.

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373.

Trejo, I., Martínez-Meyer, E., Calixto-Pérez, E., Sánchez-Colón, S., Vázquez de la Torre, R., & Villers-Ruiz, L. (2011). Analysis of the effects of climate change on plant communities and mammals in México. *Atmósfera*, 24(1), 1-14.

Treviño-Villarreal, J., & Grant, W. E. (1998). Geographic range of the endangered Mexican prairie dog (*Cynomys mexicanus*). *Journal of Mammalogy*, 79 (4), 1273-1287.

Ureta, C., Martínez-Meyer, E., Perales, H. R., & Álvarez-Buylla, E. R. (2012). Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology*, 18 (3), 1073-1082.

Valera Bermejo, A., Ramírez Álvarez, R., & Quintero, E. (2016). Especies prioritarias para la conservación de la biodiversidad: el caso de México. CONABIO. *Biodiversitas*, 128,1-5.

Velázquez, A., Romero, F. J., & López-Paniagua J. (1996). *Ecología y Conservación del Conejo Zacatuche y su Hábitat* (204). México:Fondo de Cultura Económica.

White, P. J., Davis, T. L., Barnowe-Meyer, K. K., Crabtree, R. L., & Garrott, R. A. (2007). Partial migration and philopatry of Yellowstone pronghorn. *Biological Conservation*, 135 (4), 502-510.

Wiens, J. A. (2009). Landscape ecology as a foundation for sustainable conservation. *Landscape Ecology*, 24 (8), 1053-1065.

WorlClim. (2017). WorldClim-Global Climate Data.<http://www.worldclim.org/bioclim>

Young, B., Byers, E., Gravuer, K., Hall, K., Hammerson, G., & Redder, A. (2011). Guidelines for using the NatureServe climate change vulnerability index. *NatureServe, Arlington, Virginia, USA*.

Zamora Martínez, M. (2018). Cambio Climático. octubre, 08, 2018, de Revista Mexicana De Ciencias Forestales Sitio web:
<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/190/232>