



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DE SUELO
SOBRE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL
GATO MONTÉS (*Lynx rufus*) EN LA FAJA
VOLCÁNICA TRANSMEXICANA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A

JIMENA VALADEZ MEJÍA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. CONSTANTINO GONZÁLEZ SALAZAR



Los Reyes Iztacala, Estado de México

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a mi facultad la **Facultad de Estudios Superiores Iztacala** por ser mi segunda casa, casa impulsora y productora de sueños, de la que me siento orgullosa de pertenecer y a la que le debo mi formación académica.

A mi asesor de tesis, el **Dr. Constantino González Salazar**, por brindarme su apoyo en este largo proceso, por ser mi guía y maestro y compartir conmigo todo su conocimiento, además de su infinita paciencia y comprensión.

Al **Dr. Raymundo Montoya Ayala**, por su participación como sinodal, por el tiempo y apoyo brindados.

A la **Dra. Patricia Ramírez Bastida**, por su participación como sinodal, por sus comentarios realizados a este trabajo, por los consejos dados y por las experiencias en las que la vida nos ha hecho coincidir.

A la **M. en C. Mayra Mónica Hernández Moreno**, una de mis sinodales, por brindarme su apoyo y ser mi guía, no sólo para la realización de la tesis, sino en otros momentos en los que he necesitado orientación.

A la **M. en C. Leticia Adriana Espinosa Ávila**, una de mis sinodales, a la cual le guardo mucho cariño y respeto, pues además de haber sido mi profesora se ha convertido en mi mentora, pues sus consejos, enseñanzas y su apoyo no se han limitado al campo académico; por las oportunidades brindadas y por la confianza depositada en mí, gracias infinitas.

Al **Biol. Antonio Edmundo Cisneros Cisneros**, por su participación y orientación en la parte estadística de esta tesis.

DEDICATORIAS

A mi papá y a mi mamá, porque sin todo su apoyo y su infinita paciencia este trabajo no se hubiera terminado. Sus consejos y su ejemplo, me han convertido en lo que soy, todo lo bueno que tengo y que he logrado es por ustedes, porque han estado ahí para echarme porras o ayudarme cuando me equivoco; si bien este ha sido un proceso muy largo, con dudas y altibajos, nunca dejaron de confiar en mí. Faltan palabras para expresar lo que siento y les agradezco. Este sólo es el final de una etapa, vienen mejores cosas. Tengo suerte de tenerlos. Gracias por forjarme así, LOS AMO.

A mi hermana, Dany, porque eres parte fundamental de mí, has hecho este camino más llevadero y has sido partícipe de esto. Sin ti todo sería gris y difícil, haces mi vida más feliz con el simple hecho de estar presente. Gracias por ser mi editora en jefe y por mostrar interés en lo que hago, espero te sientas orgullosa de mí, TE AMO.

A Emmanuel, mi novio, amigo y mi todo, porque has estado junto a mí motivándome e impulsándome a ser mejor en todo. Tu apoyo y ayuda han sido parte fundamental para terminar este trabajo. Gracias por esa dedicación e interés que siempre has mostrado y por la paciencia y cariño que me has tenido en todo este proceso. Sin ti esto me habría resultado difícil y eterno, TE AMO.

A mis mejores amigas, Sandra y Erica, por ser como mis hermanas, por estar para mí en los buenos y malos momentos, por todo lo que hemos vivido juntas y lo que nos falta, LAS QUIERO MUCHÍSIMO.

A mis amigos del alma, Miguel Ángel y Jorge, por que han estado para mí siempre que los he necesitado y porque con sus bromas y sentido del humor hacen todo más llevadero, LOS QUIERO.

A mis demás amigos, Sergio, Mauricio, Erick, Bianca, Jorge M, Ariel, Natalia, Anabel, Adán, Ernesto y demás compañeros murcis, porque la carrera y la vida no habrían sido igual sin ustedes, por todos los viajes y experiencias que hemos vivido juntos y que me han enriquecido como persona, les tengo mucho cariño.

No sé a quién se le ocurrió llamarla "*Alma Máter*", cuando uno es joven semejante apelativo suena cursi, hueco. Con el tiempo, se acaba sabiendo aunque no se diga ni con vehemencia ni con asiduidad, que algo en nuestra índole está marcado para siempre por los años y las tardes que pasó en la facultad, en la Universidad.....Dio para cumplir los sueños que nunca soñamos y para sembrar los que aún no cumplimos.

Ángeles Mastretta
El Mundo Iluminado

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Pérdida de hábitat y cambio de uso de suelo	2
Modelos de distribución de las especies	3
Especie de estudio: el gato montés	4
ANTECEDENTES	6
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS	9
General	9
Particulares	9
ÁREA DE ESTUDIO	9
MÉTODOS	13
1. Obtención de datos	13
1.1 Datos biológicos	13
1.2 Datos climáticos	14
2. Modelos de distribución potencial	15
3. Análisis de cambio de uso de suelo	17
3.1 Mapas de uso de suelo y vegetación	17
3.2 Cálculo del área remanente	18
3.3 Análisis de la información	18
4. Hábitat disponible para el gato montés en las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y en las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's)	19
4.1 ANP's y RTP's en la FVT	19
4.2 Análisis del cambio de uso de suelo y cálculo del área remanente	20
4.3 Análisis de la información	21
RESULTADOS	21
Distribución del gato montés	21
Hábitat natural remanente	24
Distribución del gato montés en las Áreas Naturales Protegidas y Regiones Terrestres Prioritarias de la FVT	29
DISCUSIÓN	34
CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS	40
ANEXO I	
Métodos	48

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica del gato montés	5
Figura 2. Gato montés (<i>Lynx rufus</i>)	6
Figura 3. Provincia biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana ubicación y sitios designados para la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales	11
Cuadro 1. Variables bioclimáticas utilizadas para crear los modelos de distribución del gato montés <i>Lynx rufus</i>	14-15
Cuadro 2. Parámetros ocupados para obtener el modelos de distribución potencial del gato montés	16
Cuadro 3. Temporalidad de los datos de cada serie de Uso de suelo y Vegetación de INEGI	17
Figura 4. Mapa de las localizaciones georreferenciadas del gato montés <i>Lynx</i> <i>rufus</i> en todo México	22
Figura 5. Distribución potencial del gato montés, modelo generado con MaxEnt	23
Figura 6. Hábitat natural remanente en los cinco escenarios de cambio de uso de suelo para todo México	25
Figura 7. Hábitat natural remanente en los cinco escenarios de cambio de uso de suelo en la FVT	27-28
Figura 8. Proporción de área de distribución natural que se ha conservado durante los cinco escenarios de cambio de uso de suelo en todo México y en la FVT	28
Figura 9. ANP's presentes en la FVT y el contraste del hábitat natural remanente en el primer escenario de cambio vs el hábitat natural remanente del último escenario de cambio	31
Cuadro 4. Comparación del área de hábitat natural remanente en las ANP's y en el conjunto ANP's +RTP's a lo largo de los cinco escenarios de cambio	32
Figura 10. Proporción de la distribución del gato montés con hábitat natural restante ante la modificación del uso de suelo en cinco escenarios de cambio dentro de las Áreas Naturales Protegidas y dentro del conjunto-sistema Áreas Naturales Protegidas y Regiones Terrestres Prioritarias	33
Figura 11. ANP's y RTP's de la FVT y el contraste del hábitat natural remanente en el primer escenario vs el hábitat natural remanente del último escenario de cambio	34

RESUMEN

El gato montés es un mamífero de la familia Felidae, Orden Carnívora, de amplia distribución geográfica que va desde el sur de Canadá hasta el Istmo de Tehuantepec en México. Se encuentra en una gran variedad de hábitats y en México es abundante en bosques de pino, pino-encino y oyamel en zonas templadas, mientras que en zonas áridas habita en matorrales xerófilos. Sin embargo, aunque esta especie se encuentra ampliamente distribuida en México, no se cuenta con trabajos en los que se evalúe el impacto que genera el cambio de uso de suelo sobre sus poblaciones, ya que gran parte de los estudios sobre el gato montés se han centrado en conocer sus hábitos alimenticios y requerimientos de hábitat. Siendo que el cambio de uso de suelo conlleva impactos considerables sobre la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial, el objetivo de este trabajo fue analizar los efectos del cambio de uso de suelo en la distribución potencial del gato montés en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) y en todo México, generando mapas de distribución potencial a partir del modelado del nicho ecológico del gato montés. También se evaluó el impacto dentro de áreas de protección como lo son las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's). El modelo de distribución potencial se generó mediante el algoritmo MaxEnt, a partir de variables climáticas y topográficas y registros puntuales de la especie en todo el país. Para evaluar el efecto del cambio de uso de suelo sobre la distribución de la especie, se calculó el hábitat natural remanente en cinco escenarios de cambio, los cuales se generaron a partir de mapas con información de hábitat natural apto para la especie con información obtenida de las cinco series de vegetación y uso de suelo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). En la FVT, sólo se conservó el 29.1% del hábitat natural respecto de la distribución potencial del gato montés, mientras que en todo México se conservó el 65%, encontrando diferencias significativas entre la proporción de hábitat natural conservado en la FVT con respecto a todo el país, observando un impacto mayor en la provincia de la FVT. Por otro lado, se registró que las ANP's por sí solas conservaron el 65% de la distribución del gato montés mientras que el conjunto de ANP's + RTP's, pese a abarcar una superficie mayor, se conservó el 51% del hábitat, lo que indica que las ANP's han resultado efectivas en la conservación del área de distribución del gato montés.

INTRODUCCIÓN

Pérdida de hábitat y cambio de uso de suelo

A nivel mundial, estamos enfrentando una crisis de pérdida de biodiversidad a un ritmo sin precedentes, en la que algunos de los factores más importantes se relacionan con actividades antropogénicas, tales como cambios en el uso de suelo, la contaminación y degradación de los suelos, la contaminación de las aguas, la fragmentación del hábitat, la introducción de especies no autóctonas y la urbanización e industrialización, por mencionar algunos (Sala *et al.*, 2000; Lambin *et al.*, 2001; Anisimov *et al.*, 2002; Fischer y Lindenmayer, 2007; García 2011).

De acuerdo con Ramankutty y Foley (1999) desde 1850 a la fecha, se han convertido 6 millones de km² de bosques y 4.7 millones de km² de sabanas, estepas y pastizales a tierras de cultivo a nivel global mostrando una transformación acelerada de los hábitats naturales. De acuerdo con la Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) México ocupa uno de los primeros lugares en deforestación en el mundo, estimando tasas de 75,000 hectáreas a cerca de 1.98 millones de hectáreas al año (Torres, 2004). Mas *et al.*, (2002) reportaron que entre 1976 y 2000, la superficie de bosques templados y tropicales disminuyó de 377, 600 km² a 314,300 km² y de 352,000 km² a 331,200 km², representados en tasas de cambio de 0.25 y 0.76% respectivamente. En todos los casos, la dinámica de cambio de uso de suelo en los últimos años ha seguido un patrón que favorece el crecimiento de áreas de cultivo, así como de pastizales inducidos y cultivados sobre las áreas forestales (Torres, 2004).

Estos cambios involucran la disrupción de los ecosistemas naturales en fragmentos de diversos tamaños y por lo tanto, la discontinuidad y aislamiento de su biodiversidad (Arriaga, 2009). Este aislamiento limita la disponibilidad de recursos y afecta la dispersión de los individuos por la discontinuidad de la vegetación nativa, provocando la disminución de las poblaciones de especies, dando como resultado la desaparición eventual de ciertas poblaciones dentro de sus áreas de distribución (Zannette *et al.*, 2000; Peterson *et al.*, 2006; Fischer y Lindenmayer, 2007).

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso de suelo permiten conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.*, 2001). Entre las consecuencias más obvias de la pérdida de cobertura forestal destacan la pérdida del potencial uso de los múltiples bienes y servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas para el bienestar humano, además del calentamiento global, los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, la introducción de especies exóticas y el exterminio de especies nativas (Velázquez *et al.*, 2002).

Se ha demostrado que el cambio de uso de suelo y la degradación de hábitat son factores causantes de que las poblaciones de algunas especies de mamíferos disminuyan, bajen su densidad o desaparezcan de una zona en particular. Por ejemplo, Ceballos y Ehrlich (2002), reportaron que la extinción de poblaciones de mamíferos silvestres se ve concentrada en donde existen altas densidades humanas o donde actividades tales como la agricultura, el pastoreo y la caza son intensas.

Por otro lado, en un trabajo sobre la densidad de mamíferos carnívoros en Tenacatita, Jalisco, Ordorica, (1995) registró siete especies (gato montés, yaguarundí, coyote, zorra gris, mapache, tejón y zorrillo listado) de las doce previamente registradas. Las cinco especies que el autor no registró fueron: ocelote, cacomixtle, comadreja, zorrillo manchado y zorrillo común. De acuerdo con el autor, esto se atribuye a que dentro del área de estudio se han sustituido grandes áreas de vegetación original por cultivos y pastizales destinados al uso agrícola y ganadero. Particularmente, el gato montés y el yaguarundi presentaron un número más bajo de individuos en la zona, indicando que éstas especies se ven afectadas negativamente al modificar su hábitat natural remplazándolo por cultivos y pastizales. Estos trabajos destacan la importancia de evaluar e identificar aquellas especies sensibles a la pérdida de áreas naturales que ponen en riesgo su persistencia.

Modelos de distribución de las especies

Una de las herramientas que ha sido utilizada en México para evaluar los efectos de la pérdida de hábitat y el cambio de uso de suelo es el modelado del nicho ecológico o modelado de la distribución de las especies (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009; Contreras-Medina *et al.*, 2010).

En los últimos años, diversos enfoques hacia la predicción de la distribución geográfica de las especies se han desarrollado en el área de los sistemas de información geográfica (SIG; Anderson y Martínez-Meyer, 2004) y en un grupo de métodos llamado *modelado de la distribución de las especies o modelado del nicho ecológico* (ENM por sus siglas en inglés). Este enfoque parte del concepto de "nicho ecológico" establecido por Hutchinson (1957), quien lo define como la suma de todos los factores ambientales que actúan sobre un organismo, en una región con múltiples dimensiones las cuales forman un hipervolumen dentro del cual las poblaciones de una especie sobreviven (Schoener, 1989; Pearman *et al.*, 2008).

En esencia, el modelado de nicho ecológico (MNE), es una técnica utilizada para estimar áreas de distribución actual o potencial para una especie en particular, relacionando los registros de presencia de las especies (algunas veces con las ausencias) con variables ambientales, para caracterizar los requerimientos ambientales de las especies (Phillips *et al.*, 2004; Soberón y Peterson, 2005; Soberón y Nakamura, 2009). Esta información generalmente está disponible en forma de registros puntuales de ejemplares de museos o herbarios, en las bases de datos de las colecciones biológicas (Ceballos y Ehrlich, 2002).

Dentro de las aplicaciones que se les ha dado a estas herramientas, una ha sido la de evaluar el impacto provocado por el cambio de uso de suelo sobre la distribución de las especies. En investigaciones con distintos grupos de organismos como gimnospermas, psitácidos y algunos grupos de mamíferos, como murciélagos, roedores y felinos, el modelado de nicho se ha empleado como herramienta para conocer y evaluar el impacto que las actividades antropogénicas tienen sobre la distribución de las especies, así como el grado de modificación de su hábitat (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005; Zarza *et al.*, 2007; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009 y Contreras Medina *et al.*, 2010). El MNE ha sido una herramienta ampliamente utilizada para generar información que apoye a la toma de decisiones en los planes de manejo y conservación (Peterson *et al.*, 2006).

Especie de estudio: el gato montés

El gato montés *Lynx rufus* (Schreber, 1777) es un mamífero que pertenece a la familia Felidae del Orden Carnivora y muestra una amplia distribución geográfica que va desde el sur de Canadá hasta el Istmo de Tehuantepec en México, encontrándose en una gran variedad de hábitat como pantanos, desiertos y bosques (Figura 1). En México, es abundante en bosques de pino, pino-encino y oyamel en zonas templadas, mientras que en zonas áridas habita en matorrales xerófilos (Romero, 2005).



Figura 1. Distribución geográfica del gato montés. Fuente: IUCN 2018.

Es un felino de tamaño mediano con patas largas y cuerpo robusto que se distingue por su cola muy corta, en la parte superior de las orejas puntiagudas tiene una extensión de pelo a manera de pincel y cuenta con unas patillas en las mejillas que le dan un aspecto muy particular (Aranda, 2000; Romero, 2005; Figura 2). Los gatos monteses son animales solitarios de actividad nocturna. Su ámbito hogareño es de tamaño variable, siendo de hasta 243 km² el de los machos y de hasta 122 km² el de las hembras; en este territorio tienen refugios como cuevas, cavidades rocosas o árboles huecos en donde descansan en las horas de inactividad (Romero, 2005). Estudios sobre requerimientos de hábitat han demostrado que es un depredador que prefiere hábitats con salientes rocosas, donde encuentre protección del clima, refugios, áreas de descanso y aislamiento de factores humanos, así como abundancia de presas (McCord, 1974). Sus poblaciones presentan una marcada dependencia hacia la disponibilidad de alimento, fluctuando de manera semejante a las poblaciones de sus presas (Ceballos y Galindo, 1984). Su dieta está compuesta principalmente por lagomorfos, mientras que ardillas, ratas, ratones y algunas aves son presas ocasionales (Larivière y Walton, 1997); por lo que a esta especie se le ha considerado como controlador biológico de poblaciones de roedores y lagomorfos (Ceballos y Galindo, 1984).



Figura 2. Gato montés (*Lynx rufus*). Fuentes: Aranda, 2000; Day, n.d.

Si bien su enemigo natural es el puma, otros factores de mortalidad incluyen peleas con otros carnívoros, ataque de ungulados, parasitismo y enfermedades, además de que las poblaciones de gato montés en México han disminuido debido al deterioro de su hábitat a causa de cultivos intensivos y de asentamientos humanos (Romero, 2005).

A pesar de que la cacería y las campañas contra depredadores han acabado con algunas poblaciones de gato montés en México, este felino no se considera amenazado por las leyes mexicanas y únicamente la subespecie *Lynx rufus escuinapae* que habita en el centro de México se considera en el estatus de Amenazada en el *U.S. Fish and Wildlife Service*; sin embargo, algunos autores afirman que no existe información que respalde esta decisión (Cooper y Shadbolt, 2007).

ANTECEDENTES

Se han llevado a cabo estudios sobre modelos de distribución potencial y cambio de uso de suelo con distintos grupos de mamíferos. Yáñez-Arenas *et al.*, (2012) estimaron el efecto del cambio de uso de suelo en la distribución de dos ungulados, el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y el pecarí de collar (*Pecari tajacu*) en la región del Bajo Balsas. Utilizaron modelos de nicho para generar escenarios de distribuciones hipotéticas y encontraron que ambas distribuciones resultaron estar altamente fragmentadas debido a la deforestación y al cambio de uso de suelo por la ganadería extensiva y la agricultura.

En cuanto a estudios con felinos, Zarza *et al.*, (2007) determinaron el uso de hábitat y los efectos de la perturbación humana sobre el jaguar (*Panthera onca*) en la Selva Maya, al sur de la península de Yucatán. Realizaron un seguimiento de jaguares con collares de GPS por tipos de vegetación y uso de suelo, considerando la distancia a los poblados y caminos, mediante un sistema de información geográfica. Observaron que existe una mayor preferencia hacia

ambientes con gran cobertura vegetal como la selva alta y la selva mediana, mientras que las zonas destinadas a ganadería, agricultura y asentamientos urbanos son evitadas por la especie.

Munguía (2004), modeló el nicho ecológico de 106 especies de mamíferos no voladores (no endémicos, endémicos y microendémicos) presentes en el Eje Neovolcánico, utilizando el programa GARP. Las distribuciones obtenidas las proyectó, excluyendo áreas de agricultura y asentamientos humanos, para poder evaluar y detectar aquellas especies cuyas áreas se encontrasen altamente deterioradas. Como resultado obtuvo que de siete órdenes de especies de mamíferos registrados para el eje, el orden Carnivora tuvo la distribución potencial más amplia pero también resultó el más afectado al perder 50.53% de su área de distribución, además obtuvo que más del 75% de las especies presentó una disminución de entre 36-50% en su área de distribución, de las cuales el 45% fueron especies no endémicas, el 39% endémicas y el 14% microendémicas. Por otro lado, con base en la distribución potencial generada, otro de sus objetivos fue el de detectar aquellas áreas naturales protegidas (ANP's) y regiones terrestres prioritarias (RTP'S) incluidas en el Eje Neovolcánico que presentaran la mayor riqueza y el mayor endemismo, para evaluar la representatividad de la mastofauna dentro de estos sistemas de protección. Como resultado encontró que las ANP's de mayor importancia fueron las de Tehuacán-Cuicatlán, Sierra de Quila y El Jabalí y de las RTP's el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Pico de Orizaba-Cofre de Perote y Manantlán-Volcán de Colima.

Concretamente para el gato montés, que ha sido ampliamente estudiado en Estados Unidos, se ha encontrado que la degradación del hábitat y el cambio de uso de suelo son factores que lo afectan negativamente. Woolf *et al.*, (2002) reportan para Illinois, que la abundancia y distribución de este felino ha cambiado drásticamente debido a la transformación de los hábitats naturales para usos agrícolas y asentamientos humanos; al igual que otros autores concluyen que este felino es sensible a las modificaciones del hábitat (Hamilton y Fox, 1987; Woolf y Hubert, 1998).

Sin embargo, aunque el gato montés es una especie ampliamente distribuida en México, no se cuenta con trabajos en los que se evalúe el impacto que genera el cambio de uso de suelo sobre sus poblaciones y únicamente se ha reportado que esta especie necesita de una densa cobertura vegetal que le provea refugios, escondite y áreas de crianza en el caso de las hembras (Burton *et al.*, 2003; Plowman *et al.*, 2006).

Gran parte de los trabajos realizados con el gato montés se han centrado en conocer sus hábitos alimenticios (Martínez-Meyer, 1994; Ríos, 1998; Aranda *et al.*, 2002; Monroy-Vilchis y Velázquez, 2002; Rivera, 2010). Pero para conocer cómo se distribuyen las poblaciones de este

felino debemos conocer también su ámbito hogareño y sus requerimientos de hábitat, las condiciones tanto bióticas como abióticas, sobre estos temas se encontró lo siguiente:

- Burton *et al.*, (2003) determinaron las preferencias de hábitat de un macho adulto y una hembra adulta de gato montés en el Volcán de Colima. La vegetación presente en el área de estudio fue el bosque templado con zacatonal, la especie vegetal predominante fue el pino (*Pinus hartwegii*), además de arbustos, hierbas y zacatonales, de los cuales predominan las especies, *Calamagrostis toluensis* y *Festuca toluensis*. El ámbito hogareño total del macho fue de 560.5ha, que incluyó el de la hembra de 98.9ha. Ambos mostraron preferencias por las áreas donde hay flujos de lava y zonas de zacatonal, debido a la gran abundancia de mamíferos pequeños de los que pueden alimentarse; de éstos, se registraron cuatro especies de roedores (*Peromyscus melanotis*, *Microtus mexicanus*, *Reithrodontomys megalotis* y *Neotoma mexicana*) y la musaraña de Goldman (*Cryptotis goldmani*). Además de proporcionar variedad de presas, la preferencia hacia esta parte del volcán se debió a que es una zona que provee gran cantidad de refugios y guaridas que también se ocupan como sitios de crianza por parte de las hembras y que cubre dos de las condiciones que la especie necesita para vivir: disponibilidad de alimento y refugio.
- Monroy y Briones-Salas (2012), reportaron los primeros datos de actividad del gato montés en un área comunal protegida en el municipio de Santa Catarina Ixtepeji en la Sierra Madre de Oaxaca. El clima es templado sub-húmedo y los principales tipos de vegetación son bosque de pino y bosque de pino-encino. Los autores capturaron a un macho adulto y lo monitorearon durante un año por medio de radiotelemetría en ciclos de 24 horas, una vez al mes. Obtuvieron que el ámbito hogareño promedio fue de 11.41 km² en donde la mayoría de las localizaciones se registraron en áreas con tipo de vegetación de bosque de pino.

JUSTIFICACIÓN

A pesar de que el gato montés presenta una amplia distribución, que va desde el sur de Canadá hasta el Istmo de Tehuantepec en México, son pocos los estudios que han evaluado los efectos del cambio de uso de suelo sobre esta especie, siendo este uno de los factores causantes de la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial. Con herramientas como el modelado de la distribución de las especies y escenarios de cambio de uso de suelo se pretende generar información que muestre el impacto que genera el cambio de uso de suelo sobre la distribución del gato montés en México.

OBJETIVOS

General:

Analizar los efectos del cambio de uso de suelo en la distribución potencial del gato montés (*Lynx rufus*) en la Faja Volcánica Transmexicana, México.

Particulares:

- Compilar una base de datos con localidades de presencia de *Lynx rufus* en México a partir de la búsqueda de información en redes de bases de datos especializadas.
- Generar mapas de distribución potencial mediante el modelado del nicho ecológico del gato montés.
- Analizar el efecto de cambio de uso de suelo en la distribución del gato montés dentro de la Faja Volcánica Transmexicana.
- Evaluar el impacto del cambio de uso de suelo en la distribución del gato montés dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's) presentes en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT).

ÁREA DE ESTUDIO

La gran complejidad biogeográfica del territorio mexicano ha promovido el establecimiento de múltiples esquemas de regionalización en los que se reconoce la existencia de una unidad correspondiente a la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT; Kaufman, 1995; Morrone, 2005; Morrone, 2010; Gámez *et al.*, 2012). Algunos autores han reconocido a esta

unidad como provincia morfotectónica, geológica y biogeográfica (Gómez-Tuena *et al.*, 2005; Sánchez-González, 2005; Gámez *et al.*, 2012).

La FVT, marca el extremo meridional de la Altiplanicie Mexicana y la separa de la Depresión del Balsas, conectando las biotas antes aisladas de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental (Rzedowsky, 1998; Rzedowsky, 2005). Cubre una superficie cercana al 9.17% del territorio mexicano, cruza el territorio de oeste a este e incluye parte de los estados de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Colima, Guerrero, Morelos, Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Veracruz y el Distrito Federal (Ferrusquía, 1998; Sánchez-González *et al.*, 2005).

Sus coordenadas extremas son al oeste -118.3903579, al este -86.6599121, al norte 32.7366485 y al sur 14.5655584 (CONABIO, 1997). La mayor parte del área es de origen volcánico y está conformada por grandes picos y sierras cuyo intervalo altitudinal varía de 1,000 a 5,760 metros. Incluye las prominencias topográficas más altas de México, formadas por volcanes, como el Pico de Orizaba, el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, el Nevado de Toluca y el Nevado de Colima (Rzedowsky, 2005).

Respecto a su hidrología, existen numerosos ríos, como el Lerma-Santiago, los tributarios del Balsas-Mexcala al sur y el Tula-Moctezuma al noreste. Predomina una serie de cuencas endorreicas que originaron grandes extensiones lacustres en el pasado (Sánchez-González *et al.*, 2005) e incluye 18 Regiones Hidrológicas Prioritarias, las cuales consisten en las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país, consensadas prioritarias respecto a su biodiversidad y potencial uso (Arriaga *et al.*, 2002).

De igual manera, en esta área se incluyen 40 Áreas Naturales Protegidas (ANP), 16 Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), 22 Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y 14 sitios designados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar; CONABIO, 2004; CIPAMEX-CONABIO, 2015; CONANP, 2016a, 2016b; Figura 3).

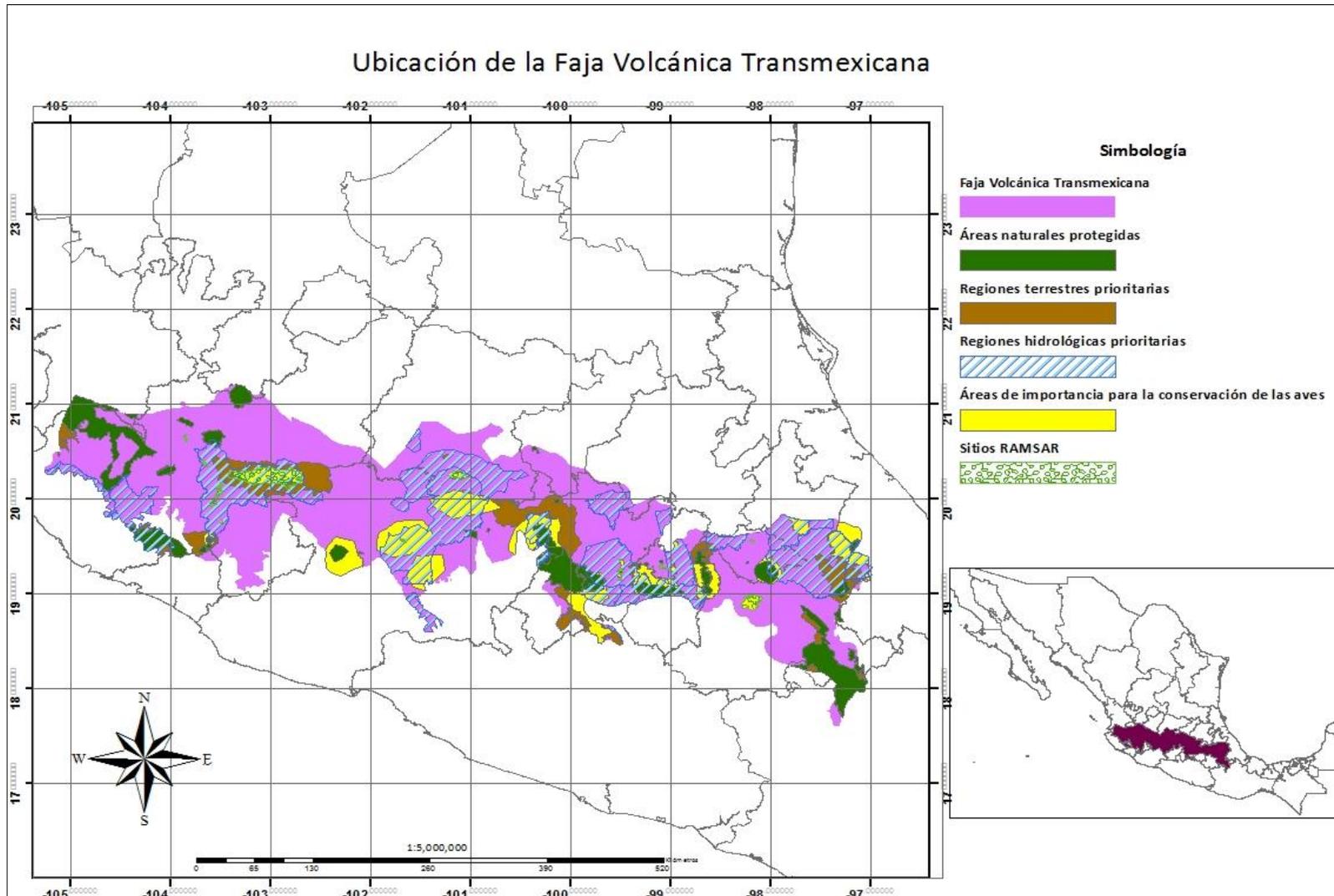


Figura 3. Provincia biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana ubicación y sitios designados para la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales.

La historia geológica y climática y la distribución de las especies de la FVT, la hacen una de las provincias biogeográficas más heterogéneas y complejas del país. Es una zona donde se sobreponen las dos grandes regiones biogeográficas del continente americano, la Neártica y la Neotropical, lo que ha contribuido para que sea una de las zonas donde se concentra la mayor riqueza biológica del país (Monroy-Vilchis *et al.*, 1999; Suárez-Mota y Téllez-Valdés, 2014).

Los tipos de vegetación presentes en la provincia son el bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de oyamel, bosque de encino-pino, bosque mesófilo de montaña, pradera de alta montaña, pastizal y selva baja caducifolia, siendo el bosque de coníferas la vegetación más abundante de la región, sin embargo, esta gran concentración de pinares se encuentra ya mermada por el impacto de la presión demográfica, el cual es uno de los principales problemas del deterioro del ambiente (Ceballos y Navarro, 1991; Munguía, 2004; Rzedowsky, 2005, Torres y Luna, 2006; INEGI, 2013).

En el caso particular de los mamíferos terrestres, al ser un área altamente heterogénea cuenta con una alta diversidad de mamíferos y es rica en endemismos (Monroy-Vilchis *et al.*, 1999) y de acuerdo con algunos autores, esta región concentra 217 especies, que representa el 41.3% de la mastofauna mexicana (Ceballos y Oliva, 2005; Escalante *et al.*, 2007), de las que se han registrado tres géneros cuya área de distribución está confinada a sus límites (*Neotomodon*, *Romerolagus* y *Zygoeomys*). Alberga 23 especies y subespecies que se consideran endémicas de esta región, tal es el caso del teporingo (*Romerolagus diazi*), la tuza de Merriam (*Cratogeomys merriami*) y la musaraña de Goldman (*Cryptotis goldmani alticola*) por mencionar algunas (Morrone, 2001; Escalante *et al.*, 2005).

Aunado a esto, en la región se concentran áreas urbanas densamente pobladas, lo que ha provocado la pérdida y disminución de hábitat natural, derivadas del aumento en la densidad de la población, del cambio de uso de suelo, de la explotación de los recursos forestales y de la fauna silvestre, así como de los efectos de la contaminación (Granados *et al.*, 2005). Incluso se han realizado estudios para determinar el grado de disminución del área de distribución de las especies presentes en esta provincia y se ha encontrado que las especies de mamíferos registrados, la mayoría ha perdido de un 35-50% de su distribución, información que es necesaria para implementar planes efectivos de conservación (Munguía, 2004).

MÉTODOS (Anexo I)

1. Obtención de datos

1.1. Datos biológicos

Para recopilar información sobre registros puntuales y georeferenciados del gato montés en México, se consultaron diversas redes especializadas que contienen información compilada a partir de colecciones científicas de universidades y museos de todo el mundo. Estas plataformas son de libre acceso, los datos en estas redes abarcan registros anteriores a 1900 hasta la actualidad, por lo que constantemente se renueva la información disponible, la cual se presenta en formato Darwin Core, que es compatible con Excel y provee referencias de la colección en la que se encuentra el ejemplar, el número de ejemplar, la especie o subespecie, la localidad, las coordenadas, la fecha de captura, registro o avistamiento del ejemplar y el nombre del identificador. Para este proyecto se revisaron las siguientes redes:

- a) *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF; www.gbif.org)
- b) *Mammal Network Information System* (MaNIS; <http://manisnet.org>)

Además, se obtuvo información de la Colección Nacional de Mamíferos de la UNAM, tanto de su catálogo de pieles, como de ejemplares depositados. De igual manera se revisó toda la información correspondiente al gato montés en la *Unidad de Informática para la Biodiversidad* (UNIBIO; unibio.unam.mx) y en la *Colección de Fotocolectas Biológicas IREKANI* (unibio.unam.mx/irekani/) del Instituto de Biología, UNAM.

Para complementar la información, se realizaron búsquedas en artículos científicos que pudieran proporcionar datos puntuales (localidad y coordenadas) sobre la especie:

- Distrito Federal (Bárceñas y Medellín, 2007).
- Tlaxcala (Rodríguez *et al.*, 2007).
- Veracruz (Rivera, 2010).
- Oaxaca (Monroy y Briones-Salas, 2012).
- Hidalgo (Valencia-Herverth y Valencia-Herverth, 2012; Rojas-Martínez *et al.*, 2013).
- Guerrero (Almazán-Catalán *et al.*, 2013).
- Morelos (Valenzuela-Galván *et al.*, 2013).
- Puebla (Farías *et al.*, 2015).

La búsqueda de información incluyó registros de las seis subespecies de gato montés que se han reportado para México de acuerdo con Larivière y Walton (1997): *Lynx rufus baileyi*, *L.r. texensis*, *L.r. californicus*, *L.r. peninsularis*, *L.r. escuinapae* y *L.r. oaxacensis*.

Con toda esta información recopilada, se generó una base de datos, en la que inicialmente, se reunieron 593 registros. Dicha base fue depurada, revisando la información de cada registro y descartando aquellos que no contaran con coordenadas geográficas. De igual manera, se descartaron registros duplicados, por lo que el número de localizaciones se redujo a 371 registros únicos, siendo el más reciente en agosto de 2016.

1.2. Datos climáticos

Para estimar la distribución potencial del gato montés, como datos de entrada se requiere además de la información georeferenciada de la especie de interés, un conjunto de variables climáticas que abarquen el área de estudio. Para este proyecto se utilizaron 19 variables bioclimáticas derivadas de temperatura y precipitación obtenidas de www.worldclim.org (Hijmans *et al.*, 2005; Cuadro 1) con una resolución espacial de 1 km² de tamaño de pixel aproximadamente. Dichas variables representan las tendencias anuales (la temperatura media anual y precipitación), la estacionalidad (rangos de temperatura y precipitación) y los extremos ambientales (valores más altos y más bajos de temperatura para los meses más cálidos y más fríos) de temperatura y precipitación.

Cuadro 1. Variables bioclimáticas utilizadas para crear los modelos de distribución del gato montés *Lynx rufus*.

VARIABLES BIOCLIMÁTICAS	
BIO 1	Temperatura promedio anual (°C)
BIO 2	Oscilación diaria de la temperatura (°C)
BIO 3	Isotermalidad (°C)
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura (°C)
BIO 5	Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C)
BIO 6	Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C)
BIO 7	Oscilación anual de la temperatura (°C)
BIO 8	Temperatura promedio del trimestre más lluvioso (°C)
BIO 9	Temperatura promedio del trimestre más seco (°C)
BIO 10	Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C)
BIO 11	Temperatura promedio del trimestre más frío (°C)
BIO 12	Precipitación anual (mm)

BIO 13	Precipitación del periodo más lluvioso (mm)
BIO 14	Precipitación del periodo más seco (mm)
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación (mm)
BIO 16	Precipitación del trimestre más lluvioso (mm)
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco (mm)
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío (mm)

Además de las diecinueve variables bioclimáticas, se consideraron tres variables topográficas: la pendiente, el modelo digital de elevación y el índice topográfico, obtenidas del proyecto Hydro1k (<http://ed.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/hydro/>), a una resolución de 1 km². Dichas variables se han considerado relevantes para caracterizar la distribución de las especies (Waltari y Guralnick, 2009). Tanto las variables climáticas como las variables topográficas se delimitaron al tamaño del polígono de la República Mexicana con el programa ArcView versión 3.3 (Environmental Systems Research Institute, ESRI, 2002).

2. Modelos de distribución potencial

Una vez depurada la base de datos y con las variables ambientales limitadas al país, el siguiente paso consistió en realizar el mapa de distribución potencial. Los modelos de distribución potencial, relacionan los registros puntuales de una especie con la información del ambiente o características espaciales proyectados en un espacio geográfico (Elith y Leathwick, 2009). Las áreas que satisfacen las condiciones del nicho fundamental de una especie representan las áreas potenciales, mientras que la distribución que actualmente ocupa dicha especie representa su nicho realizado (Phillips *et al.*, 2006).

Uno de los programas más utilizados para estimar la distribución potencial de las especies es MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006). Es un programa que permite trabajar con datos únicamente de presencia, como lo son aquellos obtenidos de colecciones científicas. Este programa estima la probabilidad de encontrar las características ambientales (variables climáticas o topográficas) que favorezcan la presencia de la especie generando un gradiente espacial (Phillips *et al.*, 2006; Elith *et al.*, 2010).

La elección del algoritmo para el proceso de modelado podrá tener un efecto en los resultados, sin embargo, no existe un consenso sobre si un algoritmo es mejor que otro y se ha llegado a la conclusión que la selección del método debe estar más enfocado a los objetivos del trabajo

(Qiao *et al.*, 2015). Particularmente, en este estudio se tiene interés en el impacto del cambio de uso de suelo en la distribución histórica del gato montés, por lo tanto, se debe emplear un algoritmo que reduzca el error de comisión. En ese aspecto, MaxEnt ha demostrado ser un algoritmo con un alto nivel de discriminación entre áreas ambientalmente adecuadas y no adecuadas y por lo tanto reduce la sobre predicción (Phillips *et al.*, 2006).

Para obtener el mapa de distribución potencial del gato montés con MaxEnt versión 3.3.3 se ocupó la base de datos con los puntos georeferenciados de la especie en toda la extensión del territorio mexicano, que constituye el apartado de *samples* en el programa. Se decidió modelar en todo México ya que, de acuerdo con la literatura, la manera ideal de modelar es ocupando toda la distribución conocida de la especie (Barve *et al.*, 2011). En este caso si bien no se ocupó toda el área de distribución conocida del gato sí se procuró abarcar gran parte de ésta. Una vez obtenido el mapa se recortó a la extensión territorial de interés, la Faja Volcánica Transmexicana. Las capas ambientales, *environmental layers*, con las que se estimó la probabilidad de distribución son las 19 variables bioclimáticas y las tres variables topográficas.

Otros de los parámetros que requiere MaxEnt y que se ocuparon para obtener el modelo de distribución son los siguientes (Cuadro 2):

Cuadro 2. Parámetros establecidos para obtener el modelo de distribución potencial del gato montés

Parámetro	Condición
Sin extrapolar (no extrapolate)	Seleccionado
Aplicar regla de umbral (apply threshold rule)	Minimum training presence
Porcentaje de datos de prueba al azar (random test percentage)	25%
Crear curvas de respuesta (create response curves)	Seleccionado
Hacer análisis Jackknife	Seleccionado
Formato de salida	Logístico
Formato de archivo de salida	*.asc

El modelo de distribución potencial obtenido fue considerado como la distribución histórica del gato montés, es decir, una distribución previa a las perturbaciones de las áreas de hábitat natural.

Dicho modelo, se validó utilizando el análisis incluido en MaxEnt mediante la curva ROC (Receiver Operating Characteristic), que es una curva que describe la tasa de identificación

correcta de presencias contra la tasa de errores de comisión (falsas ausencias) y a partir de la cual se calcula el valor del *Área bajo la curva* o AUC (Area Under the Curve), los modelos con un AUC mayor a 0.75 son considerados modelos robustos (Pawar *et al.*, 2007; Botello *et al.*, 2015).

3. Análisis de cambio de uso de suelo

3.1 Mapas de uso de suelo y vegetación

El efecto del cambio de uso de suelo sobre la distribución del gato montés se evaluó utilizando las capas de uso de suelo y vegetación, series I (INE-INEGI, 1997), II (INEGI, 2001), III (INEGI, 2005), IV (INEGI, 2009) y V (INEGI 2013) escala 1:250,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), disponibles en el geoportal de la Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO). A continuación se muestra la temporalidad de los datos incluidos en las cinco series de uso de suelo y vegetación (Cuadro 3):

Cuadro 3. Temporalidad de los datos de cada serie de Uso de suelo y Vegetación de INEGI.

Serie	Temporalidad de datos	Fuente
I	1968-1986	Datos digitalizados por el INE con base en la fotointerpretación fotografías aéreas.
II	1993-1996	Información actualizada obtenida a partir de los años 90.
III	2002-2005	Información obtenida a partir de la interpretación de imágenes Landsat ETM y respaldada con trabajos de campo.
IV	2007-2010	Información obtenida a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación con imágenes de satélite Spot apoyada con trabajos de campo.
V	2011-2013	Información obtenida a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación de satélite Landsat TM5 y de trabajo en campo.

Cada una de las cinco series sufrió un proceso de transformación que consistió en crear un mapa únicamente con la información de vegetación considerada natural, esto es, en donde pudiera encontrarse el gato montés, eliminando las áreas que han sido modificadas antropogénicamente, asumiendo que el hábitat transformado en agrosistemas y los establecimientos rurales y urbanos no son aptos para la especie (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005; Ríos-Muñoz y Navarro-Sigüenza, 2009).

De esta forma es posible cuantificar los cambios en el área de distribución de la especie considerando el porcentaje de área remanente, una vez eliminadas las áreas modificadas por actividades humanas, de manera que se pueda evaluar el impacto que ha tenido el cambio de uso de suelo sobre el gato montés (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005).

Como primer paso, cada serie se convirtió en un mapa binario. El criterio para clasificar el tipo de hábitat en “natural” o “no natural” consideró la información referente a la descripción del tipo de vegetación de las tablas de atributos de las cinco series, de esta forma la clasificación fue la siguiente:

- “Hábitat no natural”: áreas de riego, áreas de agricultura, áreas desprovistas de vegetación, cualquier tipo de vegetación que presente erosión, áreas con pastizal cultivado e inducido, asentamientos humanos y zonas urbanas.
- “Hábitat natural”: todo tipo de vegetación restante incluyendo vegetación secundaria que no presente erosión.

En este nuevo mapa reclasificado, el valor de 1 corresponde al “hábitat natural” y 0 a “hábitat no natural”. Como resultado final se obtuvieron cinco mapas de hábitat natural remanente.

3.2 Cálculo del área remanente

Para evaluar el impacto del cambio de uso de suelo sobre la distribución del gato montés, se consideró el modelo de distribución potencial generado con MaxEnt como la distribución histórica de la especie en ausencia de actividades humanas. A este mapa se le extrajeron las áreas de hábitat natural que han perdurado a lo largo del tiempo de acuerdo con los cinco mapas de hábitat natural originados previamente, generando así cinco escenarios de cambio. Para esto se utilizó la función “Extraer por máscara” del Arc Toolbox de ArcMap 10.3. Una vez obtenidos dichos escenarios se calculó la proporción de área perdida a través de los cinco tiempos con relación a la distribución histórica de la especie. La pérdida de hábitat natural se analizó a escala nacional y para la zona de la Faja Volcánica Transmexicana. Esto nos brindó un panorama de la situación del gato montés a escala regional (México) y a un nivel local (provincia).

3.3 Análisis de la información

Para analizar las tendencias de cambio en la distribución del gato montés y los escenarios de cambio de uso de suelo, se utilizó la prueba de correlación de Spearman, tomando $\alpha= 0.05$ como nivel de significancia (Botello *et al.*, 2015), mediante el programa PAST versión 3.14 (Hammer *et al.*, 2001).

Finalmente, para evaluar si existen diferencias significativas entre el área natural perdida a nivel nacional y a nivel de provincia, se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, la cual establece diferencias para cada par de observaciones (Martínez-Bencardino, 2012), mediante el programa PAST 3.14, tomando $\alpha=0.05$ como nivel de significancia (Botello *et al.*, 2015).

4. Hábitat disponible para el gato montés en las Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y en las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's)

Las áreas naturales protegidas son un instrumento de política ambiental con cobertura legal, que actualmente constituyen la mejor herramienta para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales que ésta proporciona a la sociedad (Bezaury-Creel y Gutiérrez, 2009).

Por otro lado, las regiones terrestres prioritarias surgen como resultado de la regionalización del territorio en donde se identifican sitios con un alto valor de biodiversidad en los ambientes terrestres del país, utilizando criterios de tipo biológico, de amenaza para el mantenimiento de la biodiversidad y de oportunidad para su conservación, de igual modo, son marco de referencia en todo el país para aceptar nuevas propuestas de declaratoria de áreas naturales protegidas (Arriaga *et al.*, 2009).

Un aspecto importante al delimitar zonas para la conservación, es mantener áreas naturales donde se distribuyan las especies, sin embargo, es difícil conocer el estado actual de estas áreas naturales y cuál ha sido el impacto ocasionado por las actividades humanas en éstas a través del tiempo.

Para obtener un panorama del área de distribución del gato montés que se encuentra protegida por el sistema de áreas naturales protegidas e incluida en las regiones terrestres prioritarias, se evaluó el impacto del cambio de uso de suelo en el sistema de ANP's y en el área conjunta que forma el sistema de ANP's con las RTP's, además de evaluar el hábitat disponible en ambos grupos de estudio, se analizó si existen diferencias significativas respecto al tamaño de área conservada entre un grupo y otro.

4.1 ANP's y RTP's en la FVT

Como proceso inicial, se identificaron las Áreas Naturales Protegidas y Regiones Terrestres Prioritarias que se encuentran dentro de la distribución del gato montés, sin embargo, para realizar el análisis, sólo se consideraron aquellas ANP's y RTP's que están incluidas en los límites de la provincia de la FVT. Se utilizaron los temas de "Áreas Naturales Protegidas de México"

(CONANP, 2016a) y “Regiones Terrestres Prioritarias” (CONABIO, 2004) disponibles en el portal de geoinformación de la Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.

Cada capa de información se cortó al tamaño de la FVT mediante la función “Clip” del menú “Geoprocessing” del programa ArcMap 10.3. A partir de estos recortes se crearon dos nuevas coberturas (formato shape), la primera formada por las áreas naturales protegidas, unificando la información en un solo polígono por medio de la función “Dissolve” también en el menú “Geoprocessing”. Mientras que la segunda cobertura consistió en la unión de ambas capas de información (ANP’s+RTP’s) para crear un solo polígono, esto se realizó utilizando la función “Union” en el menú “Geoprocessing”.

Una vez creadas ambas coberturas, se transformaron a formato ráster para poder realizar el análisis de cambio de uso de suelo. El proceso se llevó a cabo con la herramienta “Polygon to raster” del apartado “Conversion Tools” en el Arc Toolbox.

4.2 Análisis del cambio de uso de suelo y cálculo del área remanente

Para evaluar el efecto e impacto del cambio de uso de suelo en la distribución del gato montés en el sistema de áreas protegidas y destinadas a la conservación se realizó el proceso de extracción de las áreas de hábitat natural mediante la función “Extraer por máscara” del Arc Toolbox de ArcMap 10.3. Para el proceso, se consideró el modelo de distribución potencial generado previamente con MaxEnt como la distribución histórica de la especie en ausencia de actividades humanas. A este mapa se le extrajeron las áreas de hábitat natural que han perdurado a lo largo del tiempo a partir de los cinco mapas de hábitat natural originados previamente (ver apartado 3.1 de la Metodología), generando así cinco escenarios de cambio. Una vez obtenidos dichos escenarios se calculó el área conservada a través de los cinco tiempos con relación a la distribución histórica de la especie. El cálculo de hábitat natural conservado se analizó para las ANP’s y para el conjunto formado por las ANP’s + RTP’s de la Faja Volcánica Transmexicana. Esto además de brindar un panorama de lo representado que se encuentra el hábitat del gato montés en áreas con cobertura legal y destinadas a la conservación, muestra la capacidad de los sistemas como las ANP’s para mantener dichas áreas a través del tiempo, a la vez que indica si las RTP’s juegan un papel significativo en la conservación y mantenimiento de áreas de hábitat natural disponibles para la especie.

4.3 Análisis de la información

Se realizó la prueba de correlación de Spearman para analizar la tendencia de cambio presentada en ambos grupos de estudio, mediante el programa PAST versión 3.14 (Hammer *et al.*, 2001), tomando $\alpha=0.05$ como nivel de significancia (Botello *et al.*, 2015).

Por último, para definir si existen diferencias significativas entre la disponibilidad de área presente en las ANP's o en el conjunto ANP's y RTP's, se realizó la prueba de Mann-Whitney mediante el programa PAST versión 3.14, tomando $\alpha=0.05$ como nivel de significancia (Botello *et al.*, 2015).

RESULTADOS

Distribución del gato montés

Para el gato montés, se obtuvieron 371 registros únicos en todo México (Figura 4), de acuerdo con las localizaciones georeferenciadas, esta especie se encontró en casi todo el territorio mexicano, hasta el límite de su distribución en el Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca. Conforme a los registros obtenidos, la localización más sureña corresponde a un ejemplar de la subespecie *Lynx rufus oaxacensis*, en la localidad de Los Nanches, en el municipio de Salina Cruz, Oaxaca.

Respecto al total de registros, únicamente 70 puntos, es decir el 18.8% de los datos, se localizan en la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT; Figura 4). En cuanto a la temporalidad de estos datos, el 57.14% son registros datados a partir del año 2000, siendo el más reciente la observación directa de un ejemplar en el mes de julio de 2016 en el estado de México.

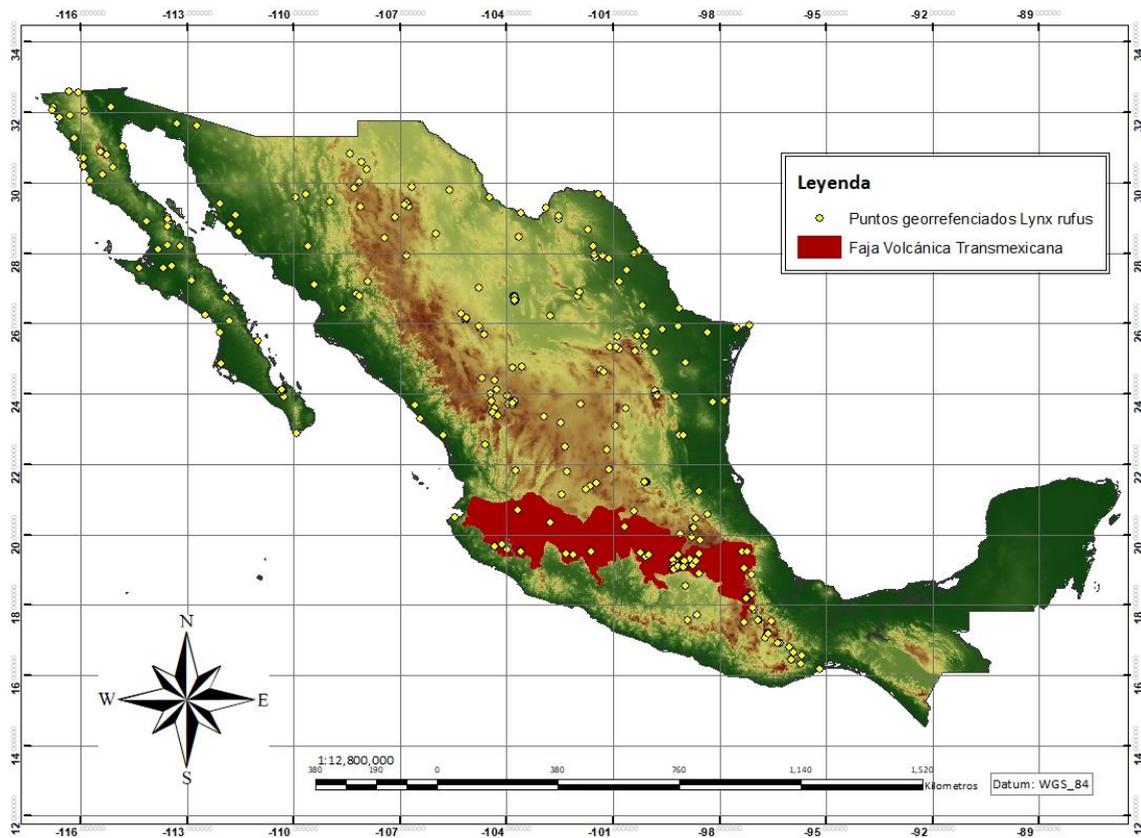


Figura 4. Mapa de las localizaciones georreferenciadas del gato montés *Lynx rufus* en todo México.

Tomando como referencia la Serie V de Uso de Suelo y Vegetación (INEGI, 2013), los puntos localizados en la FVT se presentan en los siguientes tipos de vegetación: bosque de pino, vegetación secundaria arbórea de bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, bosque de oyamel, vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino, pradera de alta montaña, matorral crasicale y vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, es decir, el 54.28% de los datos se registraron en áreas consideradas en este estudio como hábitat natural; no obstante, también se encontraron registros en áreas de pastizal y áreas con uso de suelo agrícola.

A su vez, el 81.4% de los registros del gato montés presentes en la FVT (57) se reportaron dentro de algún Área Natural Protegida (ANP) o Región Terrestre Prioritaria (RTP), principalmente de los estados de México, Morelos y el Distrito Federal.

Si bien el gato montés llega al límite de su distribución en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, el modelo de distribución potencial generado con MaxEnt (Figura 5), muestra que dicho límite se sobrepasa, ya que el modelo muestra regiones más allá del Istmo, como el estado de Chiapas

e incluso zonas pequeñas en la península de Yucatán que podrían ser aptas para la especie, pero en donde nunca se ha registrado.

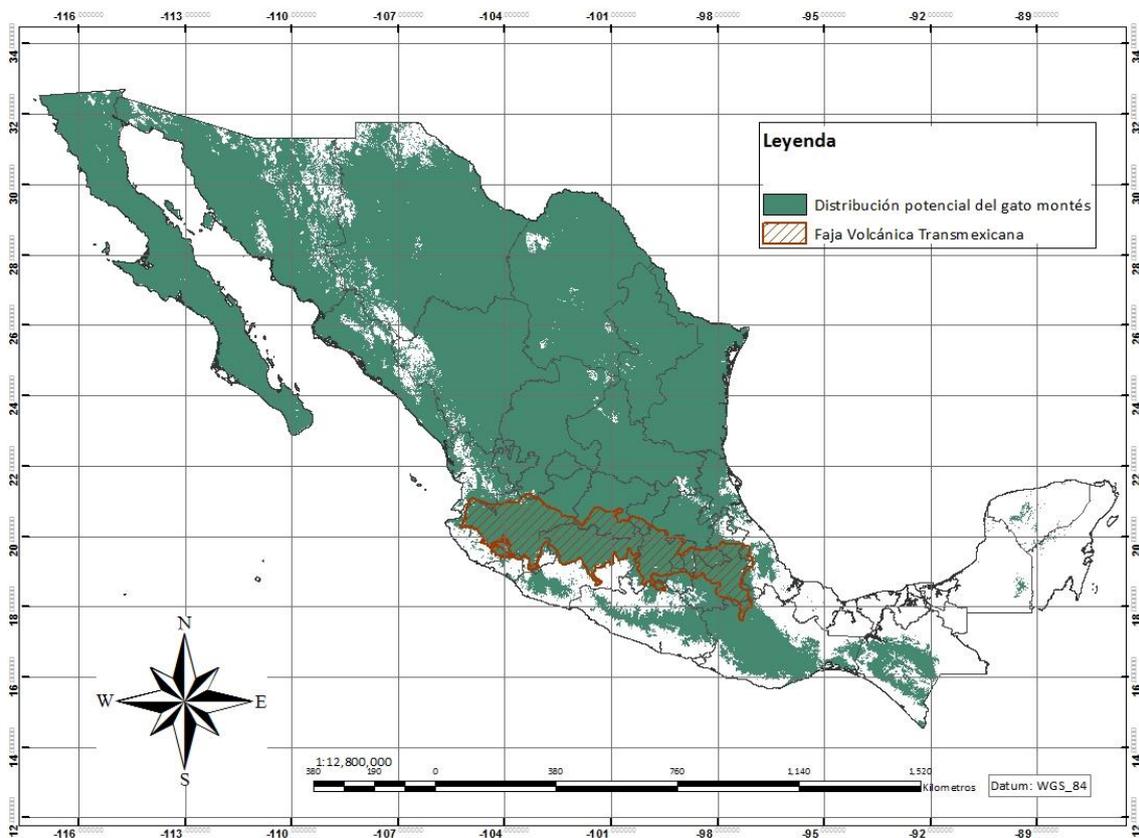


Figura 5. Distribución potencial del gato montés, modelo generado con MaxEnt.

Cabe recordar que el modelo se realizó con variables climáticas y topográficas, en consecuencia, lo que indica es la probabilidad de encontrar las mismas condiciones climáticas y de relieve que resultan idóneas para la especie, sin tomar en cuenta relaciones bióticas, como competencia con otras especies o depredadores y disponibilidad de presas. Aunado a esto, el modelo presentó bajos valores de omisión, es decir, resultó exitoso en predecir gran parte de los datos de origen, además el área bajo la curva (AUC) fue de 0.852, lo que indica un modelo robusto con buen poder predictivo. Las variables con mayor contribución para la elaboración del modelo fueron las siguientes: temperatura promedio del trimestre más cálido (21.1%), temperatura promedio del trimestre más frío (13.2%), temperatura promedio del trimestre más lluvioso (10.5%) y el modelo digital de elevación (7.3%) lo que podría señalar que juegan un papel importante, en cuanto a componentes abióticos se refiere, en la distribución de este felino.

Al observar el mapa de distribución potencial (Figura 5), se aprecia que el área de distribución potencial dentro del FVT abarcó 102,451 km², casi toda la provincia, lo que podría ser un

indicador de que en esta provincia existe una alta probabilidad de que las condiciones climáticas y topográficas ideales para la especie se encuentren presentes.

Hábitat natural remanente

Para evaluar el impacto del cambio de uso de suelo sobre la distribución histórica del gato montés, se cuantificó el hábitat natural remanente en los cinco escenarios de cambio a partir del modelo generado con MaxEnt (Figura 5), dicho modelo representa la distribución de la especie sin considerar perturbaciones al hábitat.

La proyección de los modelos en los cinco escenarios de cambio de uso de suelo muestra la pérdida del área de distribución de la especie, permitiendo una visualización en secuencia temporal en todo México y en la provincia de la FVT. Cabe aclarar, que el área distribución abarca el conjunto de factores climáticos, topográficos y de vegetación, que representan el hábitat natural ideal de la especie.

Para todo México, la distribución potencial abarcó un área de 1, 338,592 km², pero al extraer todas aquellas zonas de hábitat no natural para la especie, los cinco escenarios de cambio mostraron una disminución en el área de distribución del gato montés: en el primer escenario el área disminuyó a 1, 028,019 km², es decir, se conservó el 76.8% del área inicial, mientras que en el segundo escenario, el hábitat natural conservado disminuyó a 69.4%. Para el tercer escenario de cambio, la proporción de área natural conservada fue de 68.3%, mientras que en el escenario número cuatro permaneció un área de 892, 728 km², esto es, que se conservó el 66.7% del área y finalmente, para el quinto y último escenario, el área restante fue de 869, 777 km², que equivale al 65% de área natural conservada final (Figura 6 A-E). De acuerdo con el último escenario de cambio, a escala nacional, se conservó el 65% de la distribución del felino que cuenta con hábitat natural disponible.

En la Figura 6, se observa en modo de secuencia la forma en la que las áreas de hábitat natural disminuyen con el paso del tiempo. El área en gris del escenario "A" indica la distribución potencial del gato montés. Por otro lado, la presencia de parches entre las áreas verdes denota la fragmentación y pérdida de hábitat, esto sobre todo es evidente en la parte central del país, donde se encuentra la provincia de la FVT; la pérdida de áreas naturales disponibles también es notable en la provincia del Altiplano Sur y en la vertiente del Golfo.

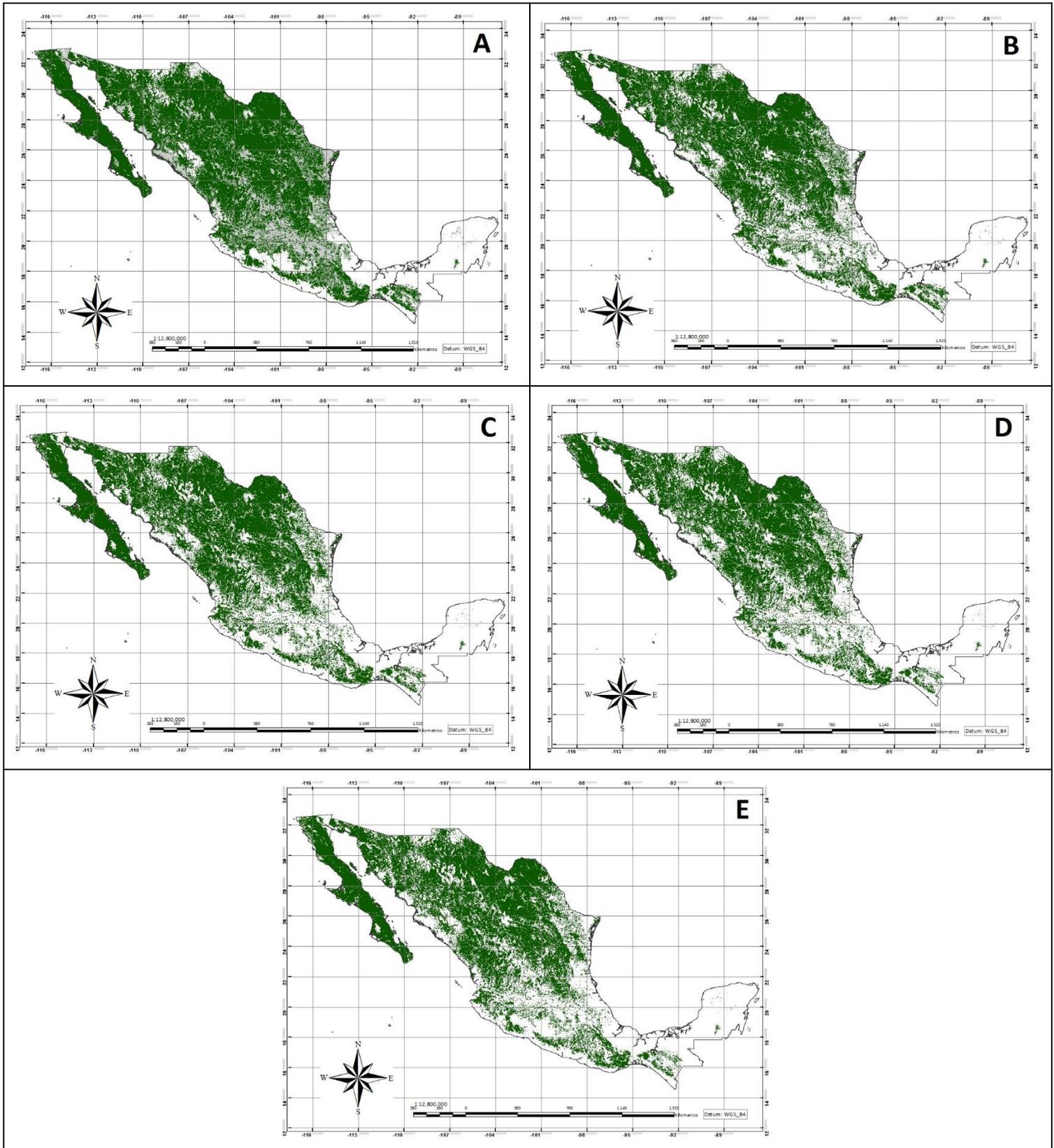


Figura 6. Hábitat natural remanente en los cinco escenarios de cambio de uso de suelo para todo México mostrados en secuencia temporal; el hábitat natural remanente se obtuvo a partir de la compaginación del modelo de distribución potencial con los mapas de hábitat natural generados a partir de las series I a V de uso de suelo y vegetación de INEGI. (A) escenario 1; (B) escenario 2; (C) escenario 3; (D) escenario 4; (E) escenario 5.

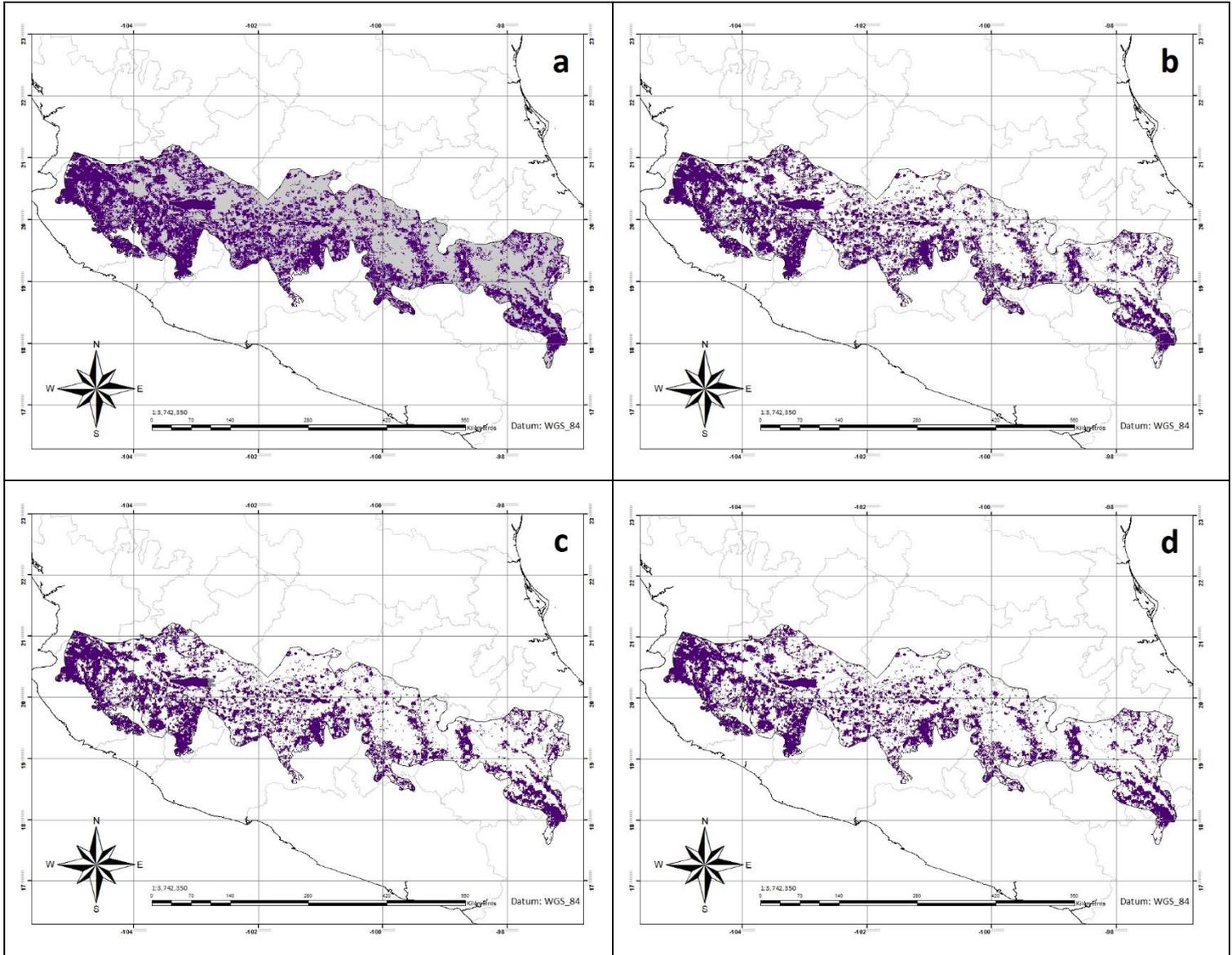
Estadísticamente, se observó una tendencia negativa y significativa entre la proporción del área de distribución con hábitat natural disponible respecto a los cinco escenarios de cambio ($r_s = -1$, $P = 0.0166$), indicando que el área de distribución del gato ha disminuido conforme a la transformación de hábitats naturales, ya que el cambio de uso de suelo se intensifica al paso de los años, abarcando cada vez más áreas de vegetación natural para usos agrícolas o para el establecimiento de asentamientos humanos.

Por otro lado, en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), la distribución del gato montés abarcó 102, 451 km², casi la totalidad de la provincia (Figura 7-a, color gris). Sin embargo, al realizar el cálculo del área remanente, se encontró que en los cinco escenarios de cambio, el hábitat natural sufrió reducciones en su área. Respecto a la distribución potencial obtenida, 102, 451 km², en el primer escenario de cambio las áreas con hábitat natural disponible ocuparon un área de 47, 408 km², es decir, para el primer escenario de cambio únicamente el 46.3% del área inicial resultó ser de hábitat natural para la especie, en el segundo escenario de cambio, el área disminuyó conservando el 35.9% del hábitat natural, en el tercero se redujo a 34.3%, mientras que para el cuarto escenario, el porcentaje de área natural conservada fue de 32.8%. Finalmente, para el quinto y último escenario el área restante fue de 29, 799 km², es decir, que el porcentaje de área natural conservada en el escenario final fue de 29.1% con respecto al área natural inicial (Figura 7, a-e). Por lo tanto, considerando el último escenario de cambio, en la provincia de la FVT, se conservó sólo un 29% del área de distribución con hábitat natural respecto a la distribución potencial del gato montés.

En la figura 7, se observan las áreas de hábitat natural remanente (color morado) en cada uno de los escenarios de cambio. Es notable la división de grandes áreas con vegetación natural en fragmentos de menor tamaño y es evidente la reducción de hábitat sobre todo en la región de la provincia donde se localizan los estados de Michoacán, México y el Distrito Federal. Posiblemente, el crecimiento demográfico, que implica mayor expansión de los asentamientos humanos, es una causa importante de pérdida y fragmentación de hábitat, siendo que en esta región del país, justo donde se ubica la provincia, se encuentra una de las ciudades más grandes y pobladas del mundo y también la más grande del país.

Por otro lado, en los escenarios de la figura 7, también se observa que hacia el lado oeste de la provincia, el impacto del cambio de uso de suelo sobre la disponibilidad de áreas naturales es relativamente menor, pues se puede notar cierto mantenimiento de éstas en los cinco escenarios de cambio, no obstante, no se le resta importancia pues es evidente que la fragmentación y pérdida de áreas de hábitat disponible para la especie existe.

Se observó una tendencia negativa y significativa entre los escenarios de cambio de uso de suelo y la proporción del área de distribución que cuenta con hábitat natural para la especie ($r_s = -1$, $P=0.0166$), al igual que en todo México, en la FVT también ocurre la pérdida y fragmentación de las áreas de hábitat natural, incluso a un ritmo más acelerado, dada la ubicación de la provincia.



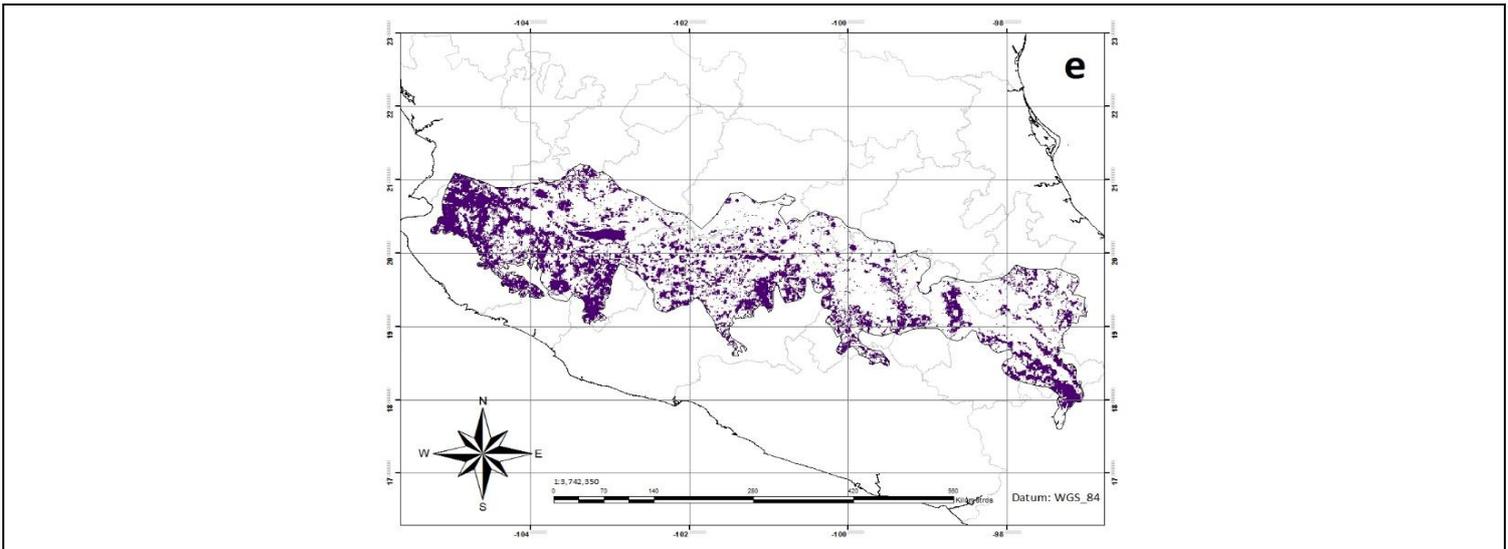


Figura 7. Hábitat natural remanente en los cinco escenarios de cambio de uso de suelo en la FVT mostrados en secuencia temporal; el hábitat natural remanente se obtuvo a partir de la compaginación del modelo de distribución potencial recortado a los límites de la provincia, con los mapas de hábitat natural generados a partir de las series I a V de uso de suelo y vegetación de INEGI. (a) escenario 1; (b) escenario 2; (c) escenario 3; (d) escenario 4; (e) escenario 5.

A partir de los escenarios de cambio, se evaluó la modificación en el tamaño del área de distribución con hábitat disponible para el gato montés así como la proporción de la distribución que cuenta con hábitat natural remanente para la especie en ambas escalas. En la figura 8, se puede observar gráficamente el proceso de pérdida del área de distribución a través del tiempo en los cinco escenarios de cambio, tanto en México (derecha) como en la FVT (izquierda).

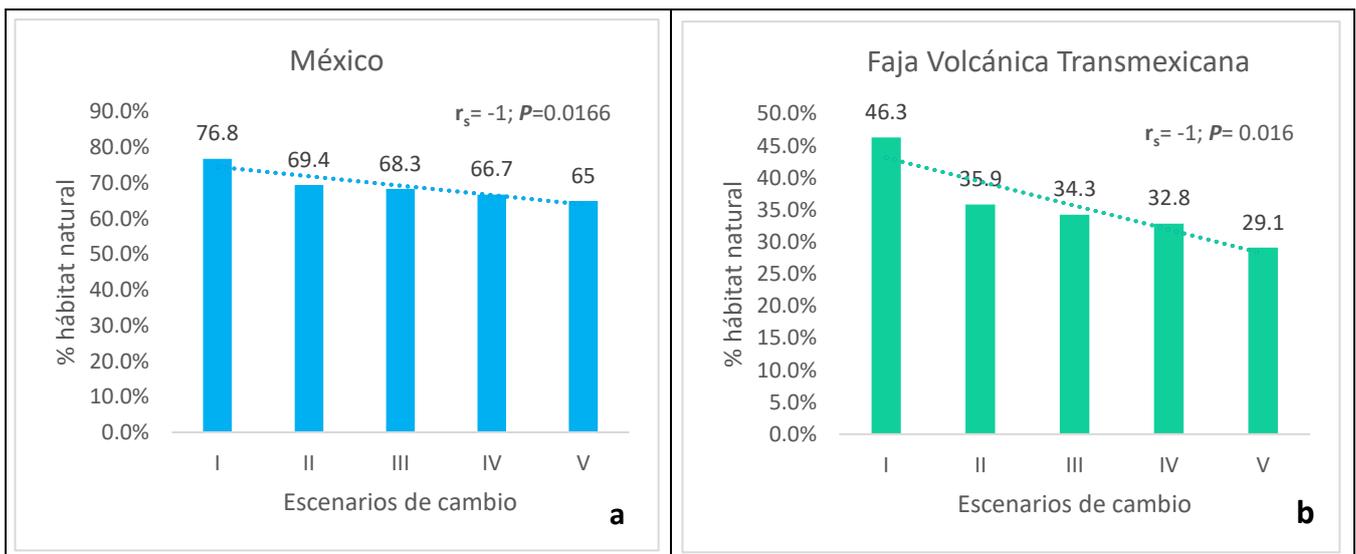


Figura 8. Proporción de área de distribución con hábitat natural que se ha conservado durante los cinco escenarios de cambio de uso de suelo (a) en todo México y (b) en la Faja Volcánica Transmexicana.

En ambas gráficas se muestra la proporción de la distribución con hábitat natural que ha permanecido a través de los cinco escenarios de cambio de uso de suelo, donde se observa una pendiente descendente, a su vez, el valor de Spearman ($r_s = -1$) muestra que existe una correlación negativa, pues existe una tendencia a conservar menos hábitat natural con relación al tiempo. En la FVT, la pendiente es más pronunciada, lo que podría interpretarse como indicador de que en la provincia el área se pierde a un ritmo más acelerado con respecto a todo el país.

Dicho lo anterior, se encontraron diferencias significativas, al comparar la proporción del área de distribución de la especie con hábitat natural remanente conservado en México contra la que queda en la FVT ($U=0$; $P=0.007$). En la FVT la diferencia en la proporción conservada en el último escenario con respecto al primero es más marcada que lo que se observa a nivel nacional. De inicio poco menos de la mitad de la provincia, el 46.3%, estaba considerada como hábitat natural disponible y para el último escenario la proporción de área con hábitat natural conservado comprendía tan sólo el 29.1% de la provincia. Posiblemente, esto se debe a la ubicación de la FVT, ya que existe una alta presión demográfica debido a la constante expansión de las grandes ciudades que se encuentran establecidas en el área y por ende, a la construcción de infraestructura para su funcionamiento, lo que conlleva a la degradación y fragmentación del hábitat natural que las rodea.

Distribución del gato montés en las Áreas Naturales Protegidas y Regiones Terrestres Prioritarias de la FVT

A partir de la distribución potencial del gato montés, se calculó el área y el porcentaje de área con hábitat natural disponible para la especie dentro de la red de áreas protegidas a fin de tener una estimación de lo que se encuentra sujeto a conservación y poder evaluar el efecto del cambio de uso de suelo en dichos sistemas de protección. La distribución potencial del gato montés abarcó las 40 Áreas Naturales Protegidas (ANP's) y las 16 Regiones Terrestres Prioritarias (RTP's) presentes en la FVT.

La superficie que abarcan las ANP's en la provincia es de 10, 507 km², mientras que la distribución histórica del gato montés dentro de éstas es de 10, 091 km². Al realizar el cálculo del hábitat natural remanente por efecto del cambio de uso de suelo en este sistema de protección, se encontró que en el primer escenario de cambio, se redujo la distribución del gato montés a 7, 980 km². En el segundo escenario, la distribución con hábitat natural conservado se redujo en un 12%, abarcando 6, 962 km² de superficie, mientras que para el tercer escenario se redujo a 6,823 km², en el cuarto escenario se estimó un área de 6,692 km², finalmente, para el

quinto y último escenario se obtuvo un área de 6,510 km². A partir del segundo escenario, se obtuvo una pérdida de alrededor del 1% del área de distribución, por lo que se infiere que en el sistema de ANP's de la FVT las áreas de hábitat natural disponible para el gato montés se han conservado adecuadamente, más no se debe ignorar que aún en este sistema de protección, la pérdida y transformación del hábitat persisten.

De las ANP's presentes en la FVT, las que presentaron mayor reducción de área, es decir, con menos del 50% de hábitat natural conservado, fueron: la Reserva de la Biósfera (RB) Mariposa Monarca (Michoacán y Estado de México), el Área de Protección de los Recursos Naturales (APRN) Z.P.F.T.C.C de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec (Edo. de Mex), el Área de Protección de Flora y Fauna (APFyF) Nevado de Toluca (Edo. de Mex), APFyF Corredor Biológico Chichinautzin (Morelos, Edo. de Mex y D.F), APFyF Ciénegas del Lerma (Edo. de Mex), Parque Nacional (PN) Xicotécatl (Tlaxcala), PN La montaña Malinche (Tlaxcala y Puebla), PN Lomas de Padierna (D.F), PN Cerro de La Estrella (D.F.), PN Los Remedios (Edo. de Mex), PN El Tepeyac (D.F. y Edo. de Mex), PN El Tepozteco (Morelos y D.F) y PN Bosencheve (Michoacán y Edo. De México). En el recuadro de la figura 9, se observa el área natural remanente en las ANP's mencionadas, la superficie del hábitat natural remanente en el último escenario se observa en color amarillo, mientras que el color morado indica la superficie conservada en el primer escenario.

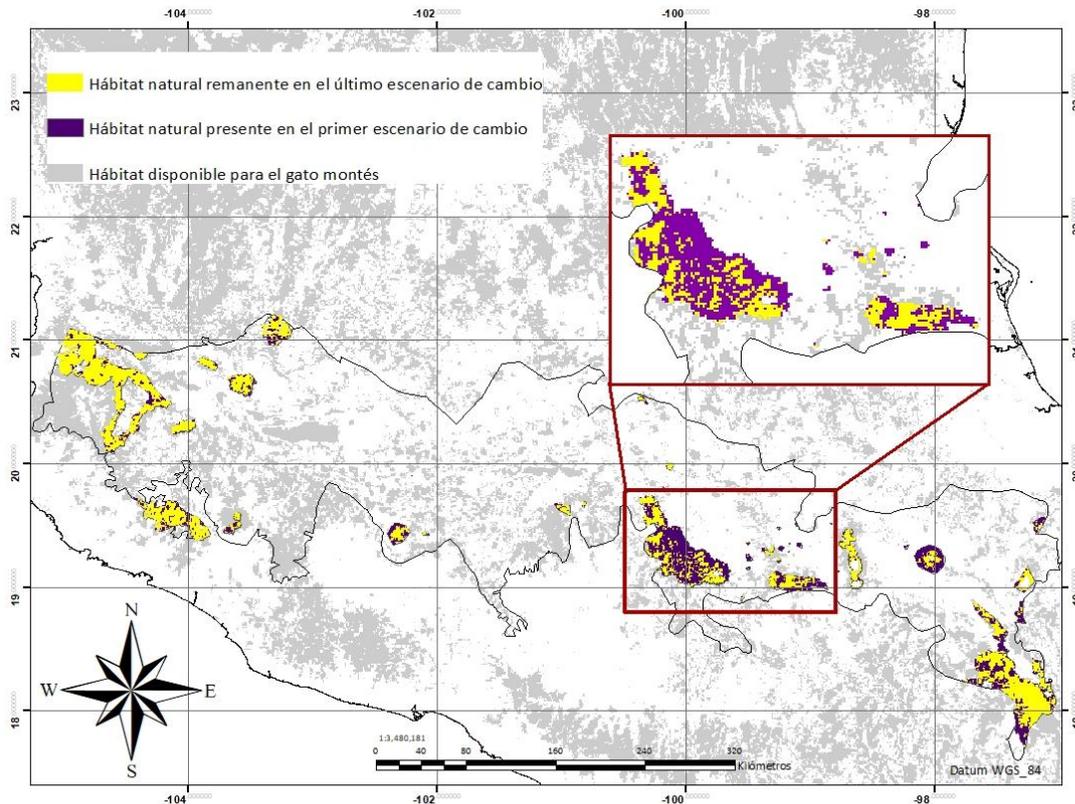


Figura 9. ANP's presentes en la FVT y el contraste del hábitat natural remanente en el primer escenario de cambio (color morado) vs el hábitat natural remanente del último escenario de cambio (color amarillo).

Por otro lado, las ANP's en donde se conservó gran parte de la distribución con hábitat natural en los cinco escenarios de cambio fueron las siguientes, Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (Jalisco y Colima), Área de Protección de los Recursos Naturales Zona Protectora forestal C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit (Aguascalientes, Jalisco, Durango, Nayarit y Zacatecas), Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila (Jalisco) y la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre La Primavera (Jalisco; Figura 9). Al igual que en los escenarios de cambio de la FVT, la zona donde se preserva la mayor proporción de área para el felino es la parte oeste de la provincia mientras que en la zona que abarca los estados del centro el área de distribución con hábitat natural se mostró más reducida.

Estadísticamente, se observó una tendencia negativa y significativa entre la proporción del área de distribución con hábitat natural conservado dentro de las ANP's y los cinco escenarios de cambio ($r_s=-1$; $P=0.0166$), lo cual implica que aún dentro de este sistema, existen impactos ocasionados por el cambio de uso de suelo.

Del mismo modo, se analizó el efecto del cambio de uso de suelo en las RTP's en conjunto con las ANP's. Se decidió englobar ambos sistemas de protección con la finalidad de conocer el tamaño de la distribución del gato montés en uno y otro, para evaluar si se presenta o no mayor

pérdida de hábitat en contraste con las ANP's, y también para determinar el papel de las RTP's en la conservación del hábitat natural del gato montés.

El conjunto de ANP's y RTP's de la Faja Volcánica Transmexicana, abarca una superficie de 22,634 km² y la distribución potencial del gato montés 22,152 km² dentro de estos sistemas. La superficie de hábitat natural disponible para el gato montés en el primer escenario de cambio se estimó en 14,430 km², de tal modo que, considerando factores climáticos, topográficos y de vegetación, las áreas de hábitat disponible para la especie están representadas en un 65% en el primer escenario de cambio.

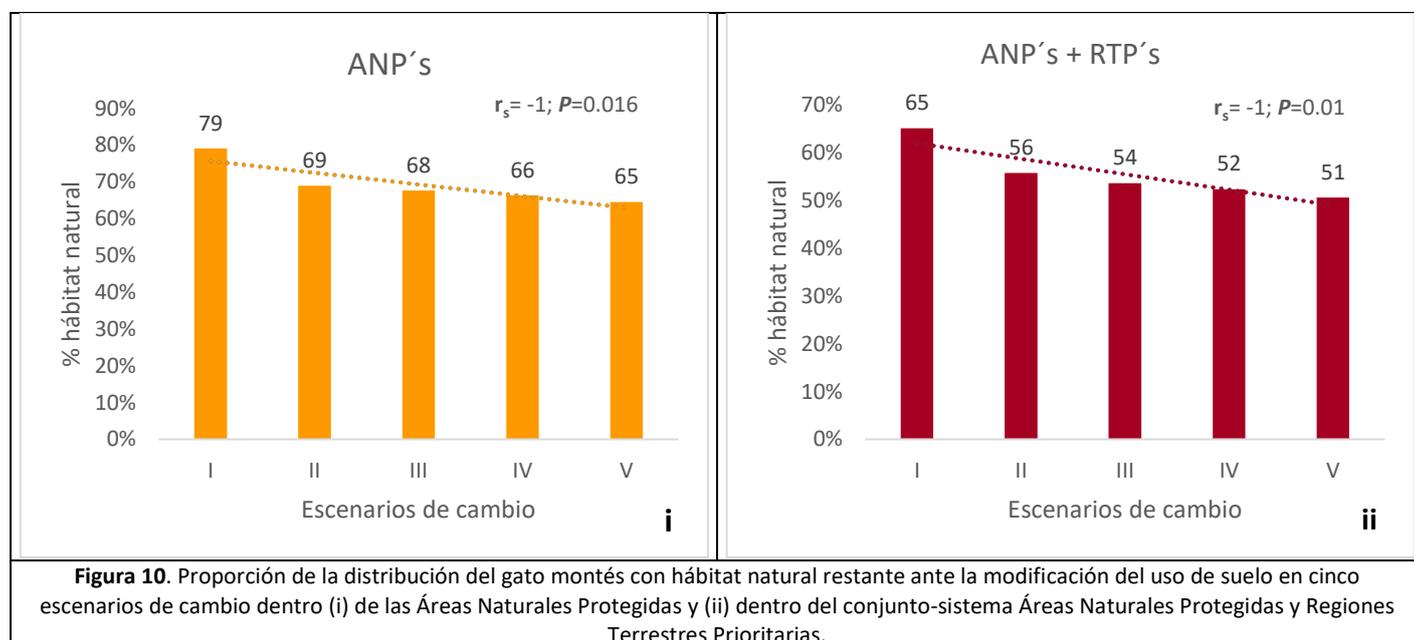
En el segundo escenario, el área de distribución con hábitat natural conservado fue de 12,357 km², para el tercer escenario de cambio, ésta se redujo a 11,879 km², mientras que en el escenario número cuatro se estimó un área de 11,601 km², finalmente, en el quinto y último escenario de cambio, el área de distribución con hábitat natural adecuado para el gato montés abarcó una superficie de 11,219 km², es decir, que en el último escenario, ambos sistemas de protección conservaron el 51% del hábitat natural de la especie. Estadísticamente, se observó una tendencia negativa y significativa respecto al hábitat natural conservado con los cinco escenarios de cambio ($r_s = -1$, $P = 0.0166$).

Al comparar el área de distribución conservada, en ambos grupos de estudio (Cuadro 4), se observa que en el conjunto de ANP's + RTP's, el área conservada es casi el doble que la que se encuentra dentro de las ANP's, pareciera obvio dado el tamaño que abarcan por sí mismas las RTP's, sin embargo, aunque representan de manera extensa áreas de hábitat natural para el gato montés, corren el riesgo de perderse o transformarse a mayor velocidad por el cambio de uso de suelo, ya que a diferencia de las ANP's, las Regiones Terrestres Prioritarias únicamente son áreas propuestas para la conservación más no están decretadas oficialmente y por lo tanto no cuentan con la misma protección legal.

Cuadro 4. Comparación del área de hábitat natural remanente en las áreas naturales protegidas (ANP's) y en el conjunto de áreas naturales protegidas y regiones terrestres prioritarias (ANP's +RTP's) a lo largo de los cinco escenarios de cambio.

Escenario de cambio	Área de hábitat natural conservado (km ²)		% de hábitat natural conservado	
	ANP's	ANP's + RTP's	ANP's	ANP's + RTP's
1	7,980	14,430	79	65
2	6,962	12,357	69	56
3	6,823	11,879	68	54
4	6,692	11,601	66	52
5	6,510	11,219	65	51

Sin embargo, en cuanto a la proporción del área de distribución conservada (Figura 10), se observa que en el conjunto de ANP's + RTP's, existe menor superficie natural conservada con respecto al sistema de ANP's. Pese a tener una extensión mayor de superficie, en el conjunto de ANP's + RTP's la pérdida de hábitat natural y la transformación de éste por efectos del cambio de uso de suelo es mayor y aunque persiste la degradación de hábitat en las ANP's, éstas muestran una mayor efectividad al momento de proteger el hábitat disponible del gato montés, aunado al hecho de que las ANP's cuentan con un respaldo legal para su manejo y preservación favorece el mantenimiento de áreas naturales con el paso de los años; dadas estas razones se debería proponer un marco legal similar para las RTP's.



Estadísticamente, se encontraron diferencias significativas entre la proporción del área de distribución conservada en las ANP's y el conjunto de ANP's + RTP's ($U=0.5$; $P=0.015$), ya que en el grupo de ANP's + RTP's se conservó la mitad del hábitat natural disponible, 51%, en el último escenario de cambio mientras que en las ANP's se preservó el 65% de ésta.

Los grupos de ANP's + RTP's en los que se presentó mayor reducción del área de distribución del felino, son el conjunto RTP Pico de Orizaba-Cofre de Perote y las ANP's Parques Nacionales Pico de Orizaba y Cofre de Perote en los estados de Veracruz y Puebla (Figura 11 recuadro rojo) y el conjunto conformado por las RTP's Cerro Ancho-Lago de Cuitzeo (Guanajuato y Michoacán), Sierra de Chincua (Edo. de Mex, Michoacán y Guanajuato) y Nevado de Toluca (Edo. de Mex) con las ANP's Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (Michoacán y Edo. de Mex), Parque

Nacional Bosencheve (Edo. de Mex. y Michoacán), el Área de Protección de los Recursos Naturales Z.P.F.T.C.C. de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec (Edo. de Mex) y el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (Edo. de Mex), en ambos grupos se puede observar que el hábitat natural remanente en el último escenario de cambio mostrado en color rosa, no sólo disminuyó, sino que se encuentra bastante fragmentado, además de lo expuesto, las ANP's y RTP's mencionadas no están rodeadas de áreas con hábitat natural lo que podría aislarlas en un futuro próximo.

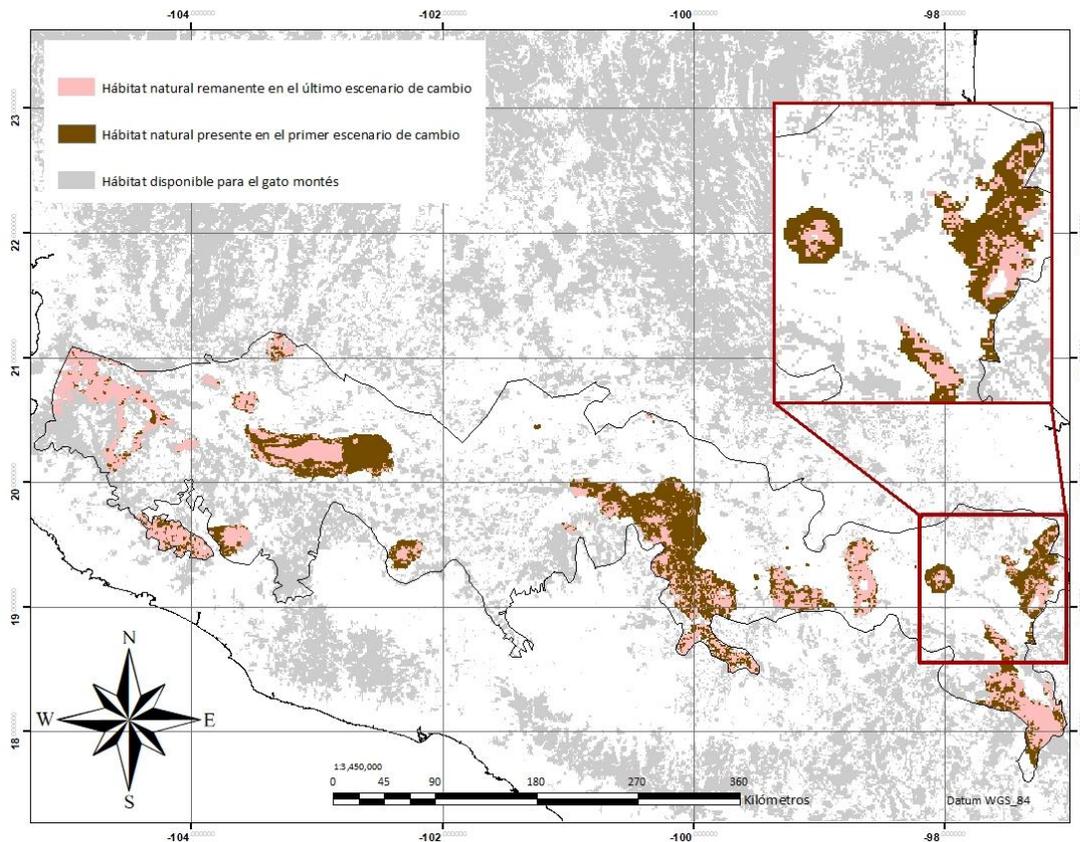


Figura 11. ANP's y RTP's de la FVT y el contraste del hábitat natural remanente en el primer escenario (café) vs el hábitat natural remanente del último escenario de cambio (rosa).

Semejante a lo que ocurre con las ANP's del lado oeste de la provincia, los conjuntos de ANP's + RTP's situados en esa región de la FVT fueron los que más conservaron el área de distribución del gato durante los cinco escenarios de cambio (Figura 11).

DISCUSIÓN

El conjunto de métodos llamados modelado de la distribución de especies o modelado del nicho ecológico tiene como objetivo identificar áreas adecuadas para la supervivencia de las poblaciones de una especie por medio de la identificación de sus requerimientos ambientales (Soberón y Nakamura, 2009). El modelo de distribución potencial generado para el gato montés parte de la definición de nicho ecológico propuesta por Hutchinson (1957), que lo define como

la suma de todos los factores ambientales que actúan sobre un organismo, por ende, el nicho se define como una región de un espacio de “n” dimensiones o hipervolumen (nicho fundamental), que permite a una especie existir indefinidamente (Schoener, 1989). Para Hutchinson, el nicho se define en relación al ocupante, es decir, a la población de una especie y no a la función o lugar que podrían ocupar varias especies en una comunidad, mientras que el nicho potencial es el subconjunto del nicho fundamental que existe en un tiempo y lugar definido pero que no ha sido colonizado por la especie (Jackson y Overpeck, 2000, Soberón y Nakamura, 2009). De acuerdo con Botello *et al.* (2015), estos procedimientos apuntan al modelado de los hábitats relacionados con el nicho realizado de las especies, no obstante, éstos continúan relacionándose con el modelado de una parte del nicho fundamental de ésta, sobre todo porque no se incluyen las interacciones bióticas y los procesos de dispersión y dinámica de meta-poblaciones. El modelo de distribución potencial propuesto en este estudio se ajusta a la definición de Hutchinson, pues es a partir de los puntos de presencia del gato montés se identifica un área que potencialmente presenta las mismas condiciones climáticas y topográficas aptas para la especie, como complemento, los cambios en las condiciones históricas de la cobertura vegetal definen y determinan el hábitat adecuado para la especie.

Las variables que más contribuyeron en la generación del modelo de distribución de la especie están relacionadas con la temperatura y el modelo digital de elevación. De acuerdo a Philips *et al.* (2006), las variables climáticas como la temperatura son apropiadas a escalas globales y a meso escalas, mientras que las variables topográficas como la elevación, influyen en la distribución a meso escalas, por lo que la distribución predicha resulta mayor que el nicho realizado de la especie debido a que no se consideran factores como barreras geográficas que limiten la dispersión de un organismo, interacciones bióticas con otras especies o modificaciones en el entorno ocasionadas por actividades humanas. Por otro lado, para efectos de conservación, la cobertura vegetal permite excluir áreas de hábitat alterado y fragmentado de la distribución predicha. El modelo del gato montés proyecta una distribución mayor a la registrada, pues abarca partes de Chiapas y de la península de Yucatán cuando su límite reconocido es el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca. En un estudio, Sánchez-Cordero *et al.* (2008), concluyen que el Istmo no actúa como barrera que impida la distribución del gato montés, sino que la competencia e interacción con otras especies de felino aparentan ser la causa que limita su dispersión, evitando la colonización del gato montés en áreas más al sur que cuentan con hábitat adecuado para ésta.

La FVT se reconoce como una unidad biogeográfica, cuya historia geológica y climática, así como la distribución de sus especies, la convierten en una de las provincias biogeográficas más

heterogéneas y complejas del país. Respecto a su mastofauna, es una zona rica en especies y con alto número de endemismos, representando a casi todos los géneros exclusivos de México por lo que es considerada una región importante para la conservación de la biodiversidad en el país (Espinosa y Ocegueda, 2007; Gámez *et al.*, 2012). No obstante, es también una provincia en donde existe una alta fragmentación del hábitat, debida a diversos factores, algunos de ellos son la concentración de áreas urbanas densamente pobladas y la transformación del hábitat para actividades agrícolas que cubran las necesidades del ámbito rural (Cervantes y Calderón, 1992; Munguía, 2004). Para el gato montés, los cambios de uso de suelo en la provincia, resultaron en la pérdida de áreas con hábitat natural adecuado, derivando en una reducción significativa de su área de distribución con hábitat natural, pues en los escenarios de cambio, en la FVT se preservó el 29.1% del área, mientras que a nivel nacional se preservó el 65%. En uno de sus trabajos, Munguía (2004), reportó que en la FVT, el orden Carnivora presentó una disminución en su área de un 35% a 50% y una disminución de hábitat superior a los otros seis órdenes estudiados; en este estudio, el gato montés perdió alrededor del 70% de su distribución, la diferencia entre este estudio y su trabajo podría deberse a la temporalidad de los datos de cobertura vegetal utilizada, pues menciona datos del Inventario Nacional Forestal del año 2000, mientras que ahora se cuenta con información más actualizada en cuanto a la transformación del hábitat por el cambio de uso de suelo. Aún más, el presente trabajo indica que existe la tendencia a perder hábitat debido al cambio de uso de suelo que se incrementa con el paso del tiempo.

Si bien el gato montés es una especie con amplia distribución conocida y cuya área potencial abarca gran parte del país y casi toda la FVT, ha perdido gran parte del área que cuenta con el hábitat natural idóneo para subsistir. Se podría pensar que dado su rango geográfico y la variedad de ecosistemas en los que se encuentra, la especie no resultaría tan afectada ante la transformación del hábitat, sin embargo, ocurre lo contrario, pues al tener amplia distribución, la proporción de deterioro es mayor, ya que por el tamaño del ámbito hogareño y sus requerimientos alimenticios necesita de grandes áreas de distribución, aunado al hecho de que la especie es esquivada y evita los asentamientos humanos. Adicionalmente, en el presente estudio, se obtuvo que de los registros fechados a partir del año 2000 en la FVT, el 60.9% se encontró en áreas de hábitat natural, lo que evidencia que la especie prefiere áreas con cobertura vegetal densa, dadas estas razones, la especie podría estar seriamente amenazada y menguar sus poblaciones (Munguía, 2004; Romero, 2005).

La transformación y pérdida del área de distribución con hábitat adecuado para la especie en la FVT, podría disminuir aquellas poblaciones presentes en la provincia y en un futuro escenario

causar extinciones a nivel local, e incluso actuar como una barrera que aisle a las poblaciones de la subespecie que se distribuye en el sur con las del resto de su distribución, condenándola a una inminente desaparición. De acuerdo a algunos autores, la pérdida de nicho se relaciona más a la ubicación geográfica de la especie que al rango de distribución *per se* (Sánchez-Cordero *et al.*, 2005), en consecuencia, se habría de considerar importante la escala de análisis, ya que ésta puede marcar tendencias del estado de conservación de una especie al mostrar una categoría de amenaza o riesgo de extinción local sin mostrar un estado de conservación desfavorable a nivel nacional y viceversa (Botello *et al.*, 2015). Adicionalmente, es necesario considerar que el costo de conservación se incrementa conforme avanza el proceso de pérdida de hábitat natural, pues el monto se mide por la extensión territorial requerida para representar el hábitat en donde se distribuye la especie, por lo tanto, mayor fragmentación de hábitat equivale a menor representación de la especie en las áreas destinadas a conservación (Fuller *et al.*, 2007). Dadas estas razones, habría que considerar el estatus de protección de la especie en las normas mexicanas de protección mediante estudios que anticipen amenazas para la disminución de las poblaciones y por ende, riesgos de extinción y fomentando el diseño y la implementación de acciones de conservación.

En las ANP's y el conjunto de ANP's + RTP's, la distribución del gato montés con hábitat natural adecuado también presentó reducciones en su tamaño (Cuadro 4). Pese a que el conjunto de ANP's + RTP's abarcó una superficie territorial mayor en comparación con la de las ANP's, se obtuvieron diferencias significativas respecto a la proporción de área de hábitat natural conservado, pues las Áreas Naturales Protegidas mantuvieron 65% del hábitat mientras que el grupo de las ANP's+RTP's el 51%. De acuerdo con Munguía (2004), las ANP's y RTP's de la FVT, representan ampliamente a las especies de mastofauna, debido a su alto número y su amplia ubicación geográfica, indicando que el valor de conservación de estas ANP's no ha variado al menos en los últimos 10 años. Esto respalda los resultados obtenidos en este estudio, en el que se observa que la tendencia a perder áreas de hábitat natural es menor dentro de las ANP's que en el conjunto de ANP's y RTP's.

Sin embargo, de acuerdo con lo obtenido por Munguía (2004), el tamaño de las ANP's podría ser una desventaja importante en garantizar la permanencia a largo plazo de varios grupos de mamíferos, particularmente los de mayor talla, pues mantener pequeñas áreas no asegura la persistencia de las especies y el grado de asilamiento entre una y otra ANP puede afectar el desplazamiento de individuos entre las poblaciones y disminuir el flujo génico, afectando la variabilidad genética. Como se pudo observar, existen ANP's y ANP's + RTP's que se encuentran rodeadas de hábitat no natural y no apto para el gato montés, esto coloca a los sistemas de

protección de la FVT en un estado vulnerable debido a la cercanía con sitios urbanos como las ANP's que se encuentran en los estados de México, Morelos, Michoacán y el Distrito Federal. El confinamiento de las poblaciones de especies en estas zonas puede provocar tasas reducidas de colonización, una baja diversidad de especies y erosión de la diversidad genética debido al reducido flujo genético (Munguía, 2004).

Por otro lado, las RTP's aportaron mayor extensión territorial con hábitat natural adecuado para la especie, sin embargo, el conjunto de ANP's y RTP's conservó menor porcentaje de hábitat natural en comparación con las ANP's, mostrando una reducción cercana al 50% de la distribución para la especie. Una razón para lo anterior pudiera ser que no existen planes de manejo para éstas o una legislación como en el caso de las ANP's, lo que las hace más vulnerables y propicia la fragmentación y degradación del hábitat por actividades humanas, como la explotación de los recursos, el uso de suelo para actividades agrícolas o el crecimiento de la mancha urbana. De acuerdo con Porras *et al.* (2011), el éxito de las áreas de conservación depende de la calidad y conectividad con áreas naturales adyacentes, ya que pueden ser un factor clave en asegurar el éxito en la conservación del hábitat. Las ANP's + RTP's que se encuentran en el lado este y en la porción central de la FVT, están rodeadas de hábitat no natural, áreas con asentamientos humanos o con uso de suelo agrícola, los cuales, al pasar el tiempo provocan el aislamiento de éstas áreas, mayor presión externa y en consecuencia, van mermando el hábitat natural presente en ellas. Una propuesta podría ser la de considerar la inclusión de las zonas presentes en las RTP que cuenten con hábitat natural en programas de conservación y manejo para ampliar el área de distribución del gato montés que cuenta con hábitat natural.

CONCLUSIONES

- ✓ Es posible cuantificar la reducción de la distribución de una especie mediante el modelado del nicho o su distribución potencial a partir de variables climáticas y topográficas, complementadas con los datos de cobertura vegetal actual. Estas predicciones son útiles para conocer los efectos de la transformación del hábitat sobre la biodiversidad y, a partir de ellas, proponer medidas de conservación adecuadas a la especie.
- ✓ Se estimó mayor pérdida del hábitat natural para el gato montés en la FVT en comparación con todo México, en la FVT el hábitat natural conservado en el escenario de cambio final fue de 29.1% mientras que a nivel nacional, en el quinto y último escenario de cambio se preservó 65%.
- ✓ El establecimiento de grandes ciudades y la transformación del uso de suelo para actividades agrícolas son factores importantes que provocan la pérdida del hábitat y en consecuencia, reducen el área de distribución del gato montés en la provincia, por lo que es importante tomar las medidas necesarias para conservar mayor extensión de su área y garantizar la continuidad de las poblaciones de la especie localizadas en la FVT.
- ✓ Las ANP's presentaron mayor proporción conservada del área de distribución del gato montés, en comparación con el conjunto de ANP's + RTP's, pese a que éstas últimas abarcan mayor extensión territorial, lo que podría indicar que las ANP's han demostrado ser más efectivas al representar y conservar el área de distribución del gato montés.
- ✓ Las ANP's + RTP's que se encuentran en el lado este y en la parte central de la FVT, están rodeadas de hábitat no natural, áreas con asentamientos humanos o con uso de suelo agrícola, lo que al paso del tiempo puede provocar su asilamiento.

REFERENCIAS

- Almazán-Catalán, J., Sánchez-Hernández, C., Ruíz-Gutiérrez, F., Romero-Almaraz, M., Taboada-Salgado, A., Beltrán-Sánchez, E. y Sánchez-Vázquez, L. 2013. Registros adicionales de felinos del estado de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84: 347-359.
- Anderson, R.P. y Martínez-Meyer, E. 2004. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation* 116: 167-179.
- Anisimov, O., Chapin, F., Cruz, R., Finlayson, M., Hohenstein, W., Insarov, G., Nurse, L., Noble, I., Scholes, B. y Villamizar, A. 2002. Cambio Climático y Biodiversidad. Documento técnico V del IPCC.
- Aranda, M. 2000. Huellas y otros rastros de los mamíferos grandes y medianos de México. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Xalapa, Veracruz.
- Aranda, M., Rosas, O., Ríos, J. J. y García, N. 2002. Análisis comparativo de la alimentación del gato montés (*Lynx rufus*) en dos diferentes ambientes de México. *Acta Zoológica Mexicana* 87:99-109.
- Arriaga, L., Aguilar, V. y Alcocer, J. 2002. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Escala 1: 4 000 000. México, D.F.
- Arriaga, L. 2009. Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. Pp: 6-16. En: Castillo, A., Vega, E., Espejel, I., Cortinas de Nava, C., Dirzo, R. y Magaña, V. (eds.). *Investigación ambiental: Ciencia y política pública*. Instituto Nacional de Ecología.
- Arriaga, L., Aguilar, V. y Espinoza, J. M. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. Pp: 433-457. En: *Capital Natural de México, Vol II: Estado de Conservación y Tendencias de Cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Bárcenas, H. y Medellín, R. 2007. Registros notables de mamíferos en el sur del Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 11:73-79.
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S., Townsend-Peterson, A., Soberón, J. y Villalobos, F. 2011. The crucial role of the accesible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modeling* 222:1810-1819.
- Bezaury-Creel, J. y Gutiérrez, C. D. 2009. Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. Pp: 385-431. En: *Capital Natural de México, Vol II: Estado de Conservación y Tendencias de Cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Botello, F., Sánchez-Cordero, V y Ortega-Huerta, M.A. 2015. Disponibilidad de hábitats adecuados para especies de mamíferos a escalas regional (estado de Guerrero) y nacional (México). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86:226-237.

- Burton, A., Navarro, S. y Chávez, C. 2003. Bobcat ranging behavior in relation to small mammal abundance on Colima Volcano, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 74:67-82.
- Ceballos, G. G. y Galindo, C. L. 1984. *Mamíferos silvestres de la Cuenca de México*. Editorial Limusa. México, D.F.
- Ceballos, M. D. y Navarro, D. 1991. Diversity and conservation of Mexican mammals. Pp. 167-198. En: Mares, M. A. y Schmidly, D. (eds.) *Topics in Latin American Mammalian Biology: Ecology, Conservation and Education*. Oklahoma University Press. Norman, OK, EEUU.
- Ceballos, G. G. y Ehrlich, P. R. 2002. Mammal population losses and the extinction crisis. *Science* 296: 904-907.
- Ceballos, G. y Oliva, G. 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. Fondo de Cultura Económica. Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México. D.F.
- Cervantes, J. F. y Calderón, C. 1992. Evaluación de los cambios y transformación del paisaje en la zona perimetropolitana de la Ciudad de México. En: Fuentes, L. (coord.) *Cambios en el uso de suelo agrícola en México*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CIPAMEX-CONABIO. 2015. *Áreas de importancia para la conservación de las aves*. Escala 1: 250 000. Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación las Aves. Financiado por CONABIO-FMCN-CCA. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México, D.F.
- Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO). 1997. *Provincias biogeográficas de México*. Escala 1: 4 000 000. Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México, D.F.
- Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO). 2004. *Regiones Terrestres Prioritarias*. Escala 1: 1 000 000. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2016a. *Áreas Naturales Protegidas Federales de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2016b. *Sitios RAMSAR de México 2016*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México. México.
- Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I. y Ríos-Muñoz, C. A. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio del uso de suelo y conservación. *Revista Chilena de Historia Natural*. 83:421-433.
- Cooper, E. W. T. y Shadbolt, T. 2007. *An Analysis of the CITES-Reported Illegal Trade in Lynx species and Fur Industry*. Perceptions in North America and Europe. U.S. Fish and Wildlife Service, TRAFFIC Network, World Wildlife Fund (WWF).
- Day, R. n.d. Foto gato montés-Lynx rufus. ARKive (en línea). Disponible en: <http://www.arkive.org/bobcat/lynx-rufus/image-G62397.html>. Revisado el 23 de marzo de 2015.

- Elith, J. y Leathwick, J. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40:677-697.
- Elith, J., Phillips, S., Hastie, T., Dudík, M., En Chee, Y, y Yates, C. 2010. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 1-15.
- Environmental Systems Research Institute ESRI. 2002. ArcView 3.3. Redlands, California. U.S.
- Escalante, T., Rodríguez, G. y Morrone, J.J. 2005. Las provincias biogeográficas del componente mexicano de montaña desde la perspectiva de los mamíferos continentales. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76:199-205.
- Escalante, T., Rodríguez, G., Gámez, N., León-Paniagua, L., Barrera, O. y Sánchez-Cordero, V. 2007. Biogeografía y conservación de los mamíferos. Pp: 485-502. En: Luna, I., Morrone, J. J. y Espinosa, D. (eds.). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Espinosa, D. y Ocegueda, S. 2007. Introducción. En: Luna, I., Morrone, J. y Espinosa D. (eds.) *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Farías, V., Téllez, O., Botello, F., Hernández, O., Berruecos, J., Olivares, S. y Hernández, J. 2015. Primeros registros de 4 especies de felinos en el sur de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86:1065-1071.
- Ferrusquía, V. I. 1998. Geología de México: una sinopsis. Pp 3-108. En: Ramamoorthy, T., Bye, R., Lot, A. y Fa. J. (eds.) *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fischer, J. y Lindenmayer, D. 2007. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*. 16:65-280.
- Fuller, T., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M. y Sahotra, S. 2007. The cost of postponing biodiversity conservation in Mexico. *Biological Conservation*. 134:593-600.
- Gámez, N., Escalante, T., Rodríguez, G., Linaje, M. y Morrone, J. J. 2012. Caracterización biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y análisis de los patrones de distribución de su mastofauna. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:248-272.
- García, D. 2011. Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas: Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*. 20: 1-10.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, T. y Ferrari, L. 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 57: 227-283.
- Granados, D., López, G., Hernández, M. y Sánchez-González, A. 2005. Ecología de la fauna silvestre de la Sierra Nevada y la Sierra del Ajusco. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11:111-117.
- Hamilton, D. A. y Fox, L. B. 1987. Wild furbearer management in the midwestern United States. In: Novak, M., Baker, J. A., Obbard, M.E., Malloch, B. (eds.). *Wild Furbearer Conservations and Management in North America*. Ontario Ministry of Natural Resources. Toronto, Canada.

- Hammer, O., Harper, D.A., y Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica*. 4:9.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones y A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding Remarks. *Cold Spring Harbour Symp. Quant. Biol.* 22:415-427.
- INE – INEGI. 1997. 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie I (continuo nacional)', escala: 1:250000. Instituto Nacional de Ecología - Dirección de Ordenamiento Ecológico General e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Digitalización de las cartas de uso del suelo y vegetación elaboradas por INEGI entre los años 1980-1991 con base en fotografías aéreas de 1968-1986. México, D. F. México, D. F.
- INEGI. 2001. 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie II (continuo nacional)', escala: 1:250000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 2005. 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie III (continuo nacional)', escala: 1:250000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Aguascalientes, Ags., México., México.
- INEGI. 2009. 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie IV (continuo nacional)', escala: 1:250000. Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI. 2013. 'Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie V (capa Unión)', escala: 1:250000. edición: 2a. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2017. *Lynx rufus*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3.
- Jackson, S.T y Overpeck, J. T. 2000. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology* 26: 194-220.
- Kaufman, D. M. 1995. Diversity of New World mammals: diversity of latitudinal gradients of species and bauplans. *Journal of Mammalogy* 76:322:334.
- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P., Richards, J., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G., Svedin, U., Veldkamp, T., Vogel, C. y Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11:261-269.
- Larivière, S. y Walton, R. L. 1997. *Lynx rufus*. *Mammalian Species* 563: 1-8.

- Martínez Bencardino, C. 2012. Estadística y Muestreo. 13ª.ed. Ecoe Ediciones. Bogotá, Colombia.
- Martínez-Meyer, E. 1994. Hábitos de alimentación del lince (*Lynx rufus*) en la Sierra del Ajusco, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mas, J.F., Velázquez, A., Díaz, J.R., Mayorga, R., Alcántara, C., Castro, R. y Fernández, T. 2002. Monitoreo de los cambios de cobertura en México. Memorias del II seminario latinoamericano de Geografía Física, Maracaibo, Venezuela.
- McCord, C. M. 1974. Selection of winter habitat by bobcats (*Lynx rufus*) on the Quabbin Reservation, Massachusetts. *Journal of Wildlife Management*. 55: 428-437.
- Monroy, G. y Briones-Salas, M. 2012. Primeros datos sobre área de actividad de gato montés (*Lynx rufus*) en Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 28:471-474.
- Monroy- Vilchis, O., Rangel-Cordero, H., Aranda, M., Velázquez, A. y Romero, F.J. 1999. Los mamíferos de hábitat templados del sur de la Cuenca de México. Pp: 142-159. En: Velázquez, A. y Romero, F. J. (eds.). Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico, Universidad Autónoma Metropolitana- Secretaría del Medio Ambiente, México, D.F.
- Monroy-Vilchis, O. y Velázquez, A. 2002. Distribución regional y abundancia del lince (*Lynx rufus escuinapae*) y el coyote (*Canis latrans cagottis*) por medio de estaciones olfativas: un enfoque espacial. Universidad Autónoma del Estado de México. Ed. Ciencia Ergo Sun. 9: 293-300.
- Morrone, J.J. 2001. Biogeografía de América Latina y el caribe. M&T-Manuales & Tesis SEA. Vol 3. Zaragoza. 148 p.
- Morrone, J. J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76:207-252.
- Morrone, J.J. 2010. Fundamental biogeographic patterns across the Mexican Transition Zone: an evolutionary approach. *Ecography* 33:355-361.
- Munguía, M. 2004. Representatividad mastofaunística en áreas naturales protegidas y regiones terrestres prioritarias en el Eje Neovolcánico: un modelo de conservación. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ordorica H.A.R. 1995. Estimación de la densidad relativa de carnívoros (Mammalia:Carnivora), en Tenacatita, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. División de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de Guadalajara. Jalisco.
- Pawar, S., Ko, M.S., Kelleya, C., Ahmed, M.F., Chaudhurid, S. y Sarkar, S. 2007. Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: priorities for amphibians and reptiles. *Biological Conservation*. 136:346-361.
- Peterson, A.T., Sánchez-Cordero, V., Martínez-Meyer, E. y Navarro-Sigüenza, A. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-cover information. *Ecological Modelling*. 195: 229-236.

- Pearman, P., Guisan, A., Broennimann, O. y Randin, C. 2008. Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*. 3:149-158.
- Phillips, S. J., Dudík, M., y Schapire, R. 2004. A Maximum Entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*. Banff, Canada.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. y Schapire, R. A. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231-259.
- Plowman, B., Chamberlain, M., Leopold, B. y Burger Jr., L. 2006. Annual dynamics of bobcat (*Lynx rufus*) home range and core use areas in Mississippi. *The American Midland Naturalist*. 156:386-393.
- Porras, L., Sarmiento, R., Naranjo, E. y Vázquez, L. 2011. Conservation effectiveness of protected areas in Mexico: effects on medium and large mammals at local and regional scales. *International Journal of Biodiversity and Conservation*. 10: 487-496.
- Qiao, H., Soberón, J. y Peterson, A.T. 2015. No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods in Ecology and Evolution*. 6: 1126-1136.
- Ramankutty, N. y Foley, J. A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700-1992. *Global Biogeochemical Cycles*. 13: 997-1027.
- Ríos, L. J. 1998. Análisis de la alimentación del lince *Lynx rufus* (Schreber, 1777) en las Sierras del Ajusco y Zempoala, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa.
- Ríos-Muñoz, C. A. y Navarro-Sigüenza, A. G. 2009. Efectos del cambio de uso de suelo en la disponibilidad hipotética de hábitat para los psitácidos de México. *Ornitología Neotropical*. 20:491-509.
- Rivera, I. 2010. Alimentación del gato montés (*Lynx rufus*, Schreber, 1777) durante primavera y verano en El Escobillo, Perote, Ver. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.
- Rodríguez, M., L., Vázquez, J. y Bautista, A. 2007. Primer registro del gato montés (*Lynx rufus*) en el parque nacional La Malinche, Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 11:80-84.
- Rojas-Martínez, A., Aguilar-López, M. y Muñoz-Vázquez, B. 2013. Cuidados maternos y registros recientes de puma (*Puma concolor*) y gato montés (*Lynx rufus*) en el estado de Hidalgo, México. *Therya*. 4(3):565-573.
- Romero, F. J. 2005. *Lynx rufus*. Pp: 362-364. En: Ceballos, G. y Oliva G. (coordinadores). *Los mamíferos silvestres de México*. Fondo de Cultura Económica y Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la biodiversidad. México, D.F.
- Rzedowsky, J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. Pp: 129-145. En: Ramamoorthy, T., Bye, R., Lot, A. y Fa, J. (eds.) *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Rzedowsky, J. 2005. Vegetación de México. Primera edición digital. Comisión Nacional Para Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México.
- Sala, O., Stuart, F., Armesto, J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L., Jackson, R., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D., Mooney, H., Oesterheld, M., LeRoy, N., Sykes, M., Walker, B., Walker, M., y Wall, D. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 287: 1770-1774.
- Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., Linaje, M., Sarkar, S. y Peterson, A. T. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*. 126:465-473.
- Sánchez-Cordero, V., Stockwell, D., Sahotra, S., Hawoei, L., Christopher, S. y Giménez, J. 2008. Competitive interactions between felid species may limit southern distribution of bobcats *Lynx rufus*. *Ecography*. 31:757-764.
- Sánchez-González, A., López-Mata, L. y Granados-Sánchez, D. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 56:62-76.
- Schoener, T. W. 1989. The ecological niche. Pp: 79-113. En: Cheret, J. M. (ed). *Ecological concepts*. Blackwell Science, Oxford, U.K.
- Soberón, J. y Peterson, A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.
- Soberón, J. y Nakamura, M. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods and assumptions. *PNAS*. 106:19644-19650.
- Suárez-Mota, M.E. y Téllez-Valdés, O. 2014. Red de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad del Eje Volcánico Transmexicano analizando su riqueza florística y variabilidad climática. *Polibotánica*. 38:67-93.
- Torres, M. A. y Luna, V. I. 2006. Análisis de trazos para establecer áreas de conservación en la Faja Volcánica Transmexicana. *Interciencia*. Vol. 31.
- Torres, R. J.M. 2004. Informe Nacional México En: Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina 2020. Depósito de documentos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- U.S. Fish and Wildlife Service. n.d. Species profile for Mexican bobcat (*Lynx rufus escuinapae*). [en línea] Ecos.fws.gov. Disponible en: <https://ecos.fws.gov/ecp0/profile/speciesProfile?sld=161>. Revisado el 10 de abril de 2015.
- Valencia-Herverth, R. y Valencia-Herverth, J. 2012. Presencia del gato montés (*Lynx rufus*) en selvas tropicales del estado de Hidalgo, México. *Therya*. 3:81-85.
- Valenzuela-Galván, D., De León-Ibarra, A., Lavalle-Sánchez, A., Orozco-Lugo, L y Chávez, c. 2013. The margay *Leopardus wiedii* and bobcat *Lynx rufus* form the dry forests of southern Morelos, Mexico. *The Southern Western Naturalist* 58: 118-120.

- Velázquez, A., Mas, J. E., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y Palacio, J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México. *Gaceta Ecológica*. 62:21-37.
- Waltari, E. y Guralnick, R. 2009. Ecological niche modelling of montane mammals in the Great Basin, North America: examining past and present connectivity of species across basins and ranges. *Journal of Biogeography*. 36: 148-161.
- Woolf, A., Clayton, K., Weber, T. y Gibbs-Kieninger, T. 2002. Statewide modeling of bobcat, *Lynx rufus*, habitat in Illinois, USA. *Biological Conservation*, 104: 191-198.
- Woolf, A. y Hubert, G.F. 1998. Status and management of bobcats in the United States over three decades: 1970's-1990's. *Wildlife Society Bulletin*. 26:287-294.
- Yáñez-Arenas, C., Mandujano, S., Martínez-Meyer, E., Pérez-Arteaga, A. y González-Zamora, A. 2012. Modelación de la distribución del cambio de uso de suelo en la conservación de los ungulados silvestres del Bajo Balsas, México. *Therya*. 3:67-79.
- Zannette, L., Doyle, P. y Tremont, S.M. 2000. Food shortage in small fragments: evidence from an area-sensitive passerine. *Ecology*. 81:815-820.
- Zarza, H., Chávez, C. y Ceballos, G. 2007. Hábitat del jaguar a escala regional en un paisaje dominado por actividades humanas en el sur de la península de Yucatán. En: Ceballos, G., Chávez, C., List, R., y Zarza, H (eds.). *Conservación y manejo del jaguar en México: estudios de caso y perspectivas*. Conabio-Alianza WWF/Telcel-Universidad Nacional Autónoma de México, México.

ANEXO I. MÉTODOS

